Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
Kampus Kalijudan
Jl Kalijudan no. 37, Surabaya
Telp (031) 3893933 psw : 102
Email : psppi@ukwms.ac.id

ISSN 2987-677X

Seminar Praktik Keinsinyuran VI 2025
Inovasi Teknologi Industri 4.0 dan Profesionalisme Insinyur untuk Akselerasi Pembangunan Berkelanjutan
PROSIDING

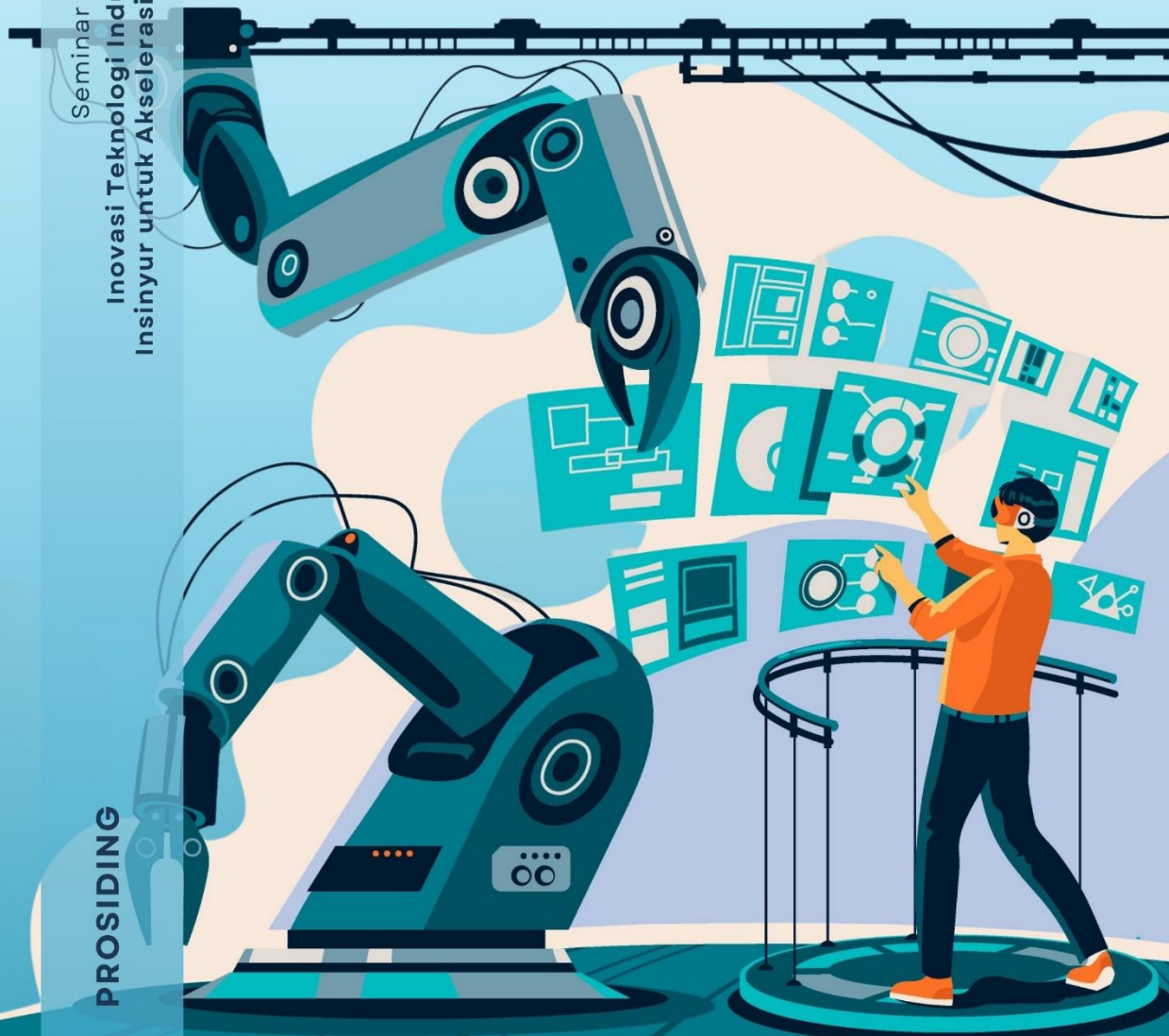
ISSN 2987-677X

PROSIDING

SEMINAR PROFESI KEINSINYURAN

SEMINAR PRAKTIK KEINSINYURAN VI

INOVASI TEKNOLOGI INDUSTRI 4.0 DAN PROFESIONALISME INSINYUR UNTUK AKSELERASI PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN



 ISSN 2987-677x

PROSIDING SEMINAR PRAKTIK KEINSINYURAN VI

TEMA

INOVASI TEKNOLOGI INDUSTRI 4.0 DAN PROFESIONALISME INSINYUR UNTUK AKSELERASI PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN

PENANGGUNG JAWAB

Ketua Program Studi Profesi Insinyur Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

Dr. Ir. Ivan Gunawan, S.T., M.MT., CSCM., IPM., ASEAN Eng.

TIM REVIEWER

1. Dr. Ir. Lusia Permata Sari Hartanti, S.T., M.Eng., CIOMP., IPM., ASEAN Eng.
2. Ir. Andrew Joewono, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng., APEC Eng.
3. Dr. Ir. Suratno Lourentius, MS., IPM.

TIM EDITOR

1. Dra. Ir. Adriana Anteng Anggorowati, M.Si., IPU., ASEAN Eng.
2. Ir. Rasional Sitepu, M.Eng., IPU., ASEAN Eng.

PANITIA

Ketua : Ir. Hartono Pranjoto, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng., ACPE.

Wakil Ketua : Ir. Andrew Joewono, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng., APEC Eng.

Sekretaris : Cicilia Lola Wahyu Setyaningrum, S.M.

Sie Acara:

1. Ir. Rasional Sitepu, M.Eng., IPU., ASEAN Eng.
2. Dra. Ir. Adriana Anteng Anggorowati, M.Si., IPU
3. Dr. Ir. Suratno Lourentius, MS., IPM.

KEYNOTE SPEAKER

Dr. Ir. Lusia Permata Sari Hartanti, S.T., M.Eng., CIOMP., IPM., ASEAN Eng.

No. ISSN : 2987-677x

Penyelenggara : Program Studi Profesi Insinyur Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

Tanggal : 14 Juni 2025

ISSN 2987-677x

PRAKATA TIM EDITOR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa. Prosiding yang berisi makalah-makalah yang dipresentasikan dalam Seminar Praktik Keinsinyuran VI dengan Tema:

INOVASI TEKNOLOGI INDUSTRI 4.0 DAN PROFESIONALISME INSINYUR UNTUK AKSELERASI PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN

telah selesai disusun. Editing makalah yang kami lakukan hanya sebatas pada tata tulis atau format penulisan di antaranya batas tepi, penomoran isi, penomoran halaman, penomoran tabel, penomoran gambar, spasi, font, dan kesalahan pengetikan. Kami tidak mengubah isi dari makalah, sehingga orisinalitas, pengambilan sumber referensi, dan seandainya ada plagiat atas karya orang lain merupakan tanggungjawab penulis yang bersangkutan. Semoga semua pihak dapat maklum atas proses panjang yang kami butuhkan. Kami ucapkan terima kasih atas segala bantuan baik moril maupun materiil selama proses editing prosiding Seminar Praktik Keinsinyuran hingga prosiding dapat diterbitkan. Kami juga mohon maaf apa apabila banyak kekurangan dalam editing Seminar Praktik Keinsinyuran ini. dapat diselesaikan, disusun, dan diterbitkan

Surabaya, 14 Juni 2025

TIM EDITOR

ISSN 2987-677x

SAMBUTAN KETUA PANITIA

Selamat pagi dan salam sejahtera bagi kita semua.

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga Seminar Praktik Keinsinyuran VI dengan tema "INOVASI TEKNOLOGI INDUSTRI 4.0 DAN PROFESIONALISME INSINYUR UNTUK AKSELERASI PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN" dapat terselenggara sesuai dengan yang telah kita rencanakan. Seminar Praktik Keinsinyuran ini merupakan agenda wajib, sekaligus wadah publikasi dan diseminasi hasil-hasil praktik keinsinyuran dari para calon insinyur Program Studi Profesi Insinyur Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya.

Merupakan suatu kehormatan bagi kami untuk menghadirkan narasumber utama yang rekam jejak keinsinyurannya sudah tidak diragukan lagi, yaitu Dr. Ir. Lusia Permata Sari Hartanti, S.T., M.Eng., CIOMP., IPM., ASEAN Eng. Beliau akan berbagi wawasan mengenai studi kasus yang melibatkan inovasi teknologi *additive manufacturing*, yang sangat relevan dengan tema seminar kita kali ini.

Pada kesempatan ini, kami ingin menyampaikan terima kasih kepada Dekan Fakultas Teknik beserta seluruh jajarannya atas dukungan penuh yang telah diberikan dalam penyelenggaraan Seminar Praktik Keinsinyuran VI ini. Apresiasi setinggi-tingginya juga kami sampaikan kepada Ibu Lusia Permata Sari Hartanti sebagai narasumber utama, para pemakalah, seluruh panitia yang telah bekerja keras, serta seluruh peserta seminar atas antusiasme dan partisipasinya yang luar biasa.

Kami menyadari bahwa dalam pelaksanaan seminar ini mungkin terdapat kekurangan. Oleh karena itu, atas nama seluruh panitia, kami memohon maaf yang sebesar-besarnya. Semoga seminar ini dapat memberikan manfaat dan wawasan baru bagi kita semua. Selamat berseminar!

Surabaya, 14 Juni 2025

Ketua Panitia

ISSN 2987-677x

SINOPSIS

Seminar Praktik Keinsinyuran merupakan kulminasi dari tiga mata kuliah wajib dalam kurikulum Program Studi Profesi Insinyur: Studi Kasus, Pemateri pada Seminar, Workshop, Diskusi, dan Praktik Keinsinyuran. Seminar Praktik Keinsinyuran VI ini mengangkat tema INOVASI TEKNOLOGI INDUSTRI 4.0 DAN PROFESIONALISME INSINYUR UNTUK AKSELERASI PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN.

Presentasi "Sustainable Innovation in Engineering with Additive Manufacturing" yang disampaikan oleh Lusia Permata Sari Hartanti pada tanggal 14 Juni 2025 di Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, membahas peran penting insinyur dalam menciptakan inovasi berkelanjutan, khususnya melalui penerapan *additive manufacturing* (AM) di bidang biomedis.

Additive manufacturing, atau pencetakan 3D, adalah proses pembuatan produk lapis demi lapis dari desain perangkat lunak komputer. Keuntungan utama AM mencakup produksi produk kustom dalam jumlah kecil secara lebih ekonomis, produksi langsung dari model CAD 3D tanpa perlu alat dan cetakan, kemudahan berbagi desain digital, penghematan bahan, kemampuan menciptakan struktur kompleks, serta pengurangan persediaan. Namun, tantangan AM meliputi biaya dan kecepatan produksi, kebutuhan pemrosesan akhir, perubahan cara pandang desainer, pengembangan dan standardisasi bahan baru, pengembangan sistem multi-material dan multi-warna, otomatisasi sistem AM, dan minimisasi bahan pendukung yang tidak dapat didaur ulang.

Presentasi ini menyoroti studi kasus di bidang biomedis di Indonesia, khususnya terkait ketergantungan impor alat kesehatan, yang 90% di antaranya masih didapatkan secara impor. Terdapat kebutuhan mendesak untuk kemandirian alat kesehatan di Indonesia, seperti implan tulang yang dibutuhkan sekitar 80.000 hingga 100.000 keping per tahun. Contoh spesifik yang dibahas adalah *interference screw* untuk rekonstruksi *anterior cruciate ligament* (ACL), mengingat tingginya insiden cedera lutut di Indonesia.

Inovasi dalam *interference screw* melibatkan penggunaan material berkelanjutan (*sustainable material*) dan teknologi AM, seperti biokomposit spesifik (PLA, PCL, HA) dan cangkang kerang hijau sebagai sumber HA. Pengembangan implan biomedis harus memenuhi standar pengujian yang ketat untuk memastikan keamanan dan efektivitas. Beberapa standar yang relevan antara lain ASTM 792-08 untuk densitas, ASTM F2502 untuk implan yang dapat diserap, ASTM F543 untuk sekrup tulang logam, ASTM F1635 untuk degradasi polimer, serta ISO 5835, ISO 6475, ISO 14602, dan ISO 13781 untuk dimensi, persyaratan mekanik, dan perubahan kimia/mekanik material.

Kode etik insinyur menekankan keselamatan masyarakat sebagai prioritas utama dan mengharuskan insinyur bekerja dalam bidang kompetensinya dengan standar profesionalisme tinggi. Inovasi ini diharapkan tidak hanya mendukung kesehatan pasien tetapi juga keberlanjutan lingkungan dan efisiensi industri manufaktur medis

 ISSN 2987-677x

DAFTAR ISI

DEWAN REDAKSI ..... **i**

PRAKATA TIM EDITOR ..... **ii**

SAMBUTAN KETUA PANITIA ..... **iii**

SINOPSIS ..... **iv**

DAFTAR ISI ..... **v**

Mekanisme Percepatan Layanan Purna Bakti (Pensiun) Aparatur Sipil Negara (ASN) di Pemerintahan Kabupaten Sumenep 1-5

Sistem Manajemen Perpustakaan Berbasis Web untuk Efisiensi Peminjaman Buku di SMP 1 Jati Kudus Menggunakan Metode *Waterfall* 6-11

Pengembangan Sistem Informasi Administrasi Berbasis Web di Balai Desa Tanjungkarang: Meningkatkan Efisiensi dan Transparansi Pelayanan Publik 12-16

Transformasi Digital dalam Pemanfaatan Portal Satu Data Gresik 17-19

Pengaruh Linieritas *Control Valve* dengan I/P Thermo Fisher STD5000 pada Kualitas *Moisture* Kertas di Paper Machine PT XYZ 20-24

Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Alternatif Solusi Energi Hijau PT Lautan Natural Krimerindo (LNK) 25-29

Optimasi Sistem Proteksi IDMT MV & LV untuk Keandalan Energi dan Keberlanjutan Industri di PT GPL 30-34

Studi Dampak Alih Fungsi Lahan terhadap Kinerja Infrastruktur Jalan dalam Perspektif Pembangunan Berkelanjutan di Kabupaten Gresik 35-39

Desain Terintegrasi Struktur Beton Bertipe Portal Segmen Lima 40-45

Manajemen Konstruksi Peningkatan Sumur Air Tanah untuk Kekeringan di Pulau Flores..... 46-49

Pengolahan Sampah *Landfill Mining* di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ngipik, Kecamatan Manyar, Gresik 50-53

Analisis Implementasi Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada Proyek Renovasi Stadion Gelora Joko Samudra Kabupaten Gresik Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2012, Nomor 16 Tahun 2021, dan ISO 45001 54-57

Pembangunan Kolam Tampung/Retarding Basin di Tambak Beras Kabupaten Gresik 58-61

 ISSN 2987-677x

Evaluasi Kinerja Alat Afinion 2 dalam Pengukuran HbA1c dengan Metode Uji Banding terhadap Biorad D10 HPLC di Laboratorium Klinik Tirta Medical Centre 62-66

Design Basis MAN *Engine Power Plant* 67-70

Analisa Produktivitas pada Fabrikasi Struktur Baja PT RKU 71-74

Perencanaan *Fire System* Pada Tangki T-35001 dan T-35002 PT Multimas Nabati Sulawesi 75-79

Analisis Tingkat Kekritisan Asset di *Paper Machine* Menggunakan *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) untuk Menentukan Fokus *Preventive Maintenance* di PT XYZ 80-84

Penggunaan Dua Sumber Pasokan Gas Alam untuk Kebutuhan Sumber Energi di PT Mayora Indah Tbk Plant Cibitung, Bekasi 85-89

Homogenisasi *Regrind High Density Polyethylene* (HDPE) dengan *Filter Nozzle* pada Proses *Injection Molding* untuk Meningkatkan Kualitas Produk 90-97

Komposting untuk Menekan Sampah Daun dari Lanskap Gedung Mayora HQ..... 98-101

Aplikasi Penggunaan *Waterproof Connector* untuk Instalasi Listrik Lapangan pada Proyek Konstruksi 102-105

Tantangan Pembangunan Infrastruktur di Area Pertambangan Batubara 106-110

Analisis Keselamatan, Kesehatan Kerja, dan Lingkungan Hidup Unit *Washing Plant Machine* Proses Bisnis Pencucian Bauxite PT Hasta Panca Mandiri Utama *Jobsite* KDA 111-115

Analisa Pengaruh Ketinggian Terhadap *Air Cycle Machine* (ACM) dengan ANSYS pada Pesawat Udara CN235-220 MPA 116-119

Perancangan dan Implementasi Sistem Informasi Akuntansi Mendukung Profesionalisme Perusahaan Desain dan Konstruksi Interior di Surabaya 120-124

Penerapan Sistem Inspeksi Jalan Berbasis *Virtual tour* dan *Artificial Intelligence* untuk Mendukung Infrastruktur Berkelanjutan 125-128

Pengaruh Cuaca terhadap Pelaksanaan Produktifitas Jalan Raya 129-130

Implementasi Teknis Pengoperasian Mesin Penyemprot Aspal 131-135

Implementasi Program Lingkungan Melalui Evaluasi Dampak Proses Produksi Kilang Minyak pada Produk Bahan Bakar Gasoline RON 90, Biosolar (B35), dan *Low Sulphur Waxy Residue* (*LSWR*) dengan Metode *Life Cycle Assessment* (*LCA*) 136-140

Evaluasi Kinerja SPALDT Kabupaten Lamongan 141-145

Instalasi NDB (*Non Directional Beacon*) *Portable* Sebagai Fasilitas Navigasi Penerbangan di Bandar Udara Miangas 146-150

Verifikasi Kelaikan Dermaga “X” Guna Memenuhi Standar Keselamatan 151-154

 ISSN 2987-677x

Analisis Implementasi *Condition Base Monitoring* Guna Meningkatkan *Durability Major* Komponen pada Proses Pemeliharaan *Dump Truck* 155-159

Implementasi Perbaikan Beton dengan Fosfroc Patchroc RSP pada Ruas Bakauheni-Terbanggi Besar Tol 160-162

Kesehatan dan Keselamatan Kerja dengan Standar Operasional Prosedur (SOP) Las Listrik Busur Manual di CV Four BR 163-167

Rekayasa Umur *Setting* Beton dengan Penambahan *Chemical Retarder* untuk Memperpanjang Waktu *Setting* Beton dalam Upaya Meningkatkan Produktifitas Pekerjaan Pengecoran *Pile Cap* Tiang Pancang Proyek Terminal LPG Tuban 168-171

Optimalisasi Proses Pengiriman Bulk Tangker ke *Customer* dengan *Fluidizing System Scada* 172-175

Analisis Data Kecelakaan Kerja di PT. X Periode Tahun 2024 – 2025 176-179

Pengentasan Kemiskinan dan Pengangguran Melalui Program Perikanan Budi Daya Untuk Menjaga Ketahanan Pangan di Kabupaten Sumenep 180-184

Implementasi Program Forikan dan Gemari di Kabupaten Sumenep 185-189

Profesionalisme Insinyur dalam Peningkatan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik di Kawasan Desa Randuboto 190-194

Penerapan Standar Survei dan Inventarisasi Jembatan Berbasis *Bridge Management System* di Kecamatan Duduksampeyan Menuju Gresik Mapan (Maju, Pintar, dan Aman) 195-199

Strategi Penanganan Kawasan Kumuh Melalui Program KOTAKU di Bandar Grisse Kabupaten Gresik: Kajian Teknis Berbasis Data dan Partisipasi Komunitas 200-203

Perkuatan Pondasi Pagar Pembatas Untuk Menjaga Keselamatan Lingkungan dan Keberlangsungan Kekuatan Tanah dari Proses Abrasi 204-207

Feasibility Study of Solar PV Project Implementation Under Build-Own-Operate (BOO) Scheme: A Case Study at PT ADF 208-211

Perancangan *UI/UX* Menggunakan Metode *Design Thinking* pada *Website* JDIH Kudus 212-216

Mendorong Pencapaian SDGs Melalui Penerapan Sertifikat Laik Fungsi: Dampak Kesadaran Masyarakat, Kualitas Infrastruktur, dan Kebijakan Pemerintah 217-223

Pengaruh Kemiringan *Deck* Pada Alat *Shaking Table* Terhadap *Recovery* Timah pada Metode *Gravity Concentration* 224-228

Analisis Kualitas Air Sungai di Sekitar Lokasi Pertambangan Nikel PT Celebes Multisarana Sakti di Desa Marombo Pantai Kecamatan Lasolo Kabupaten Konawe Utara 229-233

Manajemen Waktu Pengiriman Beton Segar dengan Truk Mixer Supaya Tetap Dalam Kondisi Plastis Sampai Pengecoran 234-238

 ISSN 2987-677x

Studi Proses *Leaching* Emas dengan *Gold Dressing Agent* X di PT Antam UBPE Pongkor 239-242

Analisis Biaya Operasional dan Pemeliharaan antara *Forklift* Solar dan *Forklift* Listrik 243-246

Pemanfaatan Gas Metana dari Dekomposisi Sampah Organik pada *Sanitary landfill* TPA Wonokerto, Pasuruan, Jawa Timur 247-251

Optimasi Desain *Jig Welding* Kain Berbasis CAE (*Computer Aided Engineering*) untuk Peningkatan Konsistensi Kualitas *Front Grille Speaker* Yamaha 252-255

Pembangunan Jembatan Gantung Jawa Timur Bentang 80 Meter (JG Gayam) 256-259

Kesiapan Laboratorium Konstruksi Bina Marga Kabupaten Pasuruan Menghadapi Proses Akreditasi: Studi Kasus dan Pengalaman 260-264

Manajemen Konstruksi Berbasis Kearifan Lokal: Studi Kasus Pembangunan Rumah Adat di Nias Utara 265-269

Normalisasi Kali Lamong Sebagai Upaya Penanggulangan Banjir di Kabupaten Gresik 270-272

ISSN 2987-677x

Mekanisme Percepatan Layanan Purna Bakti (Pensiun) Aparatur Sipil Negara (ASN) di Pemerintahan Kabupaten Sumenep

Wijaya Saputra[1] Andrew Joewono[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ wijayasaputra665@gmail.com
✉ andrew_sby@ukwms.ac.id

Strategi percepatan layanan pensiun untuk Aparatur Sipil Negara (ASN) di Pemerintah Kabupaten Sumenep, dengan eksplorasi kegiatan dari berbagai faktor yang mempengaruhi keterlambatan dan efisiensi dalam proses usulan pensiun, termasuk kepatuhan regulasi, ketersediaan sumber daya, dan teknologi yang mendukungnya. Melalui implementasi etika dan profesionalisme keinsinyuran, diharapkan dapat memberikan sumbangsih terkait pemecahan masalah layanan publik yang lebih efektif, terbuka, cepat dan aman. Pemilihan metode pengumpulan data, wawancara dengan pihak terkait dan monitoring evaluasi menunjukkan bahwa implementasi sistem digitalisasi dan peningkatan kolaborasi mapun komitmen petugas layanan dari stakeholders terkait dapat secara progresif memberikan percepatan dalam proses pensiun ASN. Artikel ini menyimpulkan bahwa reformasi dalam administrasi pensiun ASN dan komiten bersama tidak hanya meningkatkan kepuasan pegawai, tetapi juga berkontribusi pada transparansi dan akuntabilitas dalam system dan pengelolaan manajemen ASN secara utuh sesuai dengan Norma dan Prosedur pelayanan publik yang dapat dikembangkan secara berkelanjutan, sesuai dengan SDG2 no.16, Perdamaian, Keadilan, dan Kelembagaan yang Tangguh: Mendorong masyarakat yang damai dan inklusif, menyediakan akses terhadap keadilan untuk semua, dan membangun lembaga yang efektif, akuntabel, dan inklusif di semua tingkatan.

Kata kunci: etika, profesionalisme, pelayanan publik, berkelanjutan

Pendahuluan

Percepatan layanan pensiun bagi ASN merupakan salah satu langkah penting dalam rangka meningkatkan efisiensi dan transparansi sistem administrasi publik bidang manajemen. Di tengah berbagai tantangan yang dihadapi, termasuk birokrasi yang kompleks dan kebutuhan untuk memenuhi harapan ASN, serta memberikan kemudahan dan percepatan layanan pensiun. Melalui pendekatan yang profesional dan etis, percepatan layanan ini diharapkan dapat menjadi model bagi reformasi birokrasi yang lebih luas di Indonesia.

Secara substansi pemerintah telah memberikan rambu-rambu dan prosedur yang seharusnya menjadi katalis dalam percepatan layanan publik termasuk layanan pensiun ASN. Namun pelaksanaan di lapangan masih dijumpai keterlambatan dalam pemrosesannya, meskipun sudah tersedia standar pelayanan publik yang merupakan standar kinerja minimal yang harus dipenuhi oleh suatu instansi pemerintah dalam suatu organisasi sektor publik (Nugraha, 2018).

Penulis melalui Badan Kepegawaian dan Pengembangan Sumber Daya Manusia (BKPSDM) mencoba melakukan obeservasi dan penelusuran masalah yang diawali dengan pengumpulan berkas data-data awal, verifikasi, dan validasi akar masalah serta mencari opsi pemecahannya yang dilanjutkan dengan upaya sinkronisasi dengan variabel mitra pedukung proses pengajuan usulan purna bakti (pensiun) dimulai dari Badan Kepegawaian Negara BKN, PT.TASPEN, Badan Keuangan dan Aset Daerah, maupun Bank Mandiri Taspen (sebagai salah satu mitra pembayar gaji pensiunan ASN).

Proses usulan pensiun secara substansinya membutuhkan integrasi dan implementasi dari praktik keinsinyuran secara utuh dan professional sesuai tugas dan fungsi organisasi itu sendiri. Pemecahan keterlambatan Surat Keputusan Purna Bakti (Pensiun) ASN memerlukan implementasi kepakaran dan keahlian profesi berdasarkan penguasaan ilmu pengetahuan dalam memberikan perspektif pelayanan kepada publik yang optimal dan berkelanjutan sesuai cita-cita reformasi birokrasi yang memperhatikan instrument keselamatan, kesehatan, serta kesejahteraan.

Terkait hal tersebut, penulis berusaha melakukan penelitian untuk menjawab mengapa SK Pensiun ASN sering mengalami keterlambatan yang dilanjutkan dengan bagaimana pemecahan masalahnya dengan opsi yang terukur. Untuk itu penulis melalui metode pengumpulan data, wawancara dengan pihak terkait, serta monitoring evaluasi diharapkan mampu menjawab permasalahan yang saat ini sedang diteliti dan telusuri guna memberikan hasil daya manfaat yang berkelanjutan dalam pelayanan publik bidang manajemen kepegawaian sesuai dengan regulasi dan ketentuan yang berlaku.

Metode

Pengumpulan Data

Pengumpulan data terkait usulan pensiun yang diusulkan ke Badan kepegawaian Negara (BKN) ataupun ke PT.Taspen, untuk mengklarifikasi data awal dalam

 ISSN 2987-677x

pengambilan keputusan serta kebijakan terkait permasalahan yang harus diselesaikan.

***Monitoring* dan Evaluasi (Monev)**

Monev dilakukan untuk mengevaluasi kebijakan dan strategi yang dilakukan setelah analisa awal penentuan simpul penyebab akar masalah sebelum penetapan kebijakan oleh pemangku kepentingan.

Wawancara Efektif

Wawancara dilakukan untuk pengumpulan bukti-bukti empiris dari berbagai sumber, misalnya mitra kerja BKN, PT.TASPEN, Bank Mandiri Tapen, Badan Keuangan dan Aset Daerah (BKAD) dan calon penerima pensiun, sebagai piranti dalam pengambilan kesimpulan serta penetapan kebijakan yang strategis dalam menyelesaikan permasalahan.

Hasil Kerja

Identifikasi

Sebagai unit pelayanan publik bidang manajemen, penulis melalui BKPSDM berupaya mencari akar masalah guna menarik kesimpulan penetapan kebijakan dalam rangka pemecahan masalah tersebut, keterlambatan penerbitan SK Pensiun ASN secara general dan persuasif sesuai melalui Norma, Standar, Prosedur dan Kriteria NSPK yang berlaku.

Proses Pengumpulan Data

Identifikasi dan pengumpulan data yang menunjukkan keterlambatan proses usulan pensiun ASN di Lingkungan Pemerintah Kabupaten Sumenep di ilustrasi pada Tabel 1 dan Tabel 2, terlihat terdapat 392 usulan klaim tahun 2023 yang tidak tepat waktu dan hanya 36 klaim yang dinyatakan tepat waktu. Dari data tersebut sebagai indikator untuk mencari simpul-simpul masalah administrasi dan teknis yang menjadi variabel terlambatnya klaim pensiun selama kurun waktu satu tahun untuk dilakukan pemecahan dan solusi sebelum di tetapkan menjadi kebijakan strategis.

Tabel 1 Klaim Tidak Tepat Waktu Tahun 2023

Pemerintah Daerah	Tahun Klaim Pensiun Berjalan												
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	Total
Pemkab Bangkalan	38	2	11	32	35	38	24	9	7	24	6	2	228
Pemkab Pamekasan	54	10	23	40	33	42	47	7	8	42	1	5	312
Pemkab Sampang	38	6	12	20	16	24	14	10	4	14			158
Pemkab Sumenep	**83**	**19**	**14**	**17**	**36**	**37**	**25**	**34**	**35**	**39**	**32**	**21**	**392**
Pemprov Jawa Timur	11	4	3	7	11	10	6	1	5	12	2	1	73
Total	**224**	**41**	**63**	**116**	**131**	**151**	**116**	**61**	**59**	**131**	**41**	**29**	**1163**

Sumber data klaim PT.Taspen Cabang Pamekasan

Tabel 2 Klaim Tepat Waktu Tahun 2023

Pemerintah Daerah	Tahun Klaim Pensiun Berjalan												
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	Total
Pemkab Pamekasan		55	26						37	59	60	71	308
Pemkab Sampang		24	19						15	30	28	28	136
Pemkab Sumenep		**4**	**19**						**1**		**4**	**8**	**36**
Pemprov Jawa Timur		3	1						7	4	6	4	25
Total		**127**	**90**						**89**	**151**	**132**	**142**	**731**

Source: *PT. Taspen Cabang Pamekasan*

Proses Wawancara Efektif

Wawancara dan diskusi antar *stakeholders* dilakukan pada semua mitra kerja termasuk kepada penerima pensiun dari ASN itu sendiri, guna mendapatkan informasi akar masalah secara menyeluruh pada setiap variabel yang akan menjadi fokus proyeksi penyelesaiannya, sehingga didapatkan hasil dari penelusuran sebagai berikut:

1. Terdapat banyak berkas administrasi yang harus dilampirkan secara fisik dan menimbulkan kesulitan bagi ASN yang mengusulkan pensiun, serta adanya kesalahan data dalam pengisian *form* data calon pensiun oleh yang bersangkutan,
2. Pengusulan pensiun yang terlalu dekat dengan tanggal pensiun, oleh yang bersangkutan,
3. Dijumpai Surat Keterangan Pemberhentian Pembayaran (SKPP) gaji dari ASN yang akan pensiun dimana tidak tercantumnya nilai pada variabel SKP,
4. Terdapat kelebihan Tunjangan Anak selama proses penerbitan (SKPP), yang seharusnya sudah dilakukan pembaharuan data oleh yang bersangkutan pada aplikasi SIMPEG atau myASN (saat ini ASN DIGITAL), jauh hari sebelum masuk masa pensiun,
5. Dijumpai ASN yang belum menyerahkan barang inventaris milik negara, selama proses SKPP di Badan Keuangan dan Aset Daerah,
6. Dijumpai SKPP yang sudah terbit yang diambil langsung oleh calon penerima pensiun dan tidak disetorkan langsung ke PT.Taspen. Namun saat ini diupayakan, PT.Taspen langsung jemput bola di setiap minggunya untuk mengambil SKPP yang sudah diterbitkan oleh BKAD Kabupaten Sumenep, untuk dapat diproses lebih lanjut di PT.Taspen.
7. Dijumpai adanya keterlambatan klaim usul pensiun di setiap tahun berjalan, yang harus mendapatkan komitmen dari semua *stakeholders* untuk mendapatkan solusi terbaik.

Dari temuan tersebut disepakati dengan komitmen untuk memperbaiki dan meninjau ulang pola administrasi di setiap kinerja instansional pendukung percepatan usul pensiun, sebagai upaya tidak ada lagi keterlambatan dalam proses dan pelayanannya. Perubahan komitmen yang disepakati oleh BKN, BKPSDM, BKAD, PT.Taspen, Bank Mandiri Taspen dan pengusul adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan berkas adminstrasi usul pensiun menggunakan aplikasi dan generasi melaui system ASN Digital BKN, hal ini meminimalkan kesalahan berkas dan input data,
2. Pengusulan pensiun dilakukan minimal 6 (enam) bulan sebelum Batas Usia Pensiun ASN,
3. Surat Keterangan Pemberhentian Pembayaran (SKPP) gaji dari ASN sudah tercantum nilai variabel SKP,
4. Tunjangan Anak selama proses penerbitan (SKPP), sudah dilakukan peremajaan/ pembaharuan data oleh yang bersangkutan pada aplikasi SIMPEG atau myASN (saat ini ASN DIGITAL) jauh hari sebelum masuk masa pensiun,
5. Sebelum pensiun, ASN sudah harus menyelesaikan serah terima dan pengembalian barang milik daerah sesuai aturan yang berlaku,
6. PT.Taspen langsung jemput bola disetiap minggunya untuk mengambil SKPP yang sudah diterbitkan oleh BKAD Kabupaten Sumenep, untuk dapat diproses lebih lanjut di PT.Taspen.

Proses *Monitoring* dan Evaluasi

Monitoring adalah proses kerja pengumpulan dan menganalisis informasi yang didapat secara berkelanjutan dari penerapan suatu program atau kegiatan untuk mengetahui apakah proses kerja telah berjalan sesuai rencana. Sedangkan, evaluasi adalah penilaian berkala dan

 ISSN 2987-677x

terukur terhadap kesesuaian tujuan dan dampak dari suatu program atau kegiatan yang dilakukan.

Dari hasil kerja Pengumpulan Data dan Wawancara Efektif, dilakukan analisa secara menyeluruh terkait langkah-langkah konkrit untuk mendapatkan pemecahan masalah atau opsi solusi yang efektif sesuai dengan kemampuan dan batas keilmuan secara normatif mapun profesional.

Strategi Pemecahan Masalah

Secara geografis, Kabupaten Sumenep merupakan daerah kepulauan dengan kemajemukan sumber daya manusia yang dimilikinya, termasuk ASN yang ada di dalamnya. Pelayanan Publik bidang Manajemen ASN merupakan salah satu layanan yang harus diberikan oleh pemerintah kepada ASN secara adil dan bijaksana, baik yang ada di wilayah daratan maupun yang berdomisili di wilayah kepulauan. Pensiun adalah hak ASN secara normatif dan perlu mendapat perhatian dari pemangku kepentingan melalui Perangkat Daerah sesuai tugas dan fungsinya dalam melaksanakan manajeman ASN. Permasalahan keterlambatan usulan pensiun dan penetapan Surat Keputusan Pensiun menjadi kasus penting yang perlu mendapatkan solusi dari alat-alat Negara dan birokrasinya. Menyikapi hal tersebut, implementasi etika dan profesional keinsinyuran sangat diperlukan dalam pengambilan keputusan strategis untuk memecahkan problematika ini.

Jika kita meninjau dasar hukum yang menjembatani penyelesaian kasus ini mengacu pada regulasi dan ketentuan yang berlaku dan bersifat taat hukum sebagai berikut:

1. Peraturan Menteri PAN RB Nomor 25 Tahun 2020 tentang Road Map Reformasi Birokrasi 2020-2024 pada area Peningkatan Kualitas Pelayanan Publik.
2. Peraturan Direktur Jendral Perbendaharaan Nomor: PER-19/PB/2015 tentang Tata Cara Pencairan dan Pertanggungjawaban Dana Belanja Pensiun yang dilaksanakan oleh PT TASPEN (PERSERO).
3. Badan Kepegawaian Negara Nomor: K26-30/V106-10/99 tanggal 06 November 2015 tentang Pembayaran Pensiun dan Tabungan Hari Tua Secata Otomatis bagai Pegawai Negeri Sipil yang Mencapai Batas Usia Pensiun.

Hal inilah yang menjadi fokus kedaruratan dan arti penting dilakukan penelusuran untuk mencari solusi terbaik sesuai dengan norma, standar, dan kriteria dalam rangka kepuasan ASN yang akan purna bakti.

Strategi Administrasi

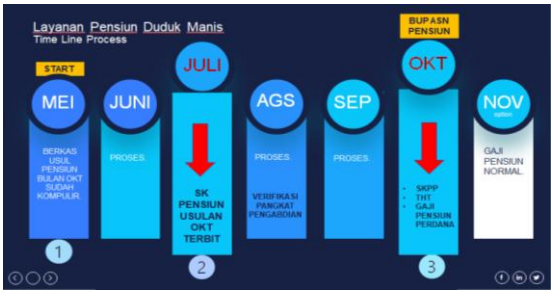
Pelayanan pemerintah atau swasta yang diberikan kepada masyarakat sebagai *end user* dipastikan menuntut dan meminta kualitas, kecepatan, dan kemudahan dalam fokus kepuasan yang terukur sebagai penerima manfaat (Ali & Saputra 2020). Untuk itulah dibutuhkan inovasi sebagai salah satu strategi dalam rangka peningkatan dan optimalisasi pelayanan guna tercapainya kepuasan masyarakat (ASN yang akan purna bakti) sesuai ketentuan yang berlaku.

Strategi untuk menentukan pemecahan masalah sebagai ASN yang profesional harus mengutamakan keluhuran budi, keadilan, dan tanggung jawab berdasarkan prinsip dasar kode etik insinyur (PII, 2023) yang diaplikasikan pada pemanfaatan keahlian dan profesionalisme teknis dalam menentukan analisa dan hipotesis guna menyelesaikan masalah reformasi birokrasi sesuai dengan bidang tugas dari seorang ASN itu sendiri. Untuk mendapatkan hasil dan tujuan organisasi, penyesuaian pengambilan keputusan dalam rangka pelayanan publik perlu memperhatikan dinamika eksternal maupun internal sebagai variabel pengaruh dalam peningkatan pelayanan (Muharam, R. S. 2019).

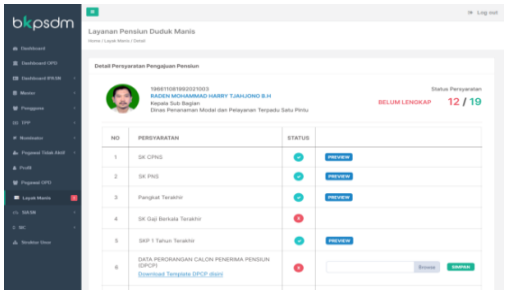
Mengedepankan prinsip etika professional keinsinyuran memberikan ruang gerak secara simultan dan bermartabat demi mewujudkan pemerintahan yang baik dan benar secara berkelanjutan. Oleh karena ini dilakukan upaya memetakan langkah nyata secara teknis dan administrasi, dimana deteksi awal dimulai sebelum ASN masuk masa pensiun, 6 (enam) bulan sebelumnya sudah dilakukan proses kerja dan *starting point* pengusulan berkas administrasi pensiun, sebagai awal pemecahan masalah berdasarkan pemetaan dalam formatur bulan (alur konsep layanan seperti ada gambar 1).

1. Bulan Mei dan Juni;
   a. Pengusul sudah mulai menyiapkan berkas yang dibutuhkan dan diunggah (bilamana diperlukan),
   b. Pengusul sudah mulai mempersiapkan pemberkasan yang dipersyaratkan pada proses SKPP,
   c. Pengusul sudah aktif berkoordinasi dengan bagian kepegawaian OPD,
   d. Pengusul dan bagian kepegawaian OPD, aktif pantau notifikasi proses usulan pensiun,
   e. Admin Layanan Pensiun Duduk Manis BKPSDM sudah memproses usulan pensiun secara sistematis dan terukur.
2. Bulan Juli, Agustus, September;
   a. SK Pensiun sudah terbit 3 (tiga) bulan sebelum ASN terhitung pensiun, di TTE yth.Bupati Sumenep (setelah pertek),
   b. Admin Layanan Pensiun Duduk Manis BKPSDM menyerahkan SK (secara sistem atau manual),
   c. Pengusul melalui OPD ybs, mengusulkan SKPP ke BKAD,
   d. Admin BKPSDM pantau aktif usulan SKPP termasuk kenaikan pangkat pengabdian (jika memenuhi syarat),
   e. Admin PT TASPEN, identifikasi berkas SKPP yang akan terbit di bulan Juli di BKAD Kab Sumenep (koordinasi aktif dengan BKPSDM),
   f. Sudah dilakukan Verifikasi Pangkat Pengabdian.
3. Bulan Oktober;
   a. SKPP terbit dan diambil oleh PT TASPEN ke BKAD untuk segera diproses,
   b. TASPEN sudah diterima oleh Pensiunan ASN sesuai jadwal,
   c. Beserta berkas administrasinya,
   d. THT dan Gaji Pensiuan Perdana sudah diterima.
4. Bulan November;
   Bulan berikutnya setelah PENSIUN gaji pensiun sudah dapat diterima.

 ISSN 2987-677x



Gambar 1 Konsep Layanan Percepatan Pensiun ASN



Gambar 3 *Dashboard* Fitur Layanan Pensiun

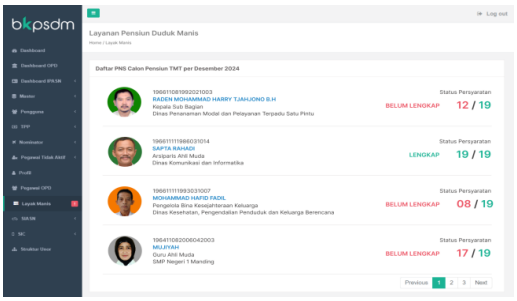
Strategi Pemanfaatan Digitalisasi

Strategi implementasi informasi teknologi memberikan sentuhan yang implementatif bahwa improvisasi pelayanan publik harus memiliki keharmonisan instrumen di dalamnya, yang memberikan kemudahan kepada masyarakat sebagai pengguna dan pemanfaat layanan secara langsung. Konsep pelayanan publik berbasis elektronik ini fokus pada kecepatan, kemudahan, efektikfitas, dan tranparansi dalam memberikan layanan kepada masyarakat (Yunaningsih et al., 2021). Digitalisasi atau elektronisasi pelayanan publik merupakan sistem kegiatan yang bertujuan memenuhi kebutuhan penerima layanan dengan memanfaatkan teknologi dan data digital untuk mempermudah proses pelayanan. Pemikiran dan pandangan penggunaan informasi teknologi dalam pelayanan sektor publik, dijelaskan secara implisit oleh Dunleavy (Panggabean & Meilani, 2023).

Atas dasar penggabungan yang saling subtitusi antara proses kerja strategi administrasi dan strategi pemanfaatan digitalisasi, merupakan solusi terkait percepatan pelayanan pensiun ASN.

Pengumpulan data-data dan berkas yang dibutuhkan dalam usulan pensiun serta alur bisnis yang teridentifikasi diaplikasikan dalam sebuah piranti *software* berbasis Web Service BKPSDM Kabupaten Sumenep, melalui aplikasi Sistem Kepegawaian yang terintegrasi dengan ASN Digital BKN. Penambahan fitur Layanan Pensiun dapat memberikan akses kepada calon pensiun atau pemangku kepentingan untuk melakukan percepatan proses bisnis yang cepat, akurat, mudah, dan transparan (Panggabean & Meilani, 2023).

Dengan implementasi piranti strategi administrasi dan strategi pemanfaatan digitalisasi, diharapkan dapat dikembangkan pada penelitian lebih lanjut sebagai karya inovasi yang memiliki daya manfaat berkelanjutan demi mewujudkan kesejahteraan dan kemaslahatan masyarakat secara umum (terlihat pada Gambar 2 dan 3).



Gambar 2 Media Informasi Teknologi Pendukung

Implementasi Etika dan Profesionalisme Keinsinyuran

Implementasi etika dan profesionalisme keinsinyuran menurut (PII, 2023) pada pelaksanaan penyelesaian masalah keterlambatan penetapan SK Pensiun dan proses klaim pensiun ASN adalah:

1. Melakukan analisa dan mengevaluasi kewajaran, keakuratan setiap data dan informasi yang didapat dalam proses penentuan strategi pemecahan masalah,
2. Secara substansi bidang kompetensi dan tugas fungsi sebagai abdi Negara yang menjalankan tugas pemerintahan sesuai dengan tujuan organisasi,
3. Hasil dari strategi pemecahan masalah ini, disampaikan secara normatif dan objektif kepada pemangku kebijakan sesuai tugas dan fungsinya sebelum finalisasi dan penetapan kebijakan secara resmi,
4. Dilakukan secara profesional bertanggung jawab atas tugasnya, jujur dan dapat dipercaya oleh pimpinan perangkat daerah yang memberikan tugas terkait pemecahan masalah keterlambatan usul dan klaim pensiun ASN ini,
5. Mengedepankan prinsip keadilan dan menjunjung tinggi martabat ASN dan profesi insinyur, sehingga diharapkan dapat dimanfaatkan kedayagunaannya secara berkelanjutan dan dapat dikembangkan sesuai dinamika perkembangan regulasi secara profesional dan terukur.

Kesimpulan

Dengan memanfaatkan teknologi, sinergi kinerja dan komitmen antar *stakeholders* merupakan upaya dalam memastikan perbaikan kebijakan, keputusan, dan transparansi dalam sistem tata kelola pemerintah yang menggambarkan finalisasi kebijakan yang diambil sehingga dapat lebih responsif dan akuntabel, serta ramah kepada masyarakat (Irwansyah et al., 2023).

Perbaikan dari sisi administrasi dan pemanfaatan teknologi digital memberikan hasil sesuai target dan harapan pemerintah dalam memberikan layanan kepada ASN di saat memasuki purna tugasnya melalui format Kemudahan dan Kecepatan Layanan Pensiun untuk para pejuang birokrasi di Pemerintah Kabupaten Sumenep, bahkan di seluruh Indonesia.

Kerjasama, sinergi, dan komitmen bersama antar instansi terkait sangat dibutuhkan dalam hal mewujudkan percepatan layanan pensiun bagi Aparatur Sipil Negara ASN.

Ditemukan perubahan terkait percepatan usul pensiun dan penerbitan SK pensiun di Tahun 2024 yang sangat signifikan setelah dilakukan penelitian ini, dengan memperhatikan data rincian Usul Penerbitan SK Pensiun sebanyak 393 dan SK Pensiun yang terbit sebanyak 381. Dijumpai ada selisih 12 usulan yang mengalami keterlambatan, dikarenakan ada anomali data dari calon

 ISSN 2987-677x

pensiun yang perlu dilakukan rekonsiliasi secara proaktif antara BKPDSM dan BKN. Hasil pelaksanaan mekanisme seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 Rekapitulasi Data Usul Pensiun dan Penerbitan SK Pensiun Tahun 2024

Bulan	Usulan Penerbitan SK Pensiun	SK Pensiun Terbit
JAN	93	87
FEB	31	30
MAR	29	26
APR	31	24
MAY	40	40
JUN	31	30
JUL	25	25
AUG	29	29
SEP	20	20
OCT	18	18
NOV	22	22
DEC	24	24
TOTAL	**393**	**381**

Gambar 4 Surat Keputusan Pensiun Purna Bakti ASN

Implementasi etika dan profesionalisme keinsinyuran dalam pelaksanaan dan mekanisme percepatan pelayanan pensiun ASN diwujudkan dengan diterapkannya prosedur alur bisnis normatif sesuai dengan regulasi secara jujur dan bertanggung jawab serta obyektif dalam memberikan hasil serta solusinya.

Ucapan Terima Kasih

Ungkapan terima kasih yang terutama kepada ALLAH SWT yang telah meridhoi penulisan artikel ini sebagai piranti penyelesaian Program Studi Program Profesi Insinyur. Ucapan terima kasih kepada Ibu dan Ayah tercinta atas doa terbaiknya untuk penulis, terima kasih kepada Bapak Andrew Joewono sebagai dosen pembimbing pada Program Studi Program Profesi Insinyur Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya atas arahan dan bimbingannya selama ini. Terima Kasih pada PII sebagai naungan kami profesi insinyur. Terima kasih kepada Pemkab Sumenep yang telah menyediakan Anggaran pada DPA Sub Kegiatan.

Referensi

Ali, K., & Saputra, A. (2020). Tata kelola pemerintahan desa terhadap peningkatan pelayanan publik di Desa Pematang Johar. *Warta Dharmawangsa*, *14*(4), 602-614, https://doi.org/10.46576/wdw.v14i4.891.

Badan Kepegawaian Negara Nomor: K26-30/V106-10/99 tanggal 06 November 2015 tentang Pembayaran Pensiun dan Tabungan Hari Tua Secata Otomatis bagai Pegawai Negeri Sipil yang Mencapai Batas Usia Pensiun.

Taufiqurokhman., Pathony, T., Damanik, F.H.S., Nurhakim, A., Judijanto, L. (2023). Transformasi e-government: Mengevaluasi dampak digitalisasi terhadap pelayanan publik. *Cahaya Mandalika*, *3*(2), 1796–1803, https://doi.org/10.36312/jcm.v3i2.2390.

Persatuan Insinyur Indonesia. (2010). *Kode etik insinyur Indonesia*. https://www.scribd.com/doc/251115386/KODE-ETIK-PII

Muharam, R. S., & Melawati, F. (2019). Inovasi pelayanan publik dalam menghadapi era revolusi industri 4.0 di Kota Bandung. *Decision: Jurnal Administrasi Publik*, *1*(1), 39-47, https://doi.org/10.23969/decision.v1i01.1401.

Nugraha, J. T. (2018). E-Government dan pelayanan publik (studi tentang elemen sukses pengembangan e-government di Pemerintah Kabupaten Sleman). *Jurnal Komunikasi dan Kajian Media*, *2*(1), 32-42.

Panggabean, C., & Meilani, N. L. (2023). Digitalisasi pelayanan publik di Kota Pekanbaru (studi kasus aplikasi pekanbaru dalam genggaman dalam tinjauan digital era governance). *Sentri: Jurnal Riset Ilmiah*, *2*(3), 721–728, https://doi.org/10.55681/sentri.v2i3.622.

Kementerian Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi. (2020). *Peraturan Menteri PANRB Nomor 25 Tahun 2020 tentang Road Map Reformasi Birokrasi 2020–2024 pada area peningkatan kualitas pelayanan publik*. Kementerian PANRB.

Direktorat Jenderal Perbendaharaan. (2015). *Peraturan Direktur Jenderal Perbendaharaan Nomor PER-19/PB/2015 tentang tata cara pencairan dan pertanggungjawaban dana belanja pensiun yang dilaksanakan oleh PT TASPEN (Persero)*. Kementerian Keuangan Republik Indonesia.

Yunaningsih, A., Indah, D., & Eryanto Septiawan, F. (2021). Upaya Meningkatkan Kualitas Layanan Publik Melalui Digitalisasi. Altasia : Jurnal Pariwisata Indonesia, 3(1), 9–16, https://doi.org/10.37253/altasia.V3i1.4336.

 ISSN 2987-677x

Sistem Manajemen Perpustakaan Berbasis Web Untuk Efisiensi Peminjaman Buku di SMP 1 Jati Kudus Menggunakan Metode Waterfall

Indra Lina Putra[1] Andrew Joewono[1] Andre Tri Saputra[1] Alvin Rainaldy Hakim[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ indra.lina.putra95@gmail.com

Perpustakaan sekolah memiliki peran penting sebagai pusat sumber belajar yang mendukung kegiatan literasi dan peningkatan mutu pendidikan. Namun, masih banyak perpustakaan, termasuk di SMP 1 Jati Kudus, yang mengandalkan sistem manual dalam pengelolaan peminjaman dan pengembalian buku, sehingga menimbulkan berbagai permasalahan seperti ketidaktepatan data, proses pencatatan yang lambat, serta kesulitan dalam penyusunan laporan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem manajemen perpustakaan berbasis web dengan metode *waterfall*, sebagai solusi untuk meningkatkan efisiensi operasional dan kualitas layanan perpustakaan. Sistem ini dirancang agar mampu mempermudah proses transaksi, pengelolaan data koleksi buku, serta akses informasi oleh pengguna secara cepat dan akurat. Dengan mengadopsi teknologi informasi, perpustakaan diharapkan dapat bertransformasi menjadi sarana belajar yang modern, efektif, dan lebih mendukung proses pendidikan di sekolah. Penelitian ini mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan atau *sustainable development goals* (SDG), yaitu pendidikan berkualitas (*quality education*), dengan meningkatkan akses terhadap sumber belajar yang terorganisir dan berbasis teknologi.

Kata kunci: metode waterfall, perpustakaan sekolah, sistem manajemen perpustakaan

Pendahuluan

Perpustakaan sekolah memiliki peran strategis sebagai pusat sumber belajar yang mendukung proses pendidikan. Dalam konteks ini, efektivitas sistem pengelolaan perpustakaan menjadi faktor penting dalam menunjang kegiatan literasi dan peningkatan mutu pendidikan. Namun, banyak perpustakaan sekolah, termasuk di SMP 1 Jati Kudus, masih mengandalkan sistem manual dalam pencatatan peminjaman dan pengembalian buku. Menurut penelitian (Sidik et al., 2024), perpustakaan yang masih menggunakan sistem manual untuk peminjaman dan pengembalian buku, ada kemungkinan kesalahan dalam pencatatan peminjaman buku, jumlah buku yang tersedia, kesulitan saat mencari buku, dan informasi buku apa pun yang tersedia. Hal ini menyebabkan berbagai permasalahan, seperti ketidaktepatan data, lamanya waktu pencatatan, serta kesulitan dalam menghasilkan laporan yang akurat.

Perpustakaan harus berupaya untuk mengidentifikasi dan mengelola pengetahuan implisit yang sering kali tidak terstruktur. Pengembangan sistem yang efektif untuk menangani pengetahuan ini sangat penting agar perpustakaan dapat menjadi sumber informasi yang relevan dan bermanfaat. Tujuan dari layanan perpustakaan adalah untuk menghubungkan pemustaka dengan bahan pustaka yang sesuai dengan minat mereka. Untuk menciptakan layanan perpustakaan yang efektif, diperlukan berbagai unsur penunjang yang dapat mendukung kelancaran operasional seperti sistem informasi (Manajemen et al., 2022). Dalam Pendidikan, perpustakaan juga diartikan sebagai tempat kumpulan buku-buku yang dihimpun dan di organisasi sebagai media belajar siswa (Handayani, 2022). Oleh karena itu, perpustakaan memiliki peran yang vital dan berpengaruh besar terhadap mutu pendidikan, terutama dalam menunjang kegiatan belajar mengajar (Endarti, 2022).

Penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan sistem perpustakaan dengan judul "Perancangan Sistem Informasi Perpustakaan Berbasis Web di SMK 1 LPPM RI Majalaya", menghasilkan kesimpulan bahwa sistem informasi perpustakaan berbasis web meningkatkan minat siswa dalam membaca karena mereka dapat mengakses di mana saja dan kapan saja tanpa dibatasi waktu, dan juga memudahkan petugas untuk mengelola data perpustakaan (Raharto et al., 2021).

Penelitian lain dengan judul "Perancangan Aplikasi Perpustakaan Berbasis Web pada SMK Negeri 1 Rangkasbitung" menghasilkan kesimpulan bahwa dengan dibuatnya aplikasi perpustakaan berbasis web dapat mengubah proses manual perpustakaan pada SMK Negeri 1 Rangkasbitung menjadi lebih efesien, cepat dan akurat, serta lebih mudah dalam proses transaksi perpustakaan (Salsabilah & Yulianti, 2019).

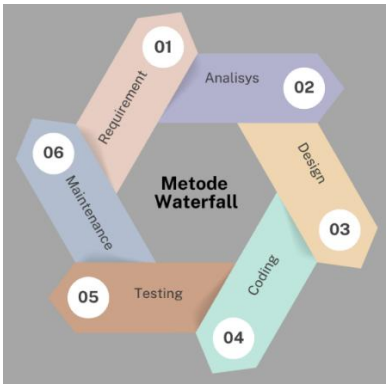
Dari permasalahan yang telah dijabarkan diatas, peneliti bertujuan untuk merancang dan membangun sistem manajemen perpustakaan berbasis web untuk SMP 1 Jati Kudus dengan menerapkan metode *waterfall*. Sistem ini diharapkan dapat mengatasi kendala operasional yang selama ini terjadi, sekaligus meningkatkan efisiensi dan kualitas layanan perpustakaan bagi seluruh sivitas sekolah.

Metode

Metode penelitian yang digunakan mengusulkan pendekatan metode *waterfall* untuk membangun sistem manajemen perpustakaan berbasis web untuk efisiensi

 ISSN 2987-677x

peminjaman buku di SMP 1 Jati Kudus yang memungkinkan proses pengembangan dilakukan dengan langkah-langkah yang terstruktur dan jelas. Metode *waterfall* merupakan pendekatan tradisional yang mengikuti proses secara berurutan dan linear (Saravanos & Curinga, 2023). Berikut tahapan metode *waterfall* dapat dilihat pada Gambar 1.



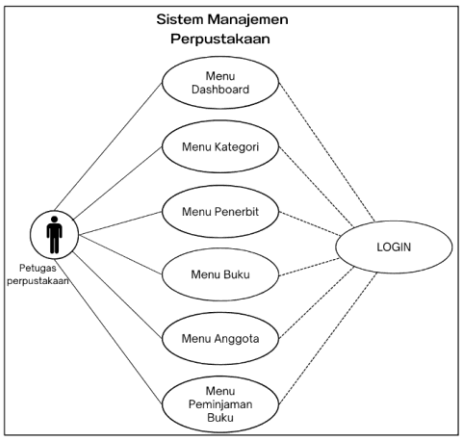
Gambar 1 Tahapan Metode *Waterfall*

a. *Requirement* (Kebutuhan)

Analisis kebutuhan pada penelitian ini dilakukan dengan metode pengumpulan data meliputi observasi dan wawancara pada SMP 1 Jati Kudus. Analisis yang diperlukan dalam membangun sistem manajemen perpustakaan terbagi menjadi dua, yaitu kebutuhan fungsional dan kebutuhan non-fungsional. Kebutuhan fungsional merupakan gambaran aktivitas yang dikerjakan sistem sesuai dengan kebutuhan *user*. Pada penelitian ini, yang akan mengoperasikan sistem adalah admin/petugas perpusakaan. Aktivitas petugas perpustakaan terhadap sistem, yaitu mengelola mulai dari *update* kategori, penerbit, buku, anggota, peminjaman buku, dan lain sebagainya terkait manajemen perpustakaan. Kebutuhan non-fungsional terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak yang meliputi perangkat komputer, *operating system, xampp,* dan web (Melliana & Nurgiyatna, 2021).

b. *Analisys* (Analisis)

Dalam tahapan ini peneliti melakukan analisis lebih mendalam mengenai cara sistem dalam manajemen dan pengelolaan yang akan memenuhi kebutuhan tersebut. Pada analisis menggunakan kerangka *use case* untuk menggambarkan interaksi pengguna dengan sistem serta memastikan bahwa seluruh fitur yang dibutuhkan dapat terpenuhi pada sistem yang dibangun. Berikut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 *Use Case* Diagram Sistem

c. *Design* (Desain)

Pada tahap ini, desain sistem pengelolaan dilakukan secara mendetail, mulai dari awal sampai akhir, termasuk UI/UX (*User Interface/ User Experience*) yang sesuai dengan admin pengguna agar dapat menjalankan serta mengakses sistem dengan mudah dan cepat. Selain itu, desain basis data yang akan menyimpan data-data perpustakaan dibuat bersama dengan desain algoritma yang akan mengatur logika sistem. Desain ini kemudian divalidasi untuk memastikan bahwa seluruh kebutuhan yang telah ditetapkan dan dibangun sudah sesuai dengan apa yang dibutuhkan (Hamid et al., 2025).

d. *Coding* (Pengkodean)

Pada tahap ini, peneliti menulis pengkodean untuk membangun sistem berdasarkan desain dan spesifikasi yang telah ditetapkan pada tahapan sebelumnya. Bahasa pengkodean yang digunakan *hypertext preprocessor* (PHP) laravel. Menurut penelitian (Sinlae et al., 2024) laravel sebagai *framework* andal dan efisien untuk pengembangan aplikasi *website*. Dengan memanfaatkan fitur-fitur yang disediakan oleh laravel, pengembang dapat meningkatkan produktivitas, mengurangi waktu pengembangan, serta memastikan aplikasi yang dibangun memiliki per*froma* dan skalabilitas yang tinggi. Dalam proses pengkodean penelitian ini mencakup pembangunan fungsionalitas sistem, seperti *login* sistem, halaman *dashboard*, menu halaman kategori, menu halaman penerbit, menu halaman buku, menu halaman anggota, dan menu halaman peminjaman buku. Semua fitur sistem dibangun dan diuji satu per satu untuk memastikan bahwa setiap bagian fitur berfungsi dengan baik dan sesuai.

e. *Testing* (pengujian)

Setelah sistem dibangun selanjutnya tahap pengujian sistem agar untuk memastikan sistem dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode pengujian *black box*. Pengujian *black box* digunakan untuk unit-unit kecil maupun hasil yang telah terintegrasi untuk menguji fungsional perangkat lunak. Pengujian perangkat lunak dari segi spesifikasi fungsional menguji desain dan kode program untuk mengetahui apakah fungsi, masukan, dan keluaran dari perangkat lunak sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan (Syarif & Pratama, 2021).

f. *Maintenance* (Pemeliharaan)

Tahap ini merupakan tahap terakhir dari metode *waterfall* dalam sistem manajemen perpustakaan berbasis web untuk efisiensi peminjaman buku Di SMP 1 Jati Kudus. Tahap ini difungsikan untuk melakukan pemeliharaan terhadap sistem yang telah dibangun jika terjadi kesalahan atau *bug* pada sistem (Inastiana et al., 2020).

Hasil Kerja

1. Hasil Implementasi sistem

Pada tahap implementasi, sistem manajemen perpustakaan berbasis web untuk efisiensi peminjaman buku di SMP 1 Jati Kudus diimplementasikan dalam bentuk aplikasi berbasis web yang memungkinkan admin untuk mengelola data buku, anggota perpustakaan, serta mencatat peminjaman dan pengembalian buku.

Sistem ini dirancang dengan *framework Laravel* sebagai *backend*, *MySQL* sebagai database, serta *HTML*, *CSS*

 ISSN 2987-677x

(*TailwindCSS*), dan *JavaScript* untuk tampilan antarmuka (*frontend*). Implementasi dilakukan melalui beberapa tahap, sesuai metode yang digunakan. Berikut hasil *system* yang dibuat beserta diskripsi penjelasan setiap fiturnya.

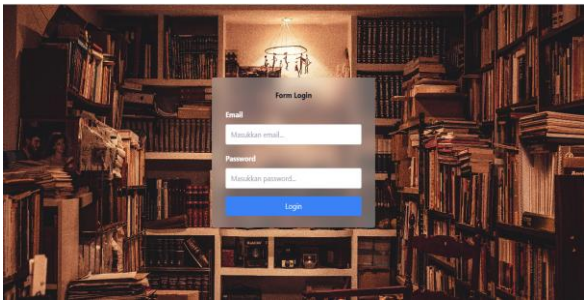
a) Tampilan Halaman *Home*

Halaman utama sistem menampilkan katalog buku yang tersedia di perpustakaan, yang dapat dicari dan disaring berdasarkan kategori dan penerbit. Berikut Gambar 3 tampilan halaman *Home.*

Gambar 3 Halaman *Home*

b) Tampilan Halaman *From Login*

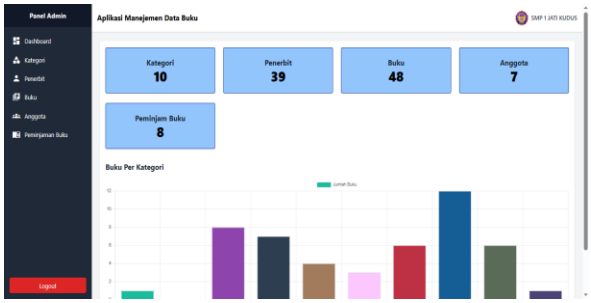
Di halaman *login*, pengguna harus memasukkan *email* dan *password* untuk mengakses sistem. Halaman ini diperuntukkan bagi admin perpustakaan agar dapat mengelola *system* perpustakaan. Tampilan halaman *login* menggunakan latar belakang perpustakaan klasik, dengan *from login* yang simpel dan mudah digunakan. Berikut Gambar 4 tampilan halaman *From Login.*



Gambar 4 Halaman *From Login*

c) Tampilan Halaman Dashboard

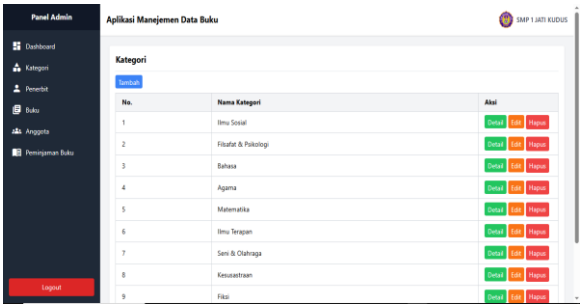
Halaman *dashboard* menampilkan ringkasan data dalam sistem manajemen perpustakaan. Terdapat lima indikator utama, yaitu total kategori buku, total penerbit, total buku yang tersedia, total anggota perpustakaan, dan total peminjam buku. Selain itu, terdapat grafik yang menampilkan jumlah buku berdasarkan kategori. Berikut Gambar 5 tampilan halaman *Dashboard.*



Gambar 5 Halaman *Dashboard*

d) Tampilan Halaman Kategori Buku

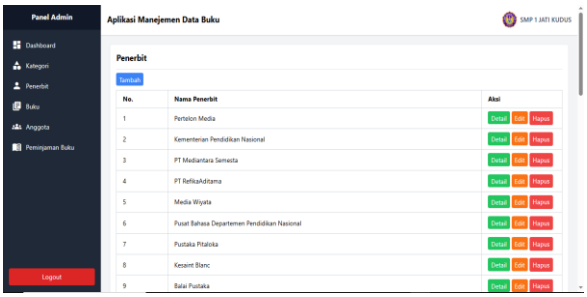
Halaman kategori buku menampilkan daftar kategori buku yang tersedia dalam sistem. Setiap kategori ditampilkan dalam bentuk tabel dengan nomor urut, nama kategori, dan aksi yang dapat dilakukan. Tersedia tombol Tambah untuk menambahkan kategori baru, serta tombol *Detail, Edit,* dan Hapus pada setiap baris untuk melihat informasi lebih lanjut, mengubah data, atau menghapus kategori yang ada. Berikut Gambar 6 tampilan halaman kategori buku.



Gambar 6 Halaman Kategori Buku

e) Tampilan Halaman Penerbit Buku

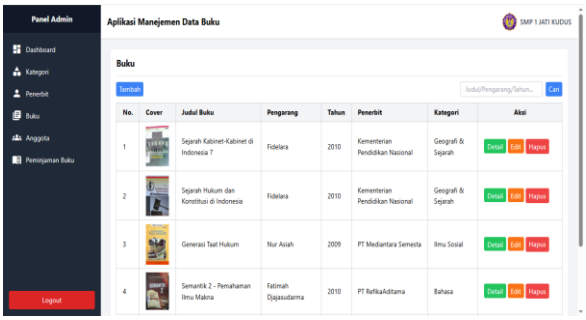
Halaman penerbit dalam sistem manajemen perpustakaan menampilkan daftar penerbit buku yang terdaftar. Data disajikan dalam bentuk tabel yang mencakup nomor, nama penerbit, serta opsi untuk melihat detail, mengedit, dan menghapus data. Berikut Gambar 7 tampilan halaman penerbit buku.



Gambar 7 Halaman Penerbit Buku

f) Tampilan Halaman Buku

Halaman buku dalam sistem manajemen perpustakaan menampilkan daftar buku yang tersedia dalam bentuk tabel. Informasi yang ditampilkan mencakup nomor, *cover* buku, judul buku, pengarang, tahun terbit, penerbit, serta kategori buku. Pengguna dapat menambahkan buku baru, mencari buku berdasarkan judul, pengarang, atau tahun terbit, serta melakukan aksi seperti melihat detail, mengedit, dan menghapus data buku. Berikut Gambar 8 tampilan halaman buku.



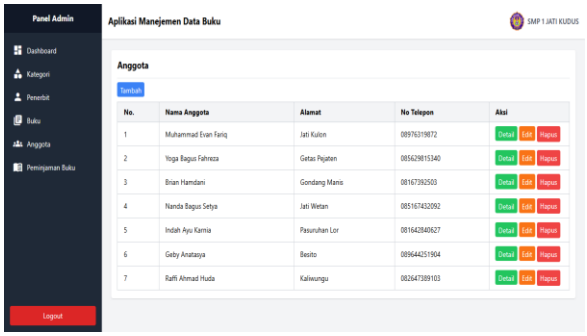
Gambar 8 Halaman Buku

g) Tampilan Halaman Anggota

Halaman anggota dalam sistem manajemen perpustakaan menampilkan daftar anggota yang terdaftar

 ISSN 2987-677x

dalam bentuk tabel. Informasi yang disajikan mencakup nomor, nama anggota, alamat, dan nomor telepon. Pengguna dapat menambahkan anggota baru serta melakukan pencarian dan pengelolaan data anggota melalui tombol aksi yang terdiri dari "*Detail*" untuk melihat informasi lebih lanjut, "*Edit*" untuk mengubah data, dan "Hapus" untuk menghapus anggota dari sistem. Berikut Gambar 9 tampilan halaman anggota.

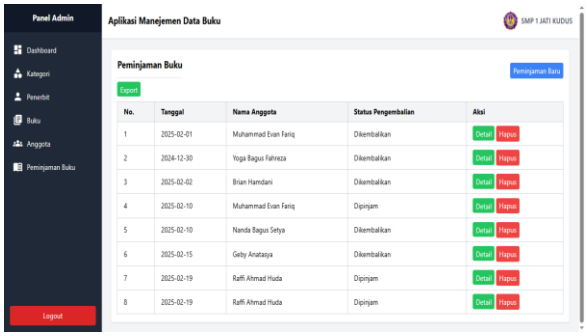


Gambar 9 Halaman Anggota

h) Tampilan Halaman Peminjaman Buku

Halaman ini menampilkan daftar transaksi peminjaman buku yang dilakukan oleh anggota perpustakaan SMP 1 Jati Kudus. Setiap peminjaman dicatat dengan informasi seperti tanggal transaksi, nama anggota yang meminjam, serta status pengembalian buku. Jika buku sudah dikembalikan, status akan ditandai sebagai "Dikembalikan", sedangkan jika masih dipinjam, statusnya "Dipinjam".

Admin dapat melakukan beberapa tindakan pada halaman ini, seperti menambahkan peminjaman baru, menghapus data peminjaman, atau melihat detail transaksi. Selain itu, tersedia fitur *Export* yang memungkinkan admin mengunduh data peminjaman dalam *from*at tertentu. Berikut Gambar 10 tampilan halaman peminjaman buku.



Gambar 10 Halaman Peminjaman Buku

2. Hasil pengujian sistem

Pengujian sistem dengan *black box* dilakukan untuk memastikan bahwa sistem manajemen perpustakaan berbasis web untuk efisiensi peminjaman buku di SMP 1 Jati Kudus berfungsi dengan baik sesuai dengan kebutuhan pengguna. Pengujian ini mencakup beberapa aspek penting, antara lain.

a) Pengujian Fungsionalitas: Memastikan setiap fitur utama seperti *login* admin, manajemen buku dan anggota, peminjaman, pengembalian, serta pembuatan laporan berjalan dengan baik.
b) Pengujian Kegunaan: Menguji kemudahan navigasi dan efisiensi penggunaan sistem oleh admin perpustakaan.
c) Pengujian Kompatibilitas: Memastikan sistem dapat diakses melalui berbagai perangkat dan *browser* tanpa kendala.
d) Pengujian Kinerja: Mengukur respons sistem dalam menangani transaksi peminjaman dan pengembalian buku secara cepat dan akurat.

Tabel 1 Hasil Pengujian Sistem

No	Komponen yang diuji	Rancangan Proses	Hasil yang diharapkan	Hasil
1	*Login* Admin	Memasukkan *username* & *password*	Admin dapat masuk ke *dashboard*	Sesuai
2	*Dashboard*	Klik menu *icon Dashboard*	Menampilkan halaman *Dashboard*	Sesuai
3	Menu Kategori	Klik menu *icon* kategori	Menampilkan halaman kategori	Sesuai
4	Menu tambah pada menu kategori	Klik menu *icon* tambah pada menu kategori	Menampilkan halaman tambah kategori	Sesuai
5	Menu Detail pada menu kategori	Klik menu *icon* Detail pada menu kategori	Menampilkan halaman Detail kategori	Sesuai
6	Menu Edit pada menu kategori	Klik menu *icon* Edit pada menu kategori	Menampilkan halaman Edit kategori	Sesuai
7	Menu Hapus pada menu kategori	Klik menu *icon* Hapus pada menu kategori	Menampilkan halaman Hapus kategori	Sesuai
8	Menu Penerbit	Klik menu *icon* Penerbit	Menampilkan halaman Penerbit	Sesuai
9	Menu tambah pada menu Penerbit	Klik menu *icon* tambah pada menu Penerbit	Menampilkan halaman tambah Penerbit	Sesuai
10	Menu Detail pada menu Penerbit	Klik menu *icon* Detail pada menu Penerbit	Menampilkan halaman Detail Penerbit	Sesuai
11	Menu Edit pada menu Penerbit	Klik menu *icon* Edit pada menu Penerbit	Menampilkan halaman Edit Penerbit	Sesuai
12	Menu Hapus pada menu Penerbit	Klik menu *icon* Hapus pada menu Penerbit	Menampilkan halaman Hapus Penerbit	Sesuai
13	Menu Buku	Klik menu *icon* Buku	Menampilkan halaman Buku	Sesuai
14	Menu tambah pada menu Buku	Klik menu *icon* tambah pada menu Buku	Menampilkan halaman tambah Buku	Sesuai

 ISSN 2987-677x

15	Menu Detail pada menu Buku	Klik menu *icon* Detail pada menu Buku	Menampilkan halaman Detail Buku	Sesuai
16	Menu Edit pada menu Buku	Klik menu *icon* Edit pada menu Buku	Menampilkan halaman Edit Buku	Sesuai
17	Menu Hapus pada menu Buku	Klik menu *icon* Hapus pada menu Buku	Menampilkan halaman Hapus Buku	Sesuai
18	Menu pencarian	Klik dan ketikan apa yangdicari pada *from* pencarian di menu buku	Menampilkan hasil pencarian	Sesuai
19	Menu Buku	Klik menu *icon* Buku	Menampilkan halaman Buku	Sesuai
20	Menu tambah pada menu Buku	Klik menu *icon* tambah pada menu Buku	Menampilkan halaman tambah Buku	Sesuai
21	Menu Detail pada menu Buku	Klik menu *icon* Detail pada menu Buku	Menampilkan halaman Detail Buku	Sesuai
22	Menu Edit pada menu Buku	Klik menu *icon* Edit pada menu Buku	Menampilkan halaman Edit Buku	Sesuai
23	Menu Hapus pada menu Buku	Klik menu *icon* Hapus pada menu Buku	Menampilkan halaman Hapus Buku	Sesuai
24	Menu Anggota	Klik menu *icon* Anggota	Menampilkan halaman Anggota	Sesuai
25	Menu tambah pada menu Anggota	Klik menu *icon* tambah pada menu Anggota	Menampilkan halaman tambah Anggota	Sesuai
26	Menu Detail pada menu Anggota	Klik menu *icon* Detail pada menu Anggota	Menampilkan halaman Detail Anggota	Sesuai
27	Menu Edit pada menu Anggota	Klik menu *icon* Edit pada menu Anggota	Menampilkan halaman Edit Anggota	Sesuai
28	Menu Hapus pada menu Anggota	Klik menu *icon* Hapus pada menu Anggota	Menampilkan halaman Hapus Anggota	Sesuai
29	Menu Peminjaman Buku	Klik menu *icon* Peminjaman Buku	Menampilkan halaman Peminjaman Buku	Sesuai
30	Menu tambah pada menu Peminjaman Buku	Klik menu *icon* tambah pada menu Peminjaman Buku	Menampilkan halaman tambah Peminjaman Buku	Sesuai
31	Menu Detail pada menu Peminjaman Buku	Klik menu *icon* Detail pada menu Peminjaman Buku	Menampilkan halaman Detail Peminjaman Buku	Sesuai
32	Menu export pada menu Peminjaman Buku	Klik menu *icon* export pada menu Peminjaman Buku	Menampilkan halaman export pada menu Peminjaman Buku	Sesuai
33	Menu Hapus pada menu Peminjaman Buku	Klik menu *icon* Hapus pada menu Peminjaman Buku	Menampilkan halaman Hapus Peminjaman Buku	Sesuai

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada pembuatan sistem manajemen perpustakaan berbasis web untuk efisiensi peminjaman buku di SMP 1 Jati Kudus menggunakan metode *waterfall* menunjukkan bahwa sistem ini berhasil memberikan solusi efektif dan efisien bagi pihak sekolah terutama pada perpustakaan dan siswa siswi tersebut. sistem mampu mengelola mulai dari kategori buku, penerbit buku, buku, anggota, peminjaman buku serta kebutuhan dalam manajemen didalam perpustakaan semua itu dapat dilakukan di dalam sistem. Keunggulan dalam sistem ini, yaitu dalam pengelolaan yang dapat dilakukan dengan mudah dan cepat sehingga memberikan efisiensi waktu dan ruang yang banyak. Sementara untuk keterbatasanya, sistem ini belum tersedia untuk diakses menggunakan aplikasi *mobile,* karena masih berbasis *website.*

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Bapak/Ibu Dosen Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya yang berperan penting membantu penulis dalam pembuatan artikel.

Referensi

Endarti, S. (2022). Perpustakaan sebagai tempat rekreasi informasi. *ABDI PUSTAKA: Jurnal Perpustakaan dan Kearsipan*, *2*(1), 23–28, https://doi.org/10.24821/jap.v2i1.6990.

Hamid, A., Prabowo, B. R., Syarif, A., Setiawan, B. A. (2025). Pengembangan aplikasi lamar bagawi dengan metode sdlc waterfall untuk pengelolaan lowongan kerja di Kabupaten Balangan. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia (JPTI)*. *5*(2), 321–329, https://doi.org/10.52436/1.jpti.658.

Handayani, T. (2022). Peran nomor inventaris sebagai sumber informasi jumlah koleksi pustaka: Studi kasus pada perpustakaan SD Negeri Manyaran 01 Semarang. *Anuva: Jurnal Kajian Budaya, Perpustakaan, dan Informasi*, *6*(2), 231–244, https://doi.org/10.14710/anuva.6.2.231-244.

Inastiana, F., Triayudi, A., & Handayani, E. T. E. (2020).

 ISSN 2987-677x

Implementation of the waterfall method for designing sisar (archive in*from*ation system) at the National University. *Jurnal Mantik*, *4*(1), 31–38.

Sanjaya, S., Jasmir., Meisak, D. (2022). Perancangan sistem informasi stok barang berbasis web pada PT. Jambi Agung Lestari. *Jurnal Manajemen Teknologi dan Sistem Informasi (JMS)*. *1*(2), 120–129, https://doi.org/10.33998/jms.2022.2.1.55.

Melliana, A. I., & Nurgiyatna, N. (2021). Sistem informasi arsip surat pada SMA Negeri 2 Sukoharjo menggunakan framework codeigniter. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia (JPTI)*, *1*(4), 141–149, https://doi.org/10.52436/1.jpti.29.

Raharto, T. B., Fawaati, T. M., & Nilasari, O. (2021). Perancangan sistem informasi perpustakaan berbasis web: Studi Kasus Provinsi Lampung. *IRobot Journal: International Research on Big-Data and Computer Technology*, *3*(1), 53–59, https://doi.org/10.53514/ir.v3i1.50.

Salsabilah, Z., & Yulianti, Y. (2019). Perancangan aplikasi perpustakaan berbasis web pada SMK Negeri 1 Rangkasbitung. *Jurnal Teknologi Sistem Informasi dan Aplikasi*, *2*(1), 9, https://doi.org/10.32493/jtsi.v2i1.2401.

Saravanos, A., & Curinga, M. X. (2023). Simulating the software development lifecycle: The waterfall model. *Applied System Innovation*, *6*(6), https://doi.org/10.3390/asi6060108.

Sidik, A., Sutarman, s., Ferdiyansyah, E. (2024). Perancangan sistem informasi perpustakaan pada SMP 27 Kota Tangerang. *COSTING: Journal of Economic, Business and Accounting*, 7(5), 1602-1609.

Sinlae, F., Irwanda, E., Maulana, Z., & Syahputra, V. E. (2024). Penggunaan framework laravel dalam membangun aplikasi website berbasis PHP. *Jurnal Siber Multi Disiplin (JSMD)*, *2*(2), 119–132.

Syarif, M., & Pratama, E. B. (2021). Analisis metode pengujian perangkat lunak blackbox testing dan pemodelan diagram uml pada aplikasi veterinary services yang dikembangkan dengan model waterfall. *Jurnal Teknik Infromatika Kaputama*, *5*(2), 253–258.

ISSN 2987-677x

Pengembangan Sistem Informasi Administrasi Berbasis Web di Balai Desa Tanjungkarang: Meningkatkan Efisiensi dan Transparansi Pelayanan Publik

Alvin Rainaldy Hakim[1] Andrew Joewono[1] Indra Lina Putra[1] Andre Tri Saputra[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ alvin.rainaldy@umk.ac.id

Sistem administrasi berbasis web di Balai Desa Tanjungkarang, Kecamatan Jati, Kabupaten Kudus, dirancang untuk mengatasi kendala dalam pengelolaan surat menyurat dan arsip kependudukan yang masih dilakukan secara manual. Aplikasi ini memungkinkan penduduk untuk mengajukan surat administrasi, seperti surat keterangan kelahiran, kematian, dan pindah secara online, sehingga mengurangi waktu, biaya, dan kompleksitas birokrasi. Fitur utama meliputi formular elektronik, manajemen data penduduk terintegrasi, notifikasi otomatis, dan pencarian data yang efisien. Pengembangan sistem menggunakan metode *waterfall*, dengan teknologi PHP, MySQL, dan XAMPP. Hasilnya, sistem ini meningkatkan efisiensi, transparansi, dan aksesibilitas layanan administrasi desa, memberikan manfaat bagi masyarakat dan pemerintah desa. Penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi berbasis web dapat menjadi solusi efektif untuk modernisasi administrasi di tingkat desa.

Kata kunci: metode waterfall, perpustakaan sekolah, sistem manajemen perpustakaan

Pendahuluan

Pengurusan administrasi di tingkat desa, seperti di Balai Desa Tanjungkarang, Kecamatan Jati, Kabupaten Kudus, merupakan elemen krusial dalam menjalankan pemerintahan yang efektif dan teratur. Namun, proses administrasi yang masih dilakukan secara manual sering kali menghadapi kendala, seperti lambatnya pelayanan, birokrasi yang rumit, dan aksesibilitas yang terbatas bagi masyarakat, terutama mereka yang tinggal di daerah terpencil atau memiliki keterbatasan waktu. Proses manual ini, seperti pengajuan surat keterangan kelahiran, kematian, atau pindah, memakan waktu lama dan memerlukan kehadiran fisik di kantor desa, yang dapat meningkatkan biaya dan kompleksitas bagi penduduk.

Kemajuan teknologi informasi, khususnya aplikasi berbasis web, menawarkan solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut. Dengan memanfaatkan *platform* web, pengelolaan administrasi desa dapat dilakukan secara *online*, memungkinkan penduduk untuk mengajukan surat administrasi dari mana saja dan kapan saja, selama terhubung dengan internet. Sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dan aksesibilitas, tetapi juga memperkuat transparansi dan struktur pengelolaan data penduduk oleh pemerintah desa. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem informasi administrasi berbasis web di Balai Desa Tanjungkarang. Sistem ini dirancang untuk mempermudah pengajuan surat administrasi, seperti surat keterangan kelahiran, kematian, dan pindah, secara *online*, serta mengelola data penduduk secara terintegrasi.

Dengan pendekatan pengembangan sistem menggunakan metode *waterfall*, penelitian ini berfokus pada analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, dan pengujian sistem untuk memastikan fungsionalitas yang optimal. Harapannya, sistem ini dapat memangkas birokrasi, mengurangi kesalahan pengelolaan data, dan memberikan pelayanan publik yang lebih cepat, mudah, dan transparan bagi masyarakat serta pemerintah desa.

Metode

Gambar 1 Tahapan Metode *Waterfall*

Berikut adalah gambaran umum, beserta deskripsi dan makna, dari simbol-simbol *flowchart* yang umumnya juga sering disebut sebagai bentuk *flowchart*, *symbol* diagram aliran, atau simbol pemetaan proses, tergantung pada jenis diagram yang dibuat.

a. *Requirement* (Kebutuhan)

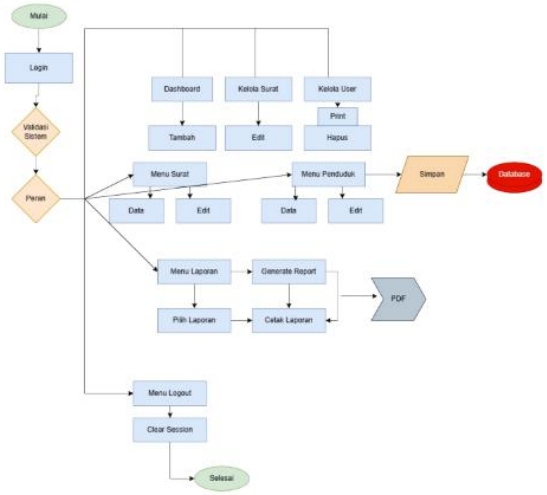
Analisis kebutuhan pada penelitian ini dilakukan dengan cara obeservasi langsung pada Kantor Desa Tanjung Karang Kabupaten Kudus. Pada desa tersebut, *system* pencatatan masih dilakukan secara manual atau menggunakan kertas dan pulpen sebagai media dokumentasi. Aplikasi ini dibuat agar urusan administrasi di desa, seperti mengurus surat kelahiran, kematian, atau pindah, menjadi lebih cepat dan mudah. Selain itu, juga bisa menghindari urusan yang rumit dan mengurangi kesalahan yang dibuat dalam mengelola data. Jadi, dengan aplikasi ini, harapannya semua hal tersebut bisa menjadi lebih efisien.

 ISSN 2987-677x

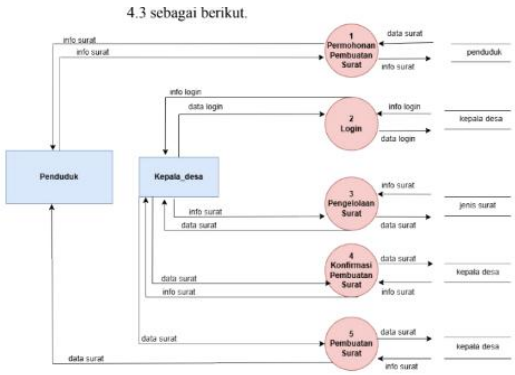
b. *Analisys* (Analisis)

Analisis kebutuhan untuk pembuatan data administrasi surat di balai desa melibatkan pemahaman mendalam tentang proses administratif yang terlibat dalam pembuatan surat, serta kebutuhan dan tantangan yang dihadapi oleh staf administrasi dan masyarakat. Berikut adalah masalah yang dihadapi:

1. Agar efisien dalam mengakses surat
2. Mempermudah dalam pembuatas surat
3. Kerentanan terhadap kesalahan dan kecurangan



Gambar 2 *Use Case* Diagram Sistem



Gambar 3 Data Flow Diagram (DFD)

Data flow diagram (DFD) adalah suatu bentuk permodelan proses dalam bentuk gambar pergerakan data antara entitas dan proses, serta penyimpanan suatu data dalam sistem. DFD memberikan gambaran konsep penting dalam pergerakan data manual maupun otomatis. Gambar yang dihasilkan DFD juga bermanfaat bagi *system* informasi dalam melakukan analisis. DFD memiliki dua standar simbol yang berbeda dan terdiri dari empat golongan simbol yang mewakili aliran data, proses, penyimpanan data, dan entitas (Valacich dan George 2017).

c. *Design* (Desain)

Pada tahapan *design* untuk merancang sistem pengelolaan *website* administrasi surat desa ini mencangkup desain *database*, desain tampilan (*User Interface*), dan desain DFD. Hal ini diharapkan agar nantinya *system* yang dibuat sesuai dengan harapan, serta tidak keluar dari ruang lingkup penelitian. Setelah melalui tahapan desain, langkah selanjutnya adalah proses pembuatan aplikasi dengan menggunalan PHP dan my SQL (Abbasi et al., 2020).

d. *Testing* (Pengujian)

Tahapan ini adalah tahap pengkodean atau implementasi desain yang telah dibuat pada tahap sebelumnya. Pada tahap ini, tim pengembang akan membuat kode program berdasarkan desain yang telah disepakati. Setiap unit implemtasi yang dikembangkan merupakan tahap pemrograman yang dikembangkan dari modul-modul kecil secara bertahap dan diuji sebagai fungsionalitas atau *testing*.

e. *Maintenance* (Pemeliharaan)

Tahap perawatan (*maintenance*) dalam pengelolaan sistem informasi merupakan proses krusial yang mencakup serangkaian aktivitas, seperti pemeliharaan sistem secara berkala, perbaikan *bug*, serta penyesuaian terhadap perubahan kebutuhan sistem untuk memastikan aplikasi dapat berjalan secara optimal sesuai dengan kebutuhan pengguna. Pemeliharaan berkala melibatkan pemeriksaan rutin, pembaruan perangkat lunak, dan optimalisasi performa sistem, seperti membersihkan *database* atau meningkatkan efisiensi *server* guna mencegah penurunan kinerja.

Perbaikan *bug* dilakukan dengan mengidentifikasi dan memperbaiki kesalahan teknis yang dapat mengganggu fungsi aplikasi, seperti kegagalan fitur atau *error* tak terduga, sehingga menjaga keandalan sistem. Selain itu, penyesuaian kebutuhan sistem diperlukan untuk mengakomodasi perubahan lingkungan operasional atau permintaan baru dari pengguna, misalnya dengan menambahkan fitur baru atau memodifikasi fungsi *existing* agar relevan dengan perkembangan teknologi dan ekspektasi pengguna. Proses ini tidak hanya meningkatkan kepuasan pengguna, tetapi juga memperpanjang umur sistem dan menjaga keamanannya terhadap ancaman seperti celah keamanan (Sommerville, 2016).

Hasil Kerja

1. Implementasi Sistem

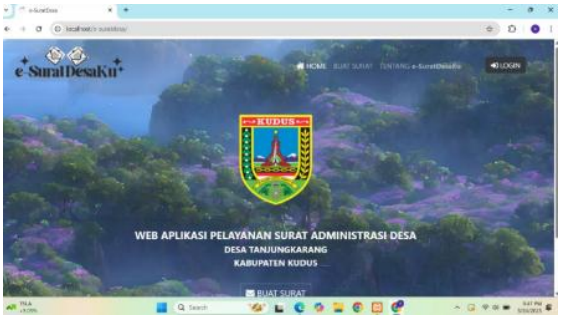
Sistem pelayanan administrasi surat desa ini adalah sebuah aplikasi berbasis web yang dikembangkan menggunakan PHP tanpa *framework laravel*, dengan struktur kustom yang mengelola berbagai kebutuhan administrasi surat di desa. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk mengajukan, mengecek, dan mengelola surat administrasi secara digital, mengurangi proses manual, serta meningkatkan efisiensi pelayanan. Folder admin menunjukkan adanya panel khusus untuk pengelolaan oleh administrator, sedangkan fitur cek-surat memungkinkan warga untuk memeriksa status pengajuan surat mereka. File *database* db_e-suratdesa.sql menyimpan data penting terkait pengguna dan surat yang diajukan. Dengan arsitektur berbasis PHP murni, sistem ini memanfaatkan berbagai file dan folder terpisah untuk menangani login, pengelolaan surat, serta tampilan antarmuka berbasis HTML, CSS, dan JavaScript dalam folder *assets*.

a) Tampilan Halaman *Home*

Pada halaman home menampilkan informasi lengkap tentang layanan pembuatan surat dalam aplikasi e-SuratDesaKu. Aplikasi ini menyediakan berbagai jenis surat administrasi desa yang dapat diajukan secara digital oleh

 ISSN 2987-677x

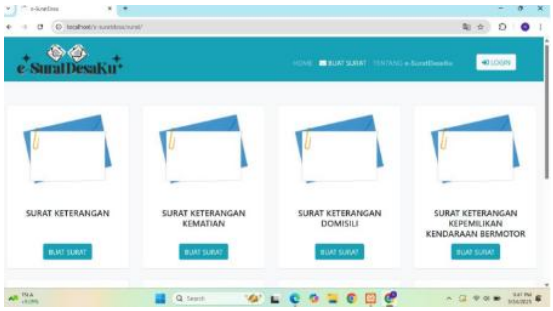
masyarakat, seperti Surat Keterangan, Surat Keterangan Kematian, Surat Keterangan Domisili, dan Surat Keterangan Kepemilikan Kendaraan Bermotor. Setiap jenis surat memiliki tombol "Buat Surat", yang memungkinkan pengguna untuk mengajukan permohonan secara langsung melalui sistem. Tampilan halaman ini dirancang dengan antarmuka yang sederhana dan mudah digunakan, dengan menu navigasi utama seperti *Home*, Buat Surat, dan Tentang serta tombol *Login* untuk akses lebih lanjut.



Gambar 3 Halaman *Home*

b) Tampilan Halaman *Buat Surat*

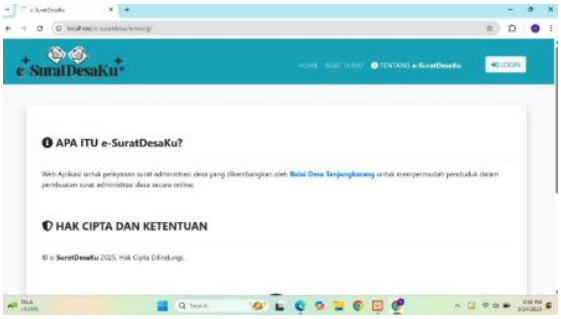
Pada halaman buat surat mencakup informasi lengkap tentang aplikasi e-SuratDesaKu, sebuah sistem pelayanan administrasi surat desa yang dikembangkan oleh Balai Desa Tanjungkarang. Aplikasi ini dirancang untuk mempermudah penduduk dalam pembuatan surat administrasi desa secara online, mengurangi proses manual, dan meningkatkan efisiensi layanan. Selain itu, halaman ini juga mencantumkan informasi mengenai hak cipta dan ketentuan, yang menyatakan bahwa e-SuratDesaKu memiliki hak cipta yang dilindungi pada tahun 2025.



Gambar 4 Halaman *Buat Surat*

c) Tampilan Halaman Layanan Kami

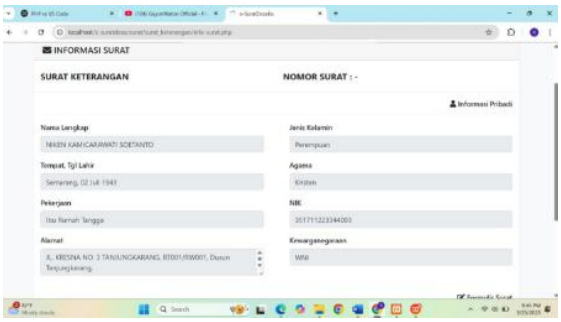
Pada saat Surat Keterangan dipilih, akan muncul tampilan seperti pada gambar di bawah ini. Halaman ini menampilkan formulir verifikasi Nomor Induk Kependudukan (NIK) yang harus diisi oleh pengguna sebelum melanjutkan proses pembuatan surat. Pengguna diminta untuk memasukkan NIK mereka pada kolom yang tersedia, kemudian menekan tombol "CEK NIK" untuk melakukan validasi data. Jika NIK yang dimasukkan sesuai dengan data yang ada dalam sistem, pengguna dapat melanjutkan ke tahap berikutnya dalam proses pembuatan surat. Tampilan halaman ini dirancang dengan antarmuka yang sederhana dan intuitif, memudahkan masyarakat dalam mengakses layanan administrasi desa secara digital.



Gambar 5 Layanan Kami Tentang e-SuratDesaku

d) Tampilan Halaman Permintaan Surat

Setelah NIK berhasil dimasukkan, sistem akan menampilkan halaman informasi surat yang berisi data pribadi pemohon, seperti nama lengkap, tempat dan tanggal lahir, jenis kelamin, agama, pekerjaan, alamat, serta kewarganegaraan. Data tersebut ditampilkan dalam bentuk *field* yang tidak dapat diedit, memastikan bahwa informasi yang muncul sesuai dengan *database* yang tersimpan. Selain itu, terdapat kolom untuk mengisi keperluan surat, yang memungkinkan pengguna untuk menentukan alasan pengajuan dokumen. Pada bagian bawah halaman, tersedia dua tombol, yaitu "Batal" untuk membatalkan proses dan "*Submit*" untuk mengajukan permohonan surat. Tampilan ini memastikan bahwa pengguna dapat dengan mudah memverifikasi data sebelum melanjutkan proses pembuatan surat resmi.

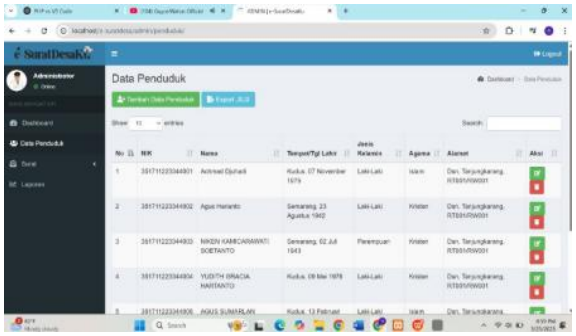


Gambar 6 Halaman Permintaan Surat

e) Tampilan Halaman Penerbit Buku

Halaman Data Penduduk dari sistem e-SuratDesaKu dengan antarmuka admin. Administrator yang sedang *online* memiliki akses untuk mengelola data penduduk, termasuk menambah, mengedit, dan menghapus data. Di bagian atas terdapat tombol "Tambah Data Penduduk" (hijau) untuk menambahkan data baru dan "Export .XLS" (biru) untuk mengunduh data dalam format Excel. Tabel menampilkan daftar penduduk dengan kolom No, NIK, Nama, Tempat/Tgl Lahir, Jenis Kelamin, Agama, dan Alamat. Setiap baris mewakili satu penduduk, dan di kolom Aksi, terdapat ikon edit (hijau) untuk mengubah data dan hapus (merah) untuk menghapus data. Navigasi di sisi kiri mencakup Dashboard, Data Penduduk, Surat, dan Laporan, memungkinkan admin mengelola berbagai fitur sistem. Selain itu, terdapat fitur pencarian di sudut kanan atas untuk memudahkan pencarian data penduduk tertentu.

 ISSN 2987-677x



Gambar 7 Halaman Menu Data Penduduk

f) Tampilan *Login* Kepala Desa

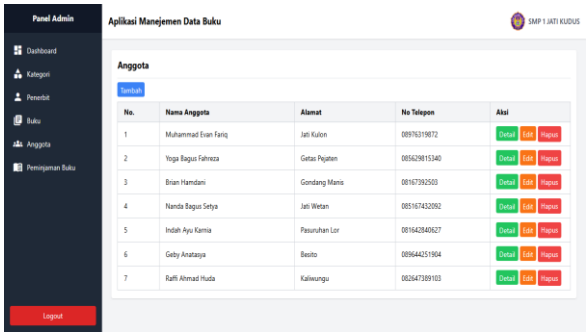
Menunjukkan tampilan *dashboard* setelah Kepala Desa berhasil *login* ke aplikasi e-SuratDesaKu. Di bagian kiri atas, terlihat bahwa akun yang *login* adalah "Kepala Desa" dengan status *Online*. Menu navigasi terdiri dari *Dashboard* yang menampilkan ringkasan informasi seperti jumlah data penduduk dan surat yang telah selesai, Data Penduduk untuk mengakses informasi penduduk desa, serta Laporan yang berisi laporan administrasi surat yang telah dibuat atau diterbitkan. Pada ringkasan data, terdapat 6 Data Penduduk yang menunjukkan jumlah data penduduk dalam sistem dan 16 Surat Selesai yang menampilkan jumlah surat yang telah diproses. Selain itu, terdapat pesan sambutan yang menampilkan informasi mengenai aplikasi e-SuratDesaKu.

Perbedaan tampilan antara admin dan kepala desa terletak pada hak aksesnya, dimana admin memiliki akses penuh untuk mengelola data penduduk, membuat dan memproses surat, serta melihat laporan, sedangkan kepala desa hanya memiliki akses terbatas untuk melihat data penduduk, memverifikasi surat, dan memantau laporan administrasi.

Gambar 8 Halaman *Login* Kepala Desa

g) Tampilan Halaman Anggota

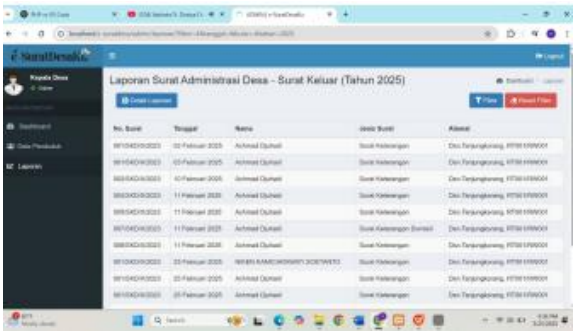
Halaman anggota dalam sistem manajemen perpustakaan menampilkan daftar anggota yang terdaftar dalam bentuk tabel. Informasi yang disajikan mencakup nomor, nama anggota, alamat, dan nomor telepon. Pengguna dapat menambahkan anggota baru serta melakukan pencarian dan pengelolaan data anggota melalui tombol aksi yang terdiri dari "Detail" untuk melihat informasi lebih lanjut, "*Edit*" untuk mengubah data, dan "Hapus" untuk menghapus anggota dari sistem.



Gambar 9 Halaman Anggota

h) Tampilan Halaman Peminjaman Buku

Pada menu menampilkan antarmuka aplikasi web e-SuratDesaKu, yang digunakan untuk mengelola administrasi surat-menyurat di tingkat desa, khususnya laporan surat keluar tahun 2025. Tampilan menunjukkan daftar surat keluar dengan informasi seperti nomor surat, tanggal, nama pemohon, jenis surat, dan alamat. Aplikasi ini memiliki fitur pencetakan laporan serta *filter* untuk menyaring data sesuai kebutuhan. Pengguna yang *login* adalah Kepala Desa, dengan status *online*.



Gambar 10 Halaman Menu Kepala Desa

i) Hasil Cetak Surat

Setelah diverifikasi oleh admin surat dapat langsung dicetak maupun di-*download* berupa *file* PDF.

Gambar 11 Halaman Menu Kepala Desa

2. Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem informasi administrasi surat berbasis web untuk Balai Desa Tanjungkarang menggunakan *black box testing* untuk memastikan fitur berfungsi sesuai kebutuhan. Pengujian meliputi fungsionalitas, kegunaan, kompatibilitas, dan kinerja. Fungsionalitas menguji fitur seperti *login* admin, pengelolaan data penduduk, dan pembuatan laporan yang berjalan tanpa kendala, guna memastikan antarmuka intuitif untuk pengguna. Kompatibilitas memverifikasi akses pada berbagai perangkat dan *browser* (Chrome, Firefox, Edge). Kinerja

 ISSN 2987-677x

menunjukkan respon cepat untuk transaksi seperti pengajuan surat dan ekspor laporan. Hasil pengujian (33 item) menunjukkan semua komponen "Sesuai" tanpa error signifikan, menandakan sistem siap meningkatkan efisiensi dan transparansi layanan administrasi.

Kesimpulan

Dalam pelaksanaan penelitian ini, tujuan dari pembuatan sistem pelayanan administrasi surat desa untuk Balai Desa Tanjungkarang telah tercapai dengan baik. Sistem yang dihasilkan berhasil memenuhi kebutuhan dan tujuan yang telah ditetapkan dalam tahap analisis dan perancangan. Kesimpulannya, sistem yang telah dibuat dapat menjadi representasi yang kuat dari identitas desa dan memungkinkan desa untuk berinteraksi dengan masyarakat potensial dengan lebih efisien. Berdasarkan hasil pembuatan dan pengujian pada bab sebelumnya, penulis dapat mengambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penelitian ini memberikan kesempatan kepada untuk mengembangkan dan mengimplementasikan sistem administrasi surat desa berbasis web, guna mempercepat, mempermudah, dan meningkatkan aksesibilitas layanan administrasi bagi masyarakat.
2. Melalui penelitian ini, dapat mengasah keterampilan teknis di bidang teknologi informasi, memahami pentingnya digitalisasi dalam pelayanan publik, serta beradaptasi dengan kebutuhan pengembangan sistem dalam konteks profesional.
3. Keterbatasanya sistem ini belum tersedia untuk diakses menggunakan aplikasi *mobile,* karena masih berbasis *website.*

Saran

Berdasarkan hasil perancangan dan pengembangan sistem pelayanan administrasi berbasis *website*, saran yang diajukan adalah sebagai berikut:

1. Mengintegrasikan alat analisis kinerja *website*, seperti Google Analytics, untuk memantau penggunaan *system* secara terperinci. Dengan alat ini, pihak balai desa dapat melacak jumlah pengguna, pola interaksi, serta efektivitas layanan *online* sehingga dapat dilakukan perbaikan yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat.
2. Menyediakan fitur portal *login* bagi pengguna terdaftar agar masyarakat dapat menyimpan riwayat pengajuan surat serta mengakses layanan yang lebih personal. Dengan fitur ini, pengguna dapat dengan mudah melihat status pengajuan surat, mengunduh dokumen yang telah disetujui, serta menerima notifikasi terkait layanan administrasi desa.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Bapak/Ibu Dosen Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya yang berperan penting membantu penulis dalam pembuatan artikel.

Referensi

Arifin, R., Latif, N., Noviatri, A., Putri, P., Informasi, S., Akba, S., & Informatika, T. (2020). Sistem informasi pengelolaan surat menyurat berbasis web pada Kantor Balai Latihan Masyarakat Makassar. *Inspiration: Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, *10*(1), 68–76.

Faqih, M. (tanpa tahun). *Sistem informasi pelayanan surat-menyurat berbasis web di Desa Palang Kecamatan Palang Kabupaten Tuban*. Skripsi tidak diterbitkan. Pamekasan: Universitas Islam Madura.

Hidayat, P., & Handayanto, I. A. (2019). *Analisis perancangan dan pembuatan company profile berbasis website pada PT. Sucofindo Semarang sebagai media promosi dan informasi*. In *Science and Engineering National Seminar* (Vol. 4).

Rifai, O. S. (2018). *Perancangan sistem informasi pengelolaan administrasi surat menyurat di Kantor Desa Sumberdem Kecamatan Wonosari Kabupaten Malang*. In *Seminar Nasional Sistem Informasi* (Vol. 9).

Sommerville, I. (2016). Software Engineering (10th ed.). London: Pearson Education.

ISSN 2987-677x

Transformasi Digital dalam Pemanfaatan Portal Satu Data Gresik

Muhammad Husni Mubarok[1], Solichin[1], Andrew Joewono[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ andrew_sby@ukwms.ac.id

Satu Data Indonesia adalah kebijakan pemerintah yang diperuntukan untuk menyediakan data yang kredibel, akuntabel, dan mutakhir yang dapat digunakan sebagai acuan dalam pembuatan kebijakan yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis retrospektif kebijakan Satu Data Indonesia di Indonesia. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif dengan dukungan dokumentasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat beberapa hambatan yang terjadi pada semua tahapan pelaksanaan Satu Data Indonesia, yang meliputi tahap perencanaan, pengumpulan, pemeriksaan, dan penyebarluasan data. Adapun hambatan yang muncul, diantaranya kurangnya regulasi, kesulitan mengintegrasikan data, kapasitas SDM yang kurang memadai, dan kurangnya kesiapan infrastruktur digital. Strategi yang dapat dilakukan oleh pemerintah adalah dengan memperkuat regulasi Satu Data Indonesia pada level pusat dan daerah, meningkatkan kolaborasi antar instansi pemerintah, meningkatkan kapasitas SDM melalui pelatihan dan percepatan pengembangan infrastruktur digital. Program ini merupakan pendukung dalam pelaksanaan SDGs no.11, menjadikan kota dan pemukiman inklusif, aman, tangguh, serta berkelanjutan.

Kata kunci: transformasi digital, organisasi perangkat daerah, kebijakan publik, Satu Data Indonesia, Gresik

Pendahuluan

Kebutuhan akan data yang akuntabel, berkualitas, dan mudah diakses merupakan hal mendesak yang diperlukan bagi seluruh pelaksana dan mitra pembangunan di instansi pusat maupun daerah dalam mewujudkan perencanaan, pelaksanaan, *monitoring*, dan evaluasi pembangunan berbasis bukti. Dalam rangka mewujudkan dan mendukung transformasi digital nasional, pemerintah memberi dukungan adanya sistem pemerintahan berbasis elektronik dan Satu Data Indonesia yang terpadu dan menyeluruh. Ketersediaan data yang akurat, mutakhir, terpadu, dapat dipertanggungjawabkan, mudah diakses, dan dibagipakaikan antarinstansi adalah sebuah kebutuhan yang menjadi dasar adanya tata kelola data. Hal tersebut mendasari pemerintah dalam menetapkan Peraturan Presiden Nomor 95 Tahun 2018 tentang Sistem Pemerintahan Berbasis Elektronik, sebagaimana dalam peraturan tersebut juga menjelaskan arah kebijakan dan strategi SPBE yang melingkupi tata kelola SPBE, layanan SPBE, teknologi informasi dan komunikasi, serta SDM SPBE.

Keberadaan data merupakan hal penting yang semakin sering diupayakan ketersediaannya oleh berbagai pihak, terutama pemerintah dalam rangka pelaksanaan *open government*. Tahun 2011, pemerintah Indonesia bersama dengan kepala negara Brazil, Meksiko, Norwegia, Filipina, Afrika Selatan, United Kingdom, dan Amerika Serikat menginisiasi *The Open Government Partnership* (OGP). OGP merupakan komitmen multinasional yang memajukan transparansi, akuntabilitas, dan pemerintahan yang andal dengan mengoptimalkan partisipasi dan kolaborasi dalam proses pembuatan kebijakan (Soegiono, 2018). Melalui tindak lanjut dari komitmen tersebut diwujudkan dalam peluncuran *portal open data pilot project* Indonesia yang disebut Satu Data Indonesia melalui alamat *website* www.data.go.id. Melalui *open data* diharapkan menciptakan pengembangan bank pengetahuan dimana pemerintah dan non-pemerintah dapat memperkuat kapasitas pengetahuan mereka untuk tidak hanya lebih terinformasi, tetapi juga membuat suatu *evidence-based policy* dalam pembangunan yang berkelanjutan (Maizunati & Soegiono, 2018).

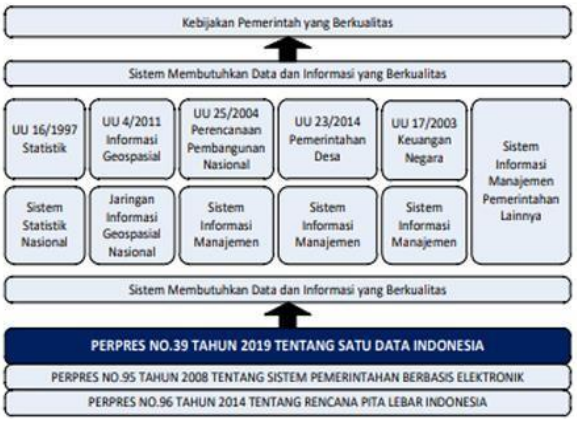
Transformasi digital menyajikan peluang dan tantangan bagi pemerintah Indonesia, terutama dalam pengambilan kebijakan berbasis data. Penyelenggaraan tata kelola data pemerintah untuk meningkatkan nilai data sebagai dasar pengambilan kebijakan tertuang dalam rencana aksi nasional Pemerintahan Terbuka Indonesia (*Open Government* Indonesia) tahun 2018-2020, dengan salah satu inisiatifnya adalah Satu Data Indonesia (Bappenas, 2017).

Pesatnya perkembangan teknologi informasi dan komunikasi di bidang pemerintahan tidak lepas dari keterkaitan antara komponen pembangun satu dengan komponen pembangun lainnya guna menciptakan sinergitas data dan informasi. Adapun salah satu contoh komponen pembangunnya ialah Portal Data Nasional, yang mana komponen tersebut ditujukan untuk mendukung kebijakan pemerintah dalam program Satu Data Indonesia. Pelaksanaan Satu Data Indonesia sendiri telah diatur dalam Peraturan Presiden Nomor 39 Tahun 2019 tentang Satu Data Indonesia. Pada Perpres Pasal 21 ayat (5), Pasal 22 ayat (2), dan Pasal 24 ayat (5), telah mengamanatkan penyusunan regulasi di seluruh pemerintah daerah tingkat Povinsi/Kabupaten/Kota berupa instrumen Peraturan Kepala Daerah Gubernur/ Bupati/Walikota untuk mengatur lebih lanjut mengenai pelaksanaan kebijakan Satu Data Indonesia di lingkup instansi daerah.

 ISSN 2987-677x

Inisiatif Satu Data Indonesia lahir sebagai upaya untuk menyediakan data yang kredibel, akuntabel, dan mutakhir guna mendukung terwujudnya pembangunan serta penyelenggaraan pemerintahan yang berkualitas. Implementasi SDI adalah mandat Peraturan Presiden Nomor 39 Tahun 2019. Perpres ini lahir dari dorongan terkait kebutuhan terhadap data yang valid dan akuntabel. Perpres ini juga merupakan terobosan pemerintah untuk mengatur tata kelola data dalam rangka mendukung pembangunan. SDI diharapkan sebagai strategi perbaikan tata kelola data untuk menghasilkan data yang akurat, mutakhir, terpadu, dan dapat dipertanggungjawabkan sehingga mampu menjadi fondasi penentuan kebijakan yang efektif dan tepat sasaran (Kemensetneg, 2019).

Kehadiran Peraturan Presiden No. 95/2018 tentang Sistem Pemerintahan Berbasis Elektronik (SPBE) menjadi landasan untuk mewujudkan tata kelola pemerintahan yang bersih, efektif, transparan, dan akuntabel, serta pelayanan publik yang berkualitas dan terpercaya untuk mendukung agenda transformasi digital Indonesia, dengan mengupayakan perbaikan konektivitas data antar instansi pemerintah (Thomas, 2020).



Gambar 1 Struktur Tata Kelola Pemerintahan
Sumber: Pijakan Transformasi Pusunan Kebijakan (Thomas, 2020)

Pemerintah Kabupaten Gresik menindaklanjuti kebijakan tersebut dengan menerbitkan Peraturan Bupati Gresik Nomor 21 Tahun 2022 tentang Satu Data Kabupaten Gresik. Peraturan tersebut bertujuan untuk memberikan acuan dalam tata kelola data yang meliputi prinsip, penyelenggara, penyelenggaraan, dan forum komunikasi SDI di lingkup pemerintah Kabupaten Gresik. Pada peraturan juga disebutkan bahwa rencana program dan kegiatan terkait Satu Data Kabupaten Gresik dipaparkan dalam rencana aksi Satu Data Kabupaten Gresik. Berkaitan dengan amanat yang telah dituangkan, maka pemerintah Kabupaten Gresik melakukan inisiasi Penyusunan Portal Gresik Satu Data.

Metode

Metode penelitian ini menggunakan *literature review* atau tinjauan pustaka. Penelitian kepustakaan atau kajian literatur (*literature review*, *literature research*) merupakan penelitian yang mengkaji atau meninjau secara kritis pengetahuan, gagasan, atau temuan yang terdapat di dalam literatur berorientasi akademik (*academic-oriented literature*), serta merumuskan kontribusi teoritis dan metodologisnya untuk topik bahasan tertentu (Cooper, 2015). Tinjauan pustaka yang menyeluruh dapat membantu menata landasan penelitian saat ini berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya (Stockemer et al., 2019).

Dalam penelitian ini digunakan data serta informasi yang diperoleh dari jurnal penelitian, buku, dan laporan yang terkait dengan analisis kebijakan, kebijakan Gresik Satu Data, dan data pendukung lainnya yang diperoleh secara *online* dengan mengamati portal Gresik Satu Data dan visualisasi *big data* untuk memperoleh rata-rata jumlah pengunjung portal Gresik Satu Data, jumlah halaman yang diakses per kunjungan, *bouncing rate*, dan rata-rata waktu dalam satu sesi, serta melalui *website* dari Badan Pusat Statistik yang diakses melalui www.bps.go.id.

Hasil Kerja

Gambaran Portal Satu Data Gresik

Berdasarkan Perpres No. 39 Tahun 2019 terkait Satu Data Indonesia, portal Satu Data Gresik merupakan media bagi-pakai data pada tingkat nasional yang dapat diakses dengan memanfaatkan TIK. Walidata atas data induk dan/atau kode referensi bertugas untuk menyebarluaskan data, kode referensi, metadata, dan data induk pada portal Satu Data Gresik. Alamat portal Gresik Satu Data adalah https://satudata.gresikkab.go.id/.

Kelembagaan dan SDM Gresik Satu Data

Pada peraturan SPBE terdapat penjelasan mengenai tata kelola data, yang mana peraturan lebih detail terkait tata kelola data juga dijabarkan pada peraturan Satu Data Indonesia. Kolaborasi SPBE dan SDI berperan dalam terwujudnya *smart government*. Sehingga konsistensi implementasi tata kelola data harus menjamin pelaksanaan kebijakan sesuai jadwal dan rencana yang telah disusun. Salah satu langkahnya adalah menerapkan teknologi yang berorientasi pada kecepatan, ketepatan, dan peningkatan kualitas dalam penciptaan nilai tambah publik yang optimal. Untuk mewujudkan hal tersebut, perlu didukung sinergi dan kolaborasi yang melibatkan seluruh unsur pemerintah maupun mitra pembangunan. Sehingga dalam pelaksanaanya SDI dan SPBE memiliki keterkaitan terutama dalam kerangka arsitektur data.

Implementasi Prinsip Satu Data Indonesia

Satu Data Indonesia bertujuan untuk meningkatkan keterbukaan dan transparansi data, yang pada gilirannya mendukung perencanaan dan perumusan kebijakan pembangunan yang berbasis data. Kebijakan Satu Data Indonesia diterapkan untuk mendukung Sistem Statistik Nasional. Untuk memastikan data yang berkualitas, penyelenggaraan Satu Data Indonesia harus mengikuti 4 (empat) prinsip utama, yaitu:

1. Data harus memenuhi standar yang jelas, mencakup konsep, definisi, cakupan, klasifikasi, ukuran, dan satuan.
2. Data harus dilengkapi dengan metadata, yang berfungsi sebagai informasi terstruktur untuk menjelaskan isi dan sumber data, sehingga memudahkan pencarian, penggunaan, dan pengelolaannya.
3. Data harus memenuhi prinsip interoperabilitas, yang memungkinkan data dapat dipertukarkan atau digunakan bersama antar instansi dan sistem yang saling terhubung.
4. Data harus menggunakan kode referensi yang unik dan/atau data induk yang mewakili objek dalam proses bisnis pemerintahan.

 ISSN 2987-677x

Gambar 2 Prinsip Utama Penyelenggaraan Satu Data
Sumber: Empat Prinsip Utama Satu Data Indonesia

Portal Gresik Satu Data

Portal Satu Data Gresik telah diintegrasikan dengan Portal Satu Data Provinsi Jawa Timur dan Portal Satu Data Indonesia untuk memastikan keselarasan dan interoperabilitas data antarwilayah. Integrasi ini memungkinkan pertukaran data yang lebih efisien serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data secara lebih luas. Pemerintah Kabupaten Gresik berkomitmen untuk terus memperbaiki tata kelola data agar lebih transparan, akurat, dan dapat diakses oleh berbagai pemangku kepentingan. Melalui portal ini, masyarakat, akademisi, dan sektor swasta dapat memperoleh data yang valid dan sesuai dengan prinsip Satu Data Indonesia. Langkah ini menjadi bagian dari upaya digitalisasi pemerintahan dalam meningkatkan efisiensi layanan publik berbasis data yang berkualitas.

Gambar 3 Tampilan Portal Satu Data Gresik
Sumber: www.satudata.gresikkab.go.id

Portal Gresik Satu Data merupakan *platform* digital yang dikembangkan oleh Pemerintah Kabupaten Gresik untuk mengelola, menyajikan, dan menyebarluaskan data dari berbagai perangkat daerah secara terintegrasi. Portal ini berfungsi sebagai pusat informasi yang memungkinkan produsen data dan walidata yang dibantu oleh walidata pendukung untuk mengelola serta memastikan kualitas data yang dipublikasikan. Dengan menyediakan fitur pencarian data, publikasi, infografis, dan kelompok data, portal ini mendukung prinsip keterbukaan, transparansi, serta interoperabilitas data sesuai dengan kebijakan Satu Data Indonesia.

Kesimpulan

Dengan adanya pengelolahan dan peroperasian portal Gresik Satu Data di tingkat Kabupaten bertujuan untuk memastikan sistem tata kelola data yang lebih efektif, terstandarisasi, dan mudah diakses oleh seluruh pemangku kepentingan dan para peneliti yang ingin memanfaatkan data yang tersaji dalam portal tersebut.

Tak hanya itu, portal Gresik Satu Data juga diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pengguna portal terhadap pengambil keputusan dalam implementasi Satu Data. Implementasi kebijakan satu data Indonesia masih banyak kendala terkait permasalahan data yang belum sinkronisasi dari penyelenggara Satu Data Indonesia.

Referensi

Adinegoro, B. (2025). *Kebijakan Satu Data Indonesia: Sebuah antitesis semangat keterbukaan dan informasi publik* (Vol. 16). Universitas Indonesia.

Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Gresik. (2024). *Laporan penyusunan rencana aksi Satu Data Indonesia Pemerintah Kabupaten Gresik*. Gresik: Bappeda Gresik.

Bappenas. (2017). *Tentang Satu Data Indonesia*. https://satudata.bappenas.go.id/doc/about-sdi.

Bappenas. (2019). *Peran Satu Data Indonesia dalam mewujudkan pemerintahan yang terbuka: The role of Satu Data Indonesia to propel the practices of open government*. http://ogi.bappenas.go.id/publikasi-ogi.

Kementerian Sekretariat Negara Republik Indonesia. (2019). *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2019 tentang Satu Data Indonesia*.

Open Government Indonesia. (2018). *Rencana aksi keterbukaan pemerintahan Indonesia 2018–2020*. Jakarta: Open Government Indonesia.

Peraturan Bupati Gresik Nomor 21 Tahun 2022 tentang Satu Data Kabupaten Gresik. (2022).

Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2019 tentang Satu Data Indonesia. (2019).

Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 95 Tahun 2018 tentang Sistem Pemerintahan Berbasis Elektronik. (2018).

Stockemer, D., Stockemer, G., & Glaeser, J. (2019). *Quantitative methods for the social sciences* (Vol. 50). Springer.

Thomas, E. (2020). *Satu Data Indonesia: Menuju Big Data Pemerintah*. Jakarta: FGD Kesiapan Big Data Pemerintah.

ISSN 2987-677x

Pengaruh Linieritas *Control Valve* dengan I/P Thermo Fisher STD5000 pada Kualitas *Moisture* Kertas di Paper Machine PT XYZ

Riko Cippramata[1] Andrew Joewono[2] Hartono Pranjoto[3]

[23] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[1] Mahasiswa Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[1] Alumni S1 Teknik Elektro Universitas Jember 2017

✉ riko.teknikelektro13@gmail.com

✉ andrew_sby@ukwms.ac.id

✉ pranjoto@ukwms.ac.id

Kertas untuk tujuan *printing* kualitas tinggi memerlukan proses *coating* untuk meningkatan kehalusan permukaan, detail, dan kecerahan kertas yang diperlukan untuk kertas cetak. *Moisture* memiliki peran penting dalam menjaga kualitas kertas. *Moisture* pada industri *paper machine* dikontrol salah satunya dengan *steam dryer*. *Steam* merupakan uap panas bertekanan tinggi yang dihasilkan dari proses pemanasan air sampai titik tertentu, sehingga menghasilkan uap panas yang memiliki tekanan. Pada proses produksi kertas, lembaran kertas yang melewati silinder *dryer* akan terjadi proses perpindahan panas dari sumber *steam* menuju lembaran kertas. Proses ini disebabkan oleh perbedaan suhu antara *steam* dan lembaran kertas. *Dryer steam* yang mengalami penurunan suhu akan kembali menjadi bentuk semulanya yaitu air biasa yang disebut dengan kondensat. Pada kinerja bukaan *control valve* dengan menggunakan I/P Thermo Fisher yang digunakan sebagi control *steam* pada silinder *dryer*, dapat memengaruhi kualitas moisture pada kertas. Dengan kata lain, kestabilan *pressure steam* sangat perlu diperhatikan pada kontrol *close loop* di DCS agar kualitas kertas tetap terjaga sesuai standar.

Kata kunci: *steam, pressure, moisture*

Pendahuluan

Kertas merupakan bagian terpenting dalam hidup manusia. Dalam kehidupan sehari-hari, kegunaannya seperti media tulis dan cetak hingga untuk kebutuhan seperti pembersih, alat pembungkus, dan kerjinan tangan [1].

Kertas untuk tujuan *printing* kualitas tinggi memerlukan proses *coating* untuk meningkatan kehalusan permukaan, detail, dan kecerahan kertas yang diperlukan untuk kertas cetak [2]. Baku mutu kualitas kertas salah satunya adalah *moisture*.

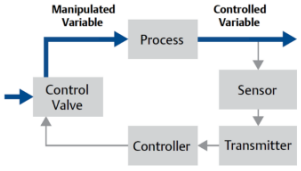
Moisture pada industri *paper machine* dikontrol salah satunya dengan *steam dryer* [3]. *Steam* merupakan uap panas bertekanan tinggi yang dihasilkan dari proses pemanasan air sampai titik tertentu, sehingga menghasilkan uap panas yang memiliki tekanan. Pada unit *paper machine, steam* paling banyak digunakan pada *unit dryer* [4]. Dalam unit *dryer*, *steam* akan dialirkan melalui sebuah silinder yang berputar degan kecepatan tertentu, nantinya pada silinder akan dilewati oleh lembaran kertas.

Pada proses produksi kertas, lembaran kertas yang melewati silinder *dryer* akan terjadi proses perpindahan panas dari sumber *steam* menuju lembaran kertas [5]. *Dryer steam* yang mengalami penurunan suhu akan kembali menjadi bentuk semulanya yaitu air biasa yang disebut dengan kondensat. Jika kondensat berlebihan pada silinder *dryer*, maka menyebabkan beban silinder *dryer* dan menghambat proses perpindahan panas pada *steam* [6].

PT XYZ terdapat beberapa *paper machine* dan juga beberapa bagian penunjang maupun *supporting*. Setiap *paper machine* terdapat variabel kontrol seperti *level*, *temperature*, *flow*, dan lain sebagainya. Dengan tujuan pemasangan peralatan tersebut adalah untuk menunjang produksi yang lebih berkualitas, efisiensi waktu, *man power*, dan biaya. *Control valve* diperlukan untuk mengatur variabel kontrol yang diinginkan. Pada penelitian ini, difokuskan pada kontrol *moisture*. Bagian *control valve* yang utama antara lain *positioner, actuator*, dan *valve*.

Loop Control

Industri kertas pemrosesan modern memanfaatkan jaringan *loop control* yang luas untuk menghasilkan produk akhir untuk pasar. Salah satu yang digunakan dalam penelitian ini adalah untuk kontrol pada *moisture*.



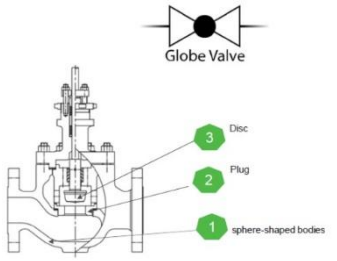
Gambar 1 *Loop Control* Umpan Balik [7]

Control Valve

Control valve berfungsi mengatur kecepatan aliran fluida untuk mengendalikan atau memanipulasi proses. Pada pengontrolan *temperature*, *pressure,* aliran

 ISSN 2987-677x

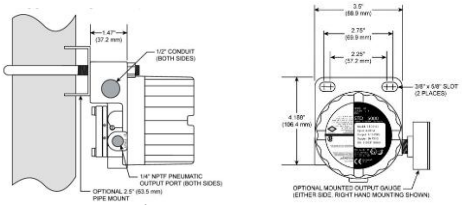
maupun level semuanya menggunakan sebuah *control valve*, dimana pengaturan alirannya dilakukan pada bodi *control valve*[8]. Komponen utama pendukung *control valve* antara lain *valve,* aktuator, I/P atau *positioner*, sinyal *analog output* 4-20 mA, serta suplai angin [9].



Gambar 2 Model *Valve* Tipe G*lobe*

Gambar 3 Model Aktuator Diafragma

Positioner berfungsi mengontrol posisi bukaan *valve* agar sesuai dengan sinyal kontrol yang diterima. Salah satu kontrol posisi bukaan *valve* adalah I/P dengan spesifikasi STD5000 pada produk *Thermo Scientific* merupakan *transduser* I/P yang akurat, mudah digunakan, dan paling sederhana untuk dipasang, dioperasikan, dan dirawat dalam industri. I/P Thermo Fisher menggunakan energi listrik dan suplai angin untuk mengubah sinyal (4-20 mA atau 10-50 mA) menjadi sinyal keluaran pneumatik proporsional (3-15 psig, 0,2-1 bar, dan sebagainya). Karakteristik I/P ini menggunakan membran yang dikontrol secara elektromagnet pada lubang untuk memodulasi keluaran pneumatik secara tepat. Keluaran pneumatik inilah yang menggerakan aktuator agar *valve* dapat bekerja [10].



Gambar 4 I/P *Transduser* pada STD5000

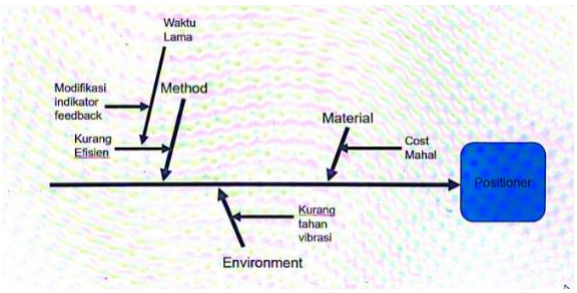
Pressure Transmitter

Pressure transmitter digunakan untuk mengukur tekanan *steam* yang masuk pada unit *dryer.* Sensor yang berguna untuk mengukur besaran tekanan akan memberikan keluaran berupa sinyal elektrik yang selanjutnya oleh *transmitter* akan dikirim menuju *controller* [11]. Standar sinyal *output* yang dipakai untuk pengukuran adalah 4-20 mA dengan besaran 0-10 bar.

Gambar 5 *Pressure Transmitter* Seri EJA110E

Metode

Pada umumnya, di perusahaan *paper machine* di PT XYZ menggunakan *positioner* sebagai penggerak kontrol pada aktuator. Jika terjadi masalah pada *positioner*, yang harus diperbaiki atau diganti, membutuhkan waktu paling sedikit 30 menit atau lebih tergantung pada posisi *control valve*. Untuk meningkatkan baik dari segi keselamatan pekerja, I/P *converter* digunakan sebagai pengganti *positioner* yang ditempatkan pada lokasi yang mudah diakses untuk mengurangi waktu pemecahan masalah. Pada Gambar 6 ini adalah penjelasan tentang *root cause identification* dari penelitian yang dilakukan.



Gambar 6 *Root Cause Identification* Alasan Penggunaan dari Positioner ke I/P *Converter*

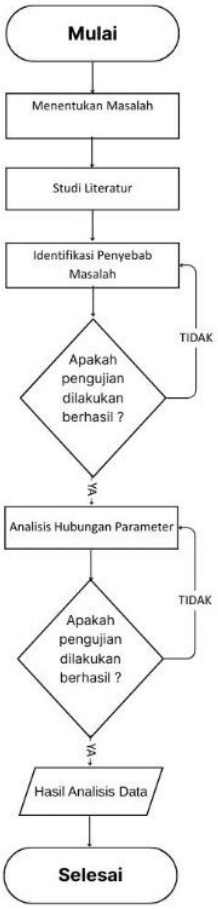
Penggunaan I/P *converter* ini diharapkan agar meminimalisir kecelakaan kerja bagi pekerja yang melakukan tindakan preventif maupun korektif dalam penanganan *control valve*. Selanjutnya, penelitian ini diharapkan pula memperoleh nilai linieritas yang mampu mengompensasi perbedaan *range working operation* antara I/P converter dengan aktuator yang dapat ditunjukan dengan hasil kerja.

Jenis penelitian yang dilakukan pada adalah penelitian kuantitatif, yaitu metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat positivisme, dipakai untuk meneliti populasi ataupun sampel tertentu, pengumpulan data menggunakan alat ukur (instrumen) penelitian, analisa data bersifat kuantitatif atau statistik, dengan tujuan untuk menguji dan membuktikan hipotesis yang telah dibuat atau ditetapkan **[12]**. Penelitian ini mengambil data antara lain :

a. *Moisture* pada silinder *dryer,*
b. Linieritas sinyal arus pada o*pening valve control,*
c. Tekanan silinder.

Untuk melakukan pekerjaan ini, peneliti sebelumnya membuat alur diagram alir agar pekerjaan dapat terkonsep dengan baik. Prosedur pada penelitian ini berdasarkan urutan-urutan pada *flowchart* terlihat pada Gambar 7.

 ISSN 2987-677x



Gambar 7 Diagram Alir Penelitian

Pada *control valve* memilki arus *supply input* yang sudah terstandarisasi yaitu 4 -20 mA, dari masukan ini kita bisa pembukaan *valve* sebesar 0%-100% maka kita dapat menghitung nilai persen bukaan valve dengan mengunakan dua rumus dibawah ini :

a. Mencari nilai Arus *input (mA)* **[13]** :

$$mA = \left(\frac{Display\ terbaca - Minimal\ range}{Maximal\ range - Minimal\ range} \times 16\right) + 4 \quad \text{.....1}$$

b. Mencari nilai persentase bukaan *valve* **[13]**:

$$\%op = \left(\frac{Display\ terbaca - Minimal\ range}{Maximal\ range - Minimal\ range}\right) x\ 100\ \% \quad \text{.....2}$$

c. Penyesuaian operasi kerja pada I/P Thermo Fisher
Persamaan linear dinyatakan dalam bentuk :
y(t) = Mx(t) + C 3

dimana :
M = gradien
C = konstanta
Y(t) = nilai keluaran
X(t) = nilai keadaan

Hasil Kerja

Uji Linieritas Sinyal Masukan pada Bukaan *Valve*

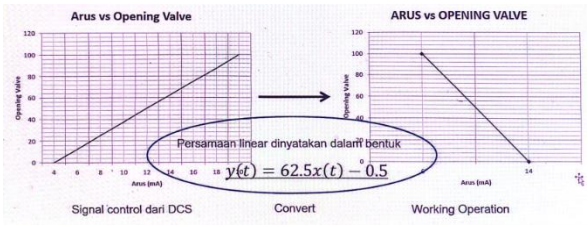
Pada kinerja bukaan *control valve* dengan menggunakan I/P *Thermo Fisher* yang digunakan sebagai kontrol *steam* pada silinder *dryer,* dapat memengaruhi kualitas *moisture* pada kertas. Sinyal masukan 4-20 mA memengaruhi bukaan *valve* yang terjadi. Berikut adalah data yang diperolah pada kondisi sinyal 4-20 mA dengan penyesuaian kerja *opening valve* pada control DCS :

Tabel 1 Respon Sinyal DCS terhadap *Opening Valve*

DCS *Control*	Arus (mA)	*Opening Pressure* (bar)	*Opening Valve %)*
0 %	4	0.2	
50 %	12	0,6	
100 %	20	1	

Catatan :
Pressure angin *control valve* : 1 bar.

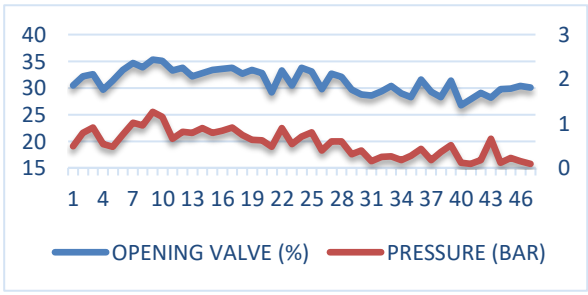
Berdasarkan hasil uji linieritas *control valve* dengan I/P *Thermo Fisher*, besaran sinyal DCS yang diberikan dapat memengaruhi perubahan *pressure* angin yang keluar dari I/P tersebut. Semakin besar *pressure* yang keluar pada I/P, maka *opening valve* akan semakin bertambah. Respon *opening valve* dapat dilihat dalam Gambar 8.



Gambar 8 *Working Operation* pada I/P dengan Bukaan *Actuator*

Hubungan *Opening Valve* Terhadap *Pressure Steam* Pada Silinder *Dryer*

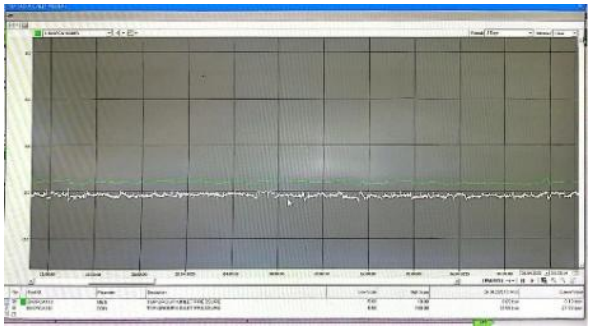
Working operation pada *control valve* yang bekerja dapat memengaruhi besaran *pressure steam* yang dihasilkan. Pada hubungan ini, kondisi *control valve* dan *pressure transmitter* adalah dalam rangkaian *close loop* pada sistem DCS yang digunakan. Hubungan ini dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Hubungan *Close Loop Control* antara *Pressure Steam* dan *Opening Valve*

 ISSN 2987-677x

Dari data yang diambil pada kejadian *sampling* dari beberapa data secara acak pada pengukuran di DCS. Persamaan regresi linier yang didapat adalah y = 27,87 + 6,199x. Uji signifikansi regresi diperoleh F = 138,522 dengan nilai Sig = 0. Dari hasil uji signifikansi 0 < 0,005, artinya *opening valve* sangat berpengaruh terhadap *pressure* yang masuk pada silinder *dryer.* Besaran pengaruh *opening valve* dengan *pressure* yang dihasilkan adalah sebesar 75,5 % berdasarkan analisis regresi yang dilakukan. Gambar 10 dibawah ini adalah *trend* yang ada DCS.

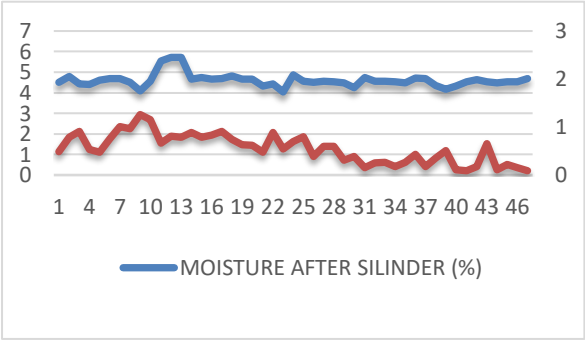


Gambar 10 *Trend* Kestabilan Kontrol di DCS antara *Opening Valve* dan *Pressure*

Hubungan Besaran *Pressure Steam* terhadap Kualitas *Moisture* Kertas

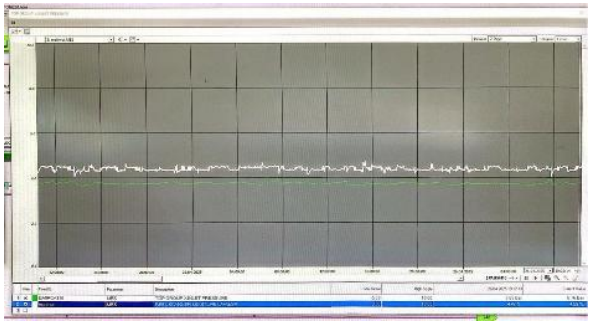
Kualitas kertas tidak boleh terlalu kering maupun terlalu basah. Oleh karena itu, perlunya pemanas dengan menggunakan silinder *dryer*. Pemanas pada silinder *dryer* menggunakan *steam* bertekanan. *Steam* yang masuk pada silinder *dryer* berfungsi untuk mengontrol *moisture* agar kertas dalam keadaan sesuai standar pasar (studi kasus dengan gramatur = 70 GSM). Pengukuran *moisture* diambil dari pembacaan sistem QCS pada *scanner paper.*

Besaran *pressure steam* bertekanan pada silinder *dryer* dapat memengaruhi besaran *moisture* pada kertas. Pada Gambar 11 dapat diketahui hasil pengaruh besaran *pressure steam* terhadap *moisture*.



Gambar 11 Hubungan *steam pressure* terhadap kualitas *moisture*

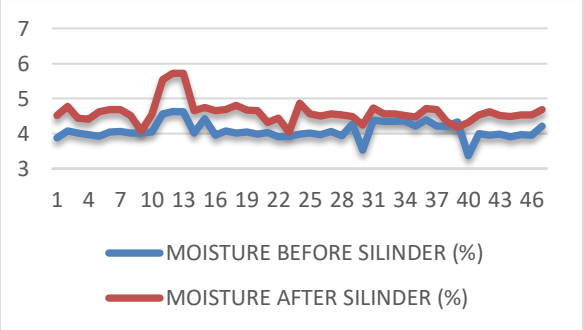
Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa pengaruh kenaikan *pressure steam* dapat memengaruhi kertas menjadi kering. Dengan kata lain, kestabilan *pressure steam* sangat perlu diperhatikan pada kontrol *close loop* di DCS agar kualitas kertas tetap terjaga sesuai standar. Gambar 12 adalah kondisi kestabilan *moisture* terhadap *pressure* yang mengontrol.



Gambar 12 *Trend* Kestabilan Kontrol di DCS antara *Pressure* dan *Moisture*

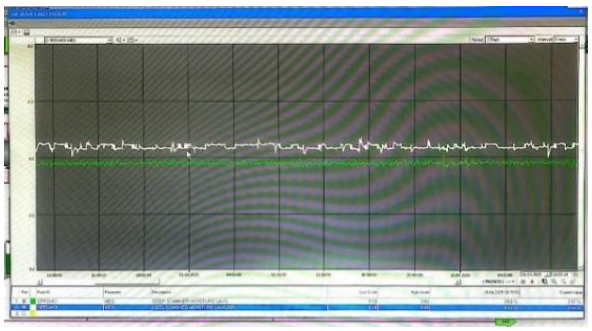
Perbedaan Karakteristik *Moisture* Kertas dengan Silinder *Dryer* pada *After Dryer* dan Tanpa Silinder *Dryer*

Treatment menggunkan silinder *dryer* akan memengaruhi kualitas kertas terhadap *moisture*. Berdasarkan Gambar 13, dapat diketahui hubungannya.



Gambar 13 Perbedaan *Moisture* Menggunakan Kontrol Silinder *Dryer* dan Tanpa Silinder *Dryer*

Berdasarkan grafik pada gambar di atas, dapat diketahui bahwa kualitas *moisture* jauh lebih baik dilakukan *treatment* dengan silinder *dryer* daripada tidak dilakukan *treatment.* Bahwasanya kertas sebelum di*treatment* pada silinder *dryer* lebih terlalu kering daripada setalah dilakukan *treatment*. Proses ini juga dibantu oleh *coating* pada *Size Press.* Gambar 14 adalah linieritas kontrol pada DCS dari kedua perbedaan *moisture*.



Gambar 14 *Trend* Kestabilan *Moisture* Setelah Dilakukan *Treatment* dengan Silinder *Dryer*

Berdasarkan Gambar 13, *moisture* yang telah dikontrol oleh silinder *dryer* (warna hijau) jauh lebih stabil daripada sebelum masuk ke silinder *dryer* (warna putih).

 ISSN 2987-677x

Kesimpulan

Dari uraian di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa tingkat linieritas *opening valve* berpengaruh terhadap *control pressure* yang dihasilkan pada *steam* bertekanan. Tingginya bukaan *valve* akan memengaruhi tingginya *pressure steam* yang dihasilkan. Kualitas *moisture* sangat berpengaruh pada keadaan *steam* yang berada pada silinder *dryer.* Tingginya *pressure steam* yang masuk pada silinder *dryer*, akan membuat kertas menjadi lebih kering. Oleh karena itu, kestabilan *close loop control* yang diolah pada DCS sangat diperlukan, agar kertas tetap terjaga kualitas *moisture* yang dihasilkan.

Ucapan Terima Kasih

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmatNya, saya dapat menyelesaikan karya tulis ilmiah ini. Penulisan karya tulis ilmiah ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Profesi Insinyur, di Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya. Saya ucapkan banyak terima kasih kepada Civitas Akademika Program Studi Profesi Insinyur Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya.

Tidak lupa Ayah dan Ibu saya (Bapak Sucipto dan Ibu Minggirwati) yang selalu memberi semangat, baik motivasi maupun materi. Karena kalian berdua, hidup terasa begitu mudah dan penuh kebahagiaan. Terima kasih karena selalu menjaga saya dalam doa-doa Ayah dan Ibu, serta selalu membiarkan saya mengejar impian saya apapun itu. Tidak lupa pula saya ucapkan banyak-banyak terima kasih kepada calon pendamping hidup saya, Wahyu Sugiarti, yang selalu memberi bimbingan kepada saya dalam pengerjaan karya tulis ini.

Referensi

[1] Sidharta, A., & I. (2012). *Benda, sifat dan kegunaannya*. Jakarta: Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Ilmu Pengetahuan Alam.

[2] Istikowati, W. T., & Budi, S. (2020). *Teknologi pulp dan kertas*. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press.

[3] Pratama, J. (2021). Analisis penggunaan steam dryer pada mesin kertas untuk mendapatkan nilai minimum penggunaan steam. *Institut Teknologi dan Sains Bandung (ITSB)*, 1–9.

[4] Dina, S. F. (2010). Penghematan energi di industri kertas melalui perbaikan kondisi proses dan/atau modifikasi unit drying. *Jurnal Riset Industri*, 1–16.

[5] Manurung, G. P. (2021). Pengenalan alat proses pengolahan kelapa sawit di PT Ivo Mas Tunggal PKS Unit Sam Sam Mill Desa Bekalar, Kec. Kandis, Kab. Siak, Riau. *Politeknik LPP Yogyakarta, Program Studi Kimia*.

[6] Triningsih, D. A. (2018). *Pabrik pulp dari serat rami (Bochemira nivea L. Gaudich) dengan proses acetocell*. Surabaya: Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

[7] Hidayat, S., & Jay, I. A. (2016). Analisa DCS (Distributed Control System) pada proses polimerisasi. *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, 36–42.

[8] Hersaputri, M., Putranto, Y. A. B., Tadeus, D. Y., & Mangkusamito, F. (2022). Peningkatan kinerja control valve akibat fenomena reset windup pada sistem reboiler. *Berkala Fisika, Universitas Diponegoro*, 25, 37–38.

[9] Ismail, K. N., & A., N. (2016). Sistem pneumatic control valve pada discharge valve main cooling water pump (MCWP). *Senter*, 46–55.

[10] Thermo-Scientific. (2018). *STD5000 & STD6000 current to pressure transducers*. Waltham, MA: Thermo Scientific.

[11] Putera, R. M., Suprihanti, A., Widyanto, S. A., & Umardani, Y. (2021). Perancangan sistem monitoring tekanan pada fly ash system berbasis Internet of Things. *Rotasi*, 23, 35–43.

[12] Santoso, F. A., & Sijabat, E. K. (2021). Analisis statistik pengujian moisture basepaper dan coatweight terhadap curling grade coated back pada kertas non carbon required. *Institut Teknologi dan Sains Bandung (ITSB)*.

[13] Irsyam, M., & N. (2020). Analisa proses kalibrasi katup penutup pada pembangkit listrik di PT Mitra Energi Batam. *Sigma Teknika, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Riau*, 3, 160–170.

[14] Pane, Y., Simamora, S. A. M., & Sembiring, D. S. P. S. (2021). *Control valve pada irigasi persawahan*. Medan: UMSU Press.

[15] Emerson. (2023). *Control valve handbook*. Sorocaba, Brazil: Emerson-Fisher.

[16] Irsyam, M., & N. (2020). Analisa proses kalibrasi katup penutup pada pembangkit listrik di PT Mitra Energi Batam. *Sigma Teknika*, 160–170.

[17] Ogata, K. (1997). *Modern control engineering*. Prentice Hall International Inc.

[18] Marbun, R. (2020). *Uji regresi dengan aplikasi SPSS*. Jayapura: Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Cendrawasih.

ISSN 2987-677x

Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Alternatif Solusi Energi Hijau PT Lautan Natural Krimerindo (LNK)

Imron Afandi[1] Rasional Sitepu[1] Andrew Joewono[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ afandimron@gmail.com
✉ rasional@ukwms.ac.id
✉ andrew_sby@ukwms.ac.id

Pertumbuhan industri makanan di Indonesia membutuhkan dukungan suplai energi yang andal dan terjangkau untuk dapat meningkatkan produktivitasnya. Di sisi lain industri di Indonesia juga harus berperan aktif dalam menjalankan program konservasi energi dan mereduksi emisi. Pemerintah telah menetapkan target untuk mencapai *net zero emission* (NZE) pada tahun 2060 atau bahkan lebih cepat. Salah satu teknologi yang bisa menjawab tantangan ini adalah penggunaan *photovoltaic* yang mampu mengkonversi radiasi cahaya matahari menjadi energi listrik. PT Lautan Natural Krimerindo mengambil langkah penting untuk memulai transisi energi dengan membangun PLTS Atap dengan kapasitas 778 KWp atau sekitar 635 KW yang setara dengan 30% daya kebutuhan daya aktual operasional. PLTS diaplikasikan dengan sistem *on-grid*, dengan energi listrik yang dihasilkan langsung disinkronisasi pada jaringan utama kelistrikan. Penggunaan PLTS sebagai peran serta dalam mencapai SDG's no.7, energi bersih dan terjangkai dngan penggunaan energi terbarukan yang mampu berkontribusi langsung pada efisiensi energi serta penghematan biaya energi dalam proses produksi, serta mengurangi emisi akibat penggunaan energi berbahan bakar fosil.

Kata kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Surya, *photovoltaic, sustainability, on-grid*

Pendahuluan

Indonesia berada di zona khatulistiwa dengan sinar matahari yang melimpah setiap harinya. Potensi sinar matahari yang dapat dimanfaatkan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indonesia rata-rata sebesar 4,8 kWh/m2/hari (Muslim & Khotimah, 2020) atau dikenal sebagai potensi radiasi sinar matahari (Winardi et al., 2019) atau dalam istilah ilmiah adalah insolation. Potensi tenaga surya secara nasional 4,8 kWh/m2/hari tersebut setara dengan 207.898 MW, namun baru dimanfaatkan sebesar 0,05% alias 100 MW saja (Dewan Energi Nasional, 2020). Sumber energi dari matahari menjadi salah satu pilihan alternatif karena ketersediaannya yang cukup melimpah dan memiliki tingkat pencemaran yang lebih rendah daripada pembangkit listrik yang berbahan bakar energi fosil (Yakin & Rajagukguk, 2020), yang membuat teknologi sistem *photovoltaic* menjadi salah satu teknologi energi terbarukan yang diminati di dunia (Hernández-Callejo et al., 2019).

Pemerintah Indonesia juga telah menandatangani *Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate* pada tanggal 22 April 2016 di New York, Amerika Serikat. Dengan berpartisipasinya Indonesia *dalam Paris Agreement*, pemerintah telah berkomitmen untuk mengembangkan EBT sekaligus mengurangi tingkat emisi dari berbagai sektor. Berdasarkan teknologi yang digunakan, PLTS terbagi menjadi dua sistem, yaitu *standalone* atau *off-grid* dan *on-grid* (Rizkasari et al., 2020). *Standalone* disini biasa disebut juga sebagai *off-grid* atau tidak terhubung ke jaringan listrik PT PLN (Persero), yang biasanya dirancang untuk memanfaatkan sinar matahari secara mandiri pada daerah yang terisolasi, pedalaman, atau pulau-pulau yang belum terhubung dengan sistem transmisi dan distribusi PLN. Sedangkan sistem *on-grid* adalah sebaliknya, yaitu terhubung dengan jaringan listrik PLN. Sistem ini lebih banyak diadopsi karena keandalannya yang lebih tinggi dibandingkan dengan *offgrid*, karena terdapat dua sumber energi listrik yang dapat saling menyokong satu sama lainnya.

PT Lautan Natural Krimerindo sebagai salah satu industri di bidang bahan pangan seiring dengan peningkatan produktivitasnya, konsumsi energinya juga meningkat. Selain itu kehandalan *supply* daya listrik sangat diperlukan untuk mencegah adanya gangguan kelistrikan selama proses produksi. Gangguan kelistrikan akan menyebabkan rusaknya bahan baku hingga produk setengah jadi yang akan menyebabkan perusahaan mengalami kerugian. Di sisi lain, lokasi perusahaan yang tidak pada kawasan industri menyebabkan rentannya pada gangguan jaringan kelistrikan. Selain itu, jika melihat permintaan energi listrik yang selalu meningkat, harga energi listrik juga meningkat, dan ini juga menjadi perhatian bagi industri terkait dengan biaya energi yang berpotensi membuat produk tidak kompetitif dari sisi harga.

PT LNK terhubung dengan PLN dengan kapasitas daya 3465 KVA dan *Gas Engine* Generator dengan kapasitas 1630 kiloWatt. Dengan operasional perusahaan yang berlangsung 24 jam dalam 7 hari, PT LNK mensinkronkan energi listrik dan *supply* dari PLN dengan komposisi 50% : 50%, dengan total beban sekitar 2200 KW. Dengan kondisi ini PT LNK masih menggunakan sumber daya listrik dari fosil, yang didominasi oleh bahan bakar baru bara dan gas alam. Kedua jenis sumber energi tersebut bisa dipastikan menghasilkan emisi yang tinggi, serta berpotensi mengalami peningkatan harga mengingat keterbatasan sumber daya dibanding permintaannya.

PT LNK berpeluang dapat menggunakan luasan atap yang tersedia yaitu sekitar 7600 m^2 sebagai tempat instalasi PLTS Atap. Selain dapat mengurangi emisi, mendapatkan energi bersih yang lebih murah, teknologi ini juga tidak memerlukan lahan tambahan, bahkan bisa membantu meredakan cuaca alam gedung akibat paparan panas matahari langsung pada atap yang berbahan dasar logam.

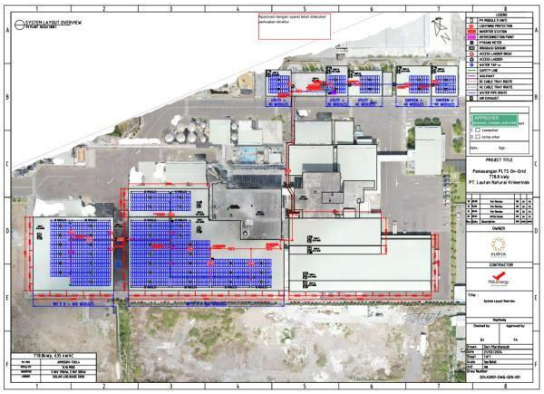
 ISSN 2987-677x

Metode

Metode Perencanaan Instalasi PLTS

Berdasarkan perizinan yang telah dikeluarkan oleh PLN, maka PT mendapatkan kuota instalasi PLTS sebesar 20% dari total daya terpasang (3465 KVA). Sehingga proyek direncanakan akan melakukan instalasi PLTS dengan daya 778 KWp atau sekitar 635 KW. Dengan berpedoman pada kuota ini, maka diperlukan identifikasi pada area atap yang optimal mendapatkan radiasi cahaya, mengingat ketinggian gedung pada area pabrik memilki ketinggian yang berbeda- beda.

Pemilihan atap dilakukan dengan mempertimbangkan kekuatan konstruksi atap gedung dan kedekatan koneksi antar modul solar panel, terlihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1 *Layout* Peletakan PV Modul pada Atap

Perancangan Sistem PLTS Atap On-Grid

Komponen-komponen utama yang menjadi dasar dalam perancangan PLTS Atap ini adalah:

Panel Surya (*PV Module*)

Dalam perancangan ini *Photovoltaic Module* (*PV Module*) yang digunakan sebagai berikut:

Merk/ *Type* : JINKO, Tiger Pro 72 HC
Tipe *Photovoltaic* : P – monocrystalline
Dimension : 2278 × 1086 × 35 mm

Dengan detail spesifikasi teknis sebagai berikut.

Tabel 1 Spesifikasi Teknis Panel Surya

Spesifikasi	STC	NOCT
Daya Maksimal (P*max*)	555 Wp	413 Wp
Tegangan Maksimal (V*max*)	40.99 V	38.59 V
Arus Maksimal (I*max*)	13.54 A	10.70 A
Tegangan Hubung Singkat (Isc)	49.72 V	46.93 V
Arus Hubung Singkat (Isc)	14.12 A	11.40
Efisiensi (%)	21.48 %	
Tegangan Maksimal Sistem	1000 - 1500 VDC	

*Dengan STC adalah saat irradiasi 1000 W/m2 dan NOCT pada saat 800 W/m2.

Sehingga dengan menggunakan PVsyst diestimasikan kebutuhan PV *Module* adalah sekitar 1406 unit dan dengan demikian luas atap yang dibutuhkan 3632.88 m^2.

Dengan kondisi atap yang terpisah, diperlukan pengelompokan *module* dalam sistem *array* untuk kemudian dikoneksikan dalam setiap *string* yang terhubung dengan masing-masing *inverter* pada proyek ini. Konfigurasi *string* pada *inverter* pada PLTS Atap yang direncanakan dapat digambarkan sebagai berikut:

Tabel 2 Konfigurasi *String Inverter*

No.	Kapasitas	Jumlah PV	Nominal kWp
1	115 kW	260	144 kWp
2	115 kW	260	144 kWp
3	115 kW	260	144 kWp
4	115 kW	260	144 kWp
5	115 kW	244	135 kWp
6	30 KW	66	33.3 kWp
7	30 KW	66	33.3 kWp

Inverter* atau *PV Controller

Perangkat yang digunakan untuk mengkonversi arus DC menjadi AC. Pada kegiatan ini, *inverter* yang digunakan adalah merk/*brand* Huawei, speksifikasi peralatan terlihat pada tabel berikut ini.

Tabel 3 Spesifikasi *Inverter*

Spesifikasi	SUN2000-115 KTL	SUN2000-30KTL
Daya Maksimal (Pmax)	115 KW	30 KW
Tegangan Input Maksimal	1100 VDC	1100 VDC
Arus Input Maksimal (MPPT)	30 A	26 A
Tegangan Output Maksimal	400 VAC	400 VAC
Arus Output Maksimal	182.3 A	47.9 A
Effisiensi	98.6%	98.7%

Inverter yang digunakan terdapat 2 jenis, yaitu 5 unit tipe SUN2000 berkapasitas 115 kw dan 2 unit berkapasitas 30 kw. Beberapa fitur proteksi yang disediakan dalam *inverter* ini, antara lain adanya *surge arrester*, baik untuk AC maupun DC, proteksi arus lebih, PV *array string fault monitoring*, proteksi busur api, deteksi insulasi DC, hingga *monitoring* kegagalan *string* pada *array* modul PV.

Data *Logger* dengan Sistem IOT

Data *logger* yang digunakan adalah "*Solar Log Base* 2000", yaitu perangkat atau sistem pemantauan dan pengendalian sistem tenaga surya yang dikembangkan oleh Solar-Log GmbH, terlihat pada Gambar 2. Perangkat ini memungkinkan pemantauan kinerja, pengaturan, dan pengendalian pembangkit listrik tenaga surya secara efisien dan fleksibel. *Solar-Log Base* yang berbasis sistem IOT ini bersama dengan portal daring Solar-Log WEB Enerest™, memberikan pemantauan yang komprehensif untuk sistem fotovoltaik, termasuk pemantauan pemadaman dan hasil yang optimal.

Gambar 2 *Solar Log-Base* 2000 *Data Logger* Berbasis IOT

Komponen Pendukung dan Proteksi

a. Penopang Panel PV dengan kemampuan tahan beban angin 45 m/s, dan anti-korosi, seperti pada Gambar 3 di bawah ini.

 ISSN 2987-677x

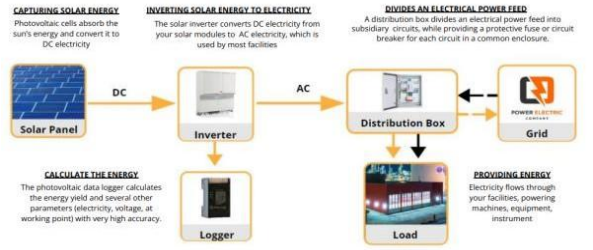
Gambar 3 Penopang PV

a. *Fuse* (*Inline*) yang berfungsi memutus arus saat terjadi arus lebih akibat *chort circuit* atau gangguan lainnya, seperti terlihat pada Gambar 4 di bawah ini.

Gambar 4 *Fuse*/Sekring *Photovoltaic*
Kapasitas 1000 VDC

b. Sistem *Grounding* dan *Lightning Arrester* (penangkap petir) dengan esistansi *grounding* yang diperlukan adalah kurang dari 5 Ohm.
c. Kabel DC dan AC dengan isolasi minimum 1000V dan sesuai dengan kuat hantar arus yang dipersyaratkan.
d. *Distribution Box* atau *Junction Box*
Sebagai penghubung antar PV *Module* dalam *string* untuk dikoneksikan dengan *inverter*.
e. *Walkway* atau tangga jalan yang nantinya digunakan untuk perawatan dan perbaikan.

Interkoneksi komponen-komponen tersebut dalam PLTS yang direncanakan akan terlihat seperti terlihat pada Gambar 5 berikut ini.



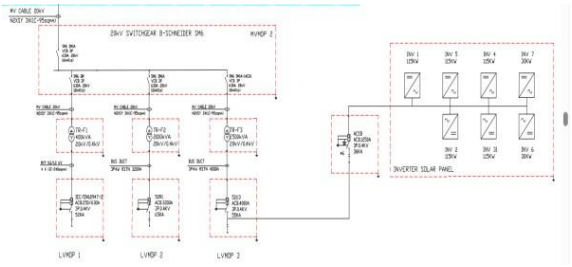
Gambar 5 Perancangan Sistem PLTS Atap

Solar log akan bekerja mengumpulkan data dari *inverter* yang menghimpun energi yang didapatkan dari solar panel secara langsung, dengan menggunakan protokol komunikasi RS 485.

Konstruksi dan Kelistrikan PLTS

PLTS dihubungkan pada sisi tegangan rendah dengan sinkronisasi pada jaringan utama yang mendapatkan sumber dari PLN dan pembangkit internal, sehingga dengan sistem ini beban pada jaringan utama akan menyesuaikan *supply* listriknya mengikuti kemampuan PLTS dalam mengonversi cahaya menjadi energi listrik. Untuk menghindari rugi-rugi sebaiknya jarak koneksi antara terminal *inverter* dan jaringan utama tidak berjauhan.

Dengan sistem *on grid*, maka energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS akan sinkron dengan jaringan tegangan rendah dengan komposisi yang dinamis mengikuti kemampuan *supply* daya listrik PLTS yang sangat dipengaruhi oleh cuaca dan daya irradiasi matahari.



Gambar 6 *Single Line* Diagram Kelistrikan PLTS Atap dan Jaringan Utama Kelilstrikan PT LNK

Sebagai bahan pertimbangan peletakan solar panel, dipilih area atap yang selain kokoh dan tidak memerlukan banyak usaha perkuatan, juga adalah area yang paling optimal mendapatkan penyinaran matahari dan bebas dari bayang-bayang gedung lain yang lebih tinggi (mengingat ketinggian gedung yang berbeda-beda). Sehingga, dipilih area atap sebagai mana gambar berikut.

Gambar 7 Instalasi Panel 778 KWp di PT LNK

Metode Pengujian

Pada pengujian hasil instalasi menggunakan PVsyst V7.4.0 Didapatkan bahwa rata-rata *performance ratio* (PR) dalam setahun yang disimulasikan adalah mencapai 79.32%. Sebagaimana dalam penjelasan pada tabel berikut:

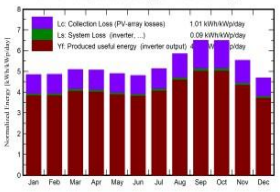
Tabel 4 Data Simulasi dengan PVsyst

Main results

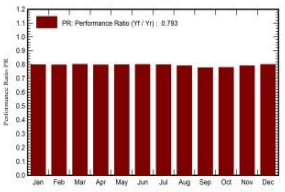
System Production

Produced Energy (P50) 1199449 kWh/year	Specific production (P50)	1539 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 79.32 %
Produced Energy (P75) 1156469 kWh/year	Specific production (P75)	1484 kWh/kWp/year	
Produced Energy (P90) 1117701 kWh/year	Specific production (P90)	1434 kWh/kWp/year	

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	148.5	66.00	27.40	150.4	143.1	95514	93496	0.798
February	135.5	70.00	27.50	136.1	129.6	86308	84487	0.797
March	158.7	75.00	27.80	157.9	150.4	100734	98622	0.802
April	154.5	83.00	28.10	152.1	144.4	96528	94523	0.798
May	155.9	71.00	28.10	151.8	143.6	96488	94489	0.799
June	149.1	60.00	27.90	144.2	135.8	91885	89991	0.801
July	164.0	69.00	27.40	159.1	150.2	101087	98982	0.799
August	185.4	76.00	27.60	181.5	172.3	114214	111796	0.791
September	197.1	73.00	27.90	195.0	185.8	120675	118075	0.777
October	200.9	88.00	28.50	201.2	192.1	124827	122141	0.779
November	164.7	88.00	28.40	166.0	158.3	104487	102280	0.791
December	143.5	81.00	27.88	145.3	138.4	92513	90566	0.800
Year	1957.8	900.00	27.87	1940.6	1844.0	1225260	1199449	0.793

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Energy injected into grid
T_Amb	Ambient Temperature	PR	Performance Ratio
GlobInc	Global incident in coll. plane		
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings		

 ISSN 2987-677x

Pencatatan data-data *inverter* yang diunduh dari *solar logweb* dari *inverter* menggunakan komunikasi RS 485 mengindikasikan bahwa pada 10 Agustus 2024, hampir keseluruhan *inverter* menunjukkan efisiensi 98%. Dengan rincian sebagai berikut.

Tabel 6 Data Kinerja *Inverter*

No	Yield AC (KWh)	Yield DC (KWh)	Effisiensi (%)
Inverter 1	570.26	581.55	98%
Inverter 2	592.65	599.53	99%
Inverter 3	608.11	615.78	99%
Inverter 4	596.29	604.73	99%
Inverter 5	598.84	609.91	98%
Inverter 6	129.8	132.87	98%
Inverter 7	136.66	141.18	97%
Sum	3,232.61	3,285.55	98%

Dari Tabel 6, didapatkan hasil secara keseluruhan konfigurasi beberapa *inverter* pada PLTS menghasilkan efisiensi lebih dari 98% memenuhi standar kinerja *inverter* yang baik.

Gambar 8 Hasil Pengujian PLTS

Efisiensi panel surya dapat juga dianalisa dengan rumus perhitungan. Sebagaimana pada gambar menunjukkan bahwa pada saat jam 10.50 menunjukkan solar *irradiation* 805 W/m^2 dengan daya *output* 628 KW.

Maka daya *input* yang terjadi saat itu:
Pin = irradiasi solar × luasan panel surya
Pin = 805 W/m^2 × 3632 m^2
Pin = 2,932,760 W

Dengan demikian efisiensi pada panel surya:
Efisiensi PV = (P_{out}/P_{in}) × 100%
Efisiensi PV = (628.000/2.932.760) × 100%
Efisiensi PV = 21,41%
Hal ini sesuai dengan spesifikasi teknisnya yang mencapai hingga 21,48%.

Tabel 5 Data Analisa Efisiensi Panel Surya

Jam	Iradian (W/m2)	Pout (KW)	Pin (KW)	Effisiensi (%)
8:00	547.5	426.6	1,988.5	21.45%
8:30	667.6	520.2	2,424.7	21.45%
9:00	656	511.2	2,382.6	21.46%
9:30	613.2	477.8	2,227.1	21.45%
10:00	714.2	556.5	2,594.0	21.45%
10:30	747.3	582.3	2,714.2	21.45%
11:00	802.3	625.2	2,914.0	21.46%
11:30	758.1	590.7	2,753.4	21.45%
12:00	721.1	561.9	2,619.0	21.45%
12:30	680.3	530.1	2,470.8	21.45%
13:00	583.5	454.7	2,119.3	21.46%
13:30	519.6	404.9	1,887.2	21.46%
14:00	416.2	324.3	1,511.6	21.45%
14:30	299	233	1,086.0	21.46%
15:00	211.3	164.6	767.4	21.45%
15:30	128.9	100.4	468.2	21.45%
16:00	40.6	31.6	147.5	21.43%
			Rata-rata	21.45%

Dengan pengambilan data untuk beberapa jam sebagaimana pada Tabel 5, maka didapatkan bahwa panel surya secara konsisten mampu menghasilkan energi dengan efisiensi rata-rata 21.45%. Ini mendekati efisiensi maksimal pada *datasheet* yaitu 21.48%. Daya keluaran PLTS mampu mencapai 628 KW dari total kapasitas 635 KW atau sekitar 98%. Hal ini menunjukkan kinerja PLTS yang baik dan optimal. Bahkan *yield* harian yang didapatkan adalah 3.23 MWh dari target harian yang hanya 2.68 MWh atau 120% dari target sebagaimana pada Gambar 7.

Performa atau kinerja PLTS dianalisis berdasarkan nilai *performance ratio* (PR), yaitu suatu rasio antara besar energi aktual hasil produksi PLTS dengan energi *output* PLTS hasil perhitungan. Semakin tinggi nilai PR maka PLTS beroperasi dengan performa yang bagus (Sharma & Chandel S, 2013).

Hasil Kerja

Pada pemantauan dari Agustus 2024 hingga Desember 2024, didapatkan *yield* energi listrik yang selalu melebihi target sebagaimana pada *solar log*. Hal ini selain menunjukkan efektivitas instalasi PLTS, juga pengaruh cuaca dan irradiasi cahaya matahari yang berbeda dengan *datasheet Global Horizontal Irradiation* (GHI).

Tabel 6 *Yield* Energi Listrik Agustus-Desember 2024

Bulan	*Yield (MWh)*	*Target (MWh)*	*Yield/Target (%)*
Agustus	99.87	83.22	20%
September	97.32	69.35	40%
Oktober	101.57	41.61	144%
November	80.58	27.44	194%
Desember	76.57	20.81	268%
Sum	455.91	242.43	88%

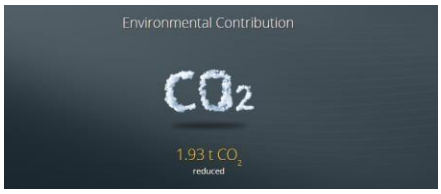
Target yang ditetapkan dalam *Solar Log Web*, diformulasikan dengan memperhatikan rugi-rugi yang telah disimulasikan dalam PVSyst, yang tidak dibahas terperinci dalam artikel ini. Dari sejak PLTS Atap beroperasi pada Agustus 2024 hingga Desember 2024.

Jika berpedoman bahwa setiap 1 KWh pembangkitan energi listrik dengan bahan bakar fosil menghasilkan 0.6 kg CO_2 (Sitepu et al., 2024), maka kontribusi energi bersih dari panel surya ini menghasilkan:

Reduksi Emisi CO_2	= 273,546 Kg
Setara Pohon	= 5,466 pohon
Setara Gasoline	= 138,049 liter

 ISSN 2987-677x

Pencatatan capaian ini dapat terlihat pada *dashboard* Solar *Log Web* pada Gambar 9 dan 10. Ini secara simbolis merepresentasikan pemenuhan terhadap target global khususnya target *sustainibility development goal*, yaitu pada energi bersih yang terjangkau (poin 7), komunitas yang berkelanjutan (poin 11), produksi dan konsumsi yang bertanggung jawab (poin 12), serta penanganan pada perubahan iklim (poin 13).



Gambar 9 *Dashboard Monitoring* Kontribusi pada Lingkungan

Gambar 10 *Dashboard Monitoring* Kontribusi pada Lingkungan

Kesimpulan

Instalasi PLTS Atap yang dilakukan di PT LNK telah memenuhi harapan dengan pencapaian kinerja pada panel surya, yaitu 21.45% dari *datasheet* 21.48% dan inverternya yang mencapai efisiensi >98% yang tergolong sangat baik untuk kinerja konversi energi dari DC menjadi AC. Karena menggunakan sistem *On-Grid*, maka daya yang dihasilkan oleh PLTS Atap langsung dikonsumsi oleh beban bersama dengan sumber listrik dari PLN dan pembangkit internal yang telah disinkronkan.

PLTS Atap yang telah digunakan di PT LNK memilki kapasitas 635 KW dari total beban aktual 2200, atau sekitar 30% dari total kebutuhan daya. Sehingga untuk meningkatkan komposisi energi baru terbarukan serta reduksi terhadap emisi CO_2, pada proses produksinya PT LNK perlu terus menambah kapasitas PLTS dengan memanfaatkan ketersediaan atap.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih pada segenap tim yang terlibat dalam proyek PLTS, dari jajaran manajemen hingga segenap karyawan yang terlibat, baik yang ada di PT Lautan Natural Krimerindo dan PT Xurya Daya yang menjadi partner dalam merealisasikannya. Semoga inisiatif dan realisasi proyek ini membawa kita pada langkah sukses selanjutnya dalam mengembangkan energi baru terbarukan, khususnya PLTS Atap.

Referensi

Hernández-Callejo, L., Gallardo-Saavedra, S., & Alonso-Gómez, V. (2019). A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance. *Solar Energy, 188*, 426–440, https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.06.017.

Muslim, S., & Khotimah, K. (2020). Analisis kritis terhadap perencanaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) tipe photovoltaic (PV) sebagai energi alternatif masa depan. *Jurnal Energi Terbarukan*, *3*(1), 19–20.

Rizkasari, D., Wilopo, W., & Ridwan, M. K. (2020). Potensi pemanfaatan atap gedung untuk PLTS di Kantor Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral (PUP-ESDM), Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Journal of Appropriate Technology for Community Services*, *1*(2), 104–112, https://doi.org/10.20885/jattec.vol1.iss2.art7.

Sharma, V., & Chandel, S. S. (2013). Performance analysis of a 190 kWp grid-interactive solar photovoltaic power plant in India. *Energy, 55*, 476–485, https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.075.

Sitepu, R., Joewono, A., Yuliati, Y., Angka, P. R., Teja, B., Hartono, H., Pranjoto, P., & Gunadhi, A. (2024). Design and implementation of 232.2 kWp rooftop on-grid solar power plant. *E3S Web of Conferences, 475*, 03005, https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447503005.

Winardi, B., Nugroho, A., & Dolphina, E. (2019). Perencanaan dan analisis ekonomi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terpusat untuk desa mandiri. *Jurnal Tekno, 16*(2), 1–11, https://doi.org/10.33557/jtekno.v16i1.603.

Yakin, K., & Rajagukguk, A. (2020). Desain pembangkit listrik tenaga surya tipe rooftop on-grid sistem pada gedung laboratorium teknik elektro Universitas Riau. *Jom FTEKNIK, 7*(2), 1–11.

ISSN 2987-677x

Optimasi Sistem Proteksi IDMT MV & LV untuk Keandalan Energi dan Keberlanjutan Industri di PT GPL

Johanes Christian Herlambang, S.T[1]
Ir. Rasional Sitepu, M. Eng., IPU., ASEAN Eng.[1]
Ir. Andrew Joewono, S.T., M., IPU., ASEAN Eng.[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ christianherlambang.official@gmail.com
✉ rasional@ukwms.ac.id
✉ andrew_sby@ukwms.ac.id

Studi kasus ini menyoroti profesionalisme dalam penerapan teknik perlindungan kelistrikan. Metode analisis mencakup observasi lapangan, simulasi dengan ETAP, serta kalkulasi total arus untuk optimasi sistem proteksi. Evaluasi sistem proteksi IDMT MV & LV di Area 60 PT. GPL bertujuan meningkatkan keandalan distribusi listrik dan mengurangi *downtime* akibat trip sistem yang tidak diinginkan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa koordinasi proteksi awal kurang efektif, menyebabkan gangguan saat inrush current terjadi. Dengan penyetelan ulang berbasis perilaku beban, sistem kini lebih stabil dengan nilai hasil resetting sebagai berikut: proteksi relay 20 KV diatur pada 85 A, ACB Incoming Trafo 06 pada 3.250 A, dan MCCB Pelletizer pada 2.400 A. Perubahan ini meningkatkan efisiensi produksi, meminimalkan risiko gangguan, serta memastikan sistem bekerja lebih andal dan berkelanjutan. Penyesuaian ini juga mencakup tambahan proteksi serta pengintegrasian IDMT untuk meningkatkan kinerja sistem.

Kata kunci : studi kasus, profesionalisme, proteksi, IDMT

Pendahuluan

PT GPL merupakan industri *pellet* kayu dengan distribusi listrik yang terbagi dalam beberapa area, termasuk Area 60 yang berfokus pada proses *pelletizing*. Area ini menggunakan empat unit *pelletizer* dengan beban tiap mesin mencapai 400 kW, serta perangkat penunjang lainnya. Dalam dua bulan operasi, terjadi beberapa kali trip yang mengindikasikan ketidaktepatan koordinasi proteksi, terutama saat *inrush current* dari motor terakhir menyebabkan sistem mengalami gangguan.

IDMT adalah singkatan dari *Inverse Definite Minimum Time*, yang merujuk pada jenis relai proteksi arus lebih (*overcurrent relay*) yang memiliki karakteristik waktu kerja berbanding terbalik dengan arus gangguan. Relai IDMT memberikan waktu trip yang lebih cepat untuk arus gangguan yang lebih besar, dan waktu trip yang lebih lama untuk arus gangguan yang lebih kecil (TestGuy, 2021).

Studi ini bertujuan meningkatkan keandalan distribusi listrik dengan optimalisasi sistem proteksi IDMT untuk meminimalkan *downtime* dan memastikan produksi berkelanjutan. Metode yang digunakan mencakup observasi lapangan, simulasi ETAP, dan kalkulasi total arus guna menyusun pengaturan proteksi yang lebih tepat. Dengan penyetelan ulang berbasis perilaku beban, sistem kini lebih stabil dan efektif dalam menangani lonjakan arus saat proses produksi berlangsung.

Metode

Studi kasus ini menggunakan pendekatan berbasis observasi lapangan, simulasi, dan kalkulasi teknis untuk mengevaluasi serta menyetel ulang sistem proteksi IDMT MV & LV di Area 60 PT. GPL.

Data yang Dikumpulkan

1. **Data Sistem Listrik**
   - *Single Line Diagram* (SLD);
   - Spesifikasi peralatan proteksi (ACB, MCCB, *Relay*);
   - Rating transformator dan sistem distribusi listrik;
   - Parameter operasi utama dari MCC Area 60.
2. **Data Operasional**
   - Karakteristik perilaku beban saat kondisi normal dan *inrush current*;
   - *Setting awal* sistem proteksi.
3. **Data Standar dan Acuan**

Tabel 1 Standar Listrik

Dokumen Standar	Deskripsi
IEEE 421-5	Praktik yang direkomendasikan untuk eksitasi *study* stabilitas *system* tenaga (IEEE, 2016)
IEEE 242 – 1986 / IEEE std 242 - 2001	Praktik yang direkomendasikan untuk perlindungan dan koordinasi sistem tenaga listrik industri dan komersial (ANSI, 2001)
IEC 60255	Standar *relai and protection equipment* (IEC 60255-1, 2009)

Ada juga referensi dokumen sebagai acuan data dan kode yang digunakan pada studi kasus ini.

Tabel 2 Referensi Dokumen

Nama	Deskripsi
Single Line Diagram (SLD) *Distribution Power Substation* 02	*Schematic single line diagram and data of specification switchgear*, ACB, MCCB (Rio, 2025)

Tabel 3 Kode

Kode	Deskripsi
IEC	*International Electro Technical Commission*
IEEE	*Institute of Electrical and Electronics Engineers*
AC	*Alternating Current*

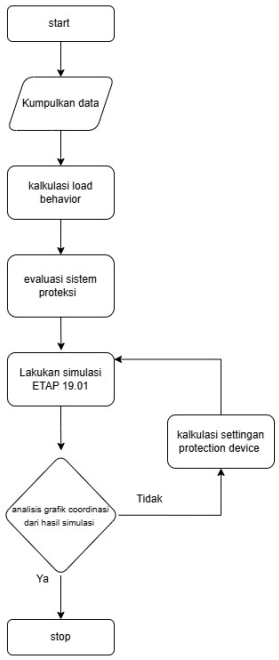
 ISSN 2987-677x

Kode	Deskripsi
PF	*Power Factor*
KV	*Kilo Volt*
KA	*Kilo Amps*
A	*Ampere*
V	*Voltage*
MV	*Medium Voltage*
HV	*High Voltage*
PU	*Per unit*
FLA	*Full Load Ampere*
OCR	*Over Current Relay*
Ir	*Long Time Protection*
Irs	*Short Circuit Protection*
Isd	*Short-Time Time Delayed Protection*

Data yang Dianalisis

1. **Evaluasi Koordinasi Proteksi**
   - Perbandingan *setting* sistem proteksi awal dengan *load behavior*;
   - Analisis gangguan yang menyebabkan trip berulang;
   - Simulasi dengan ETAP untuk melihat efektivitas koordinasi proteksi.
2. **Kalkulasi Total Arus dan *Inrush Current***
   - Perhitungan total arus berdasarkan operasi *pelletizer*;
   - Evaluasi apakah arus melampaui kapasitas transformator;
   - Penyesuaian *setting* proteksi berdasarkan hasil kalkulasi.
3. **Optimasi Sistem Proteksi**
   - Penyesuaian *setting relay* OCR, ACB, dan MCCB;
   - Simulasi koordinasi proteksi setelah *resetting*;
   - Validasi hasil melalui perhitungan IDMT sesuai IEC 60255.

Berikut ini adalah alur kerja untuk studi kasus ini.



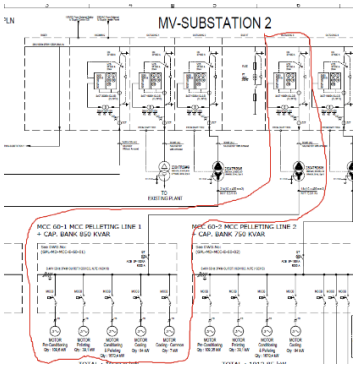
Gambar 1 *Flowchart* Studi Kasus

Pembahasan

Pada bab ini dijelaskan tahapan-tahapan kerja berdasarkan pada Gambar 1.

Deskripsi *Electrical System* MCC 60

Untuk *supply* jaringan listrik utama dari PT. GPL bersumber dari Gardu Induk 20 KV PT. PLN yaitu 20 KV AC, 3 *Phase*, 3 Kabel, 50 HZ.



Gambar 2 *Single Line* Diagram Sistem (Rio, 2025)

Dapat dilihat pada garis merah pada Gambar 2 *Single Line* Diagram Sistem, alur sistem listrik adalah dari GI PLN ke *Switchgear* Tr 06 – Trafo 06 20/04 KV 2500 KVA – ACB *Incoming* MCC 60 – ACB *PELLETING* – MCCB *PELLETING* 1A – 1B – 1C – 1D. Berikut adalah spesifikasi dari setiap perangkat proteksi listrik pada Area 60.

1. ***Switchgear* Trafo 06 (*Outgoing* 20 KV)**
   - Tipe CB (*tag no*) = SM6-DM1-A
   - Pabrikan = Schneider
   - *Rating* = 630A
   - Kapasitas Pemutusan (kA-MS) = 40 kA
   - *Relay Protection* = Schneider P3U30
2. **ACB *Incoming* Trafo 06 *Secondary Protection***
   - Tipe CB = MTZ3-50 HI
   - Pabrikan = Schneider
   - *Rating* = 5000 A
   - Kapasitas Pemutusan (kA-MS) = 100 kA
3. **ACB *Incoming PELLETING Secondary Protection***
   - Tipe CB (*tag no*) = MVS16N
   - Pabrikan = Schneider
   - *Rating* = 2500 A
   - Kapasitas Pemutusan (kA-MS) = 50 kA
4. **MCCB *Main Motor PELLETING* 1A *Motor Protection***
   - Tipe CB (nomor *tag*) = NS800 N
   - Pabrikan = Schneider
   - *Rating* = 800 A
   - Kapasitas Pemutusan (kA-MS) = 50 Ka
5. **MCCB *Main Motor PELLETING* 1B *Motor Protection***
   - Tipe CB (nomor *tag*) = NS800 N
   - Pabrikan = Schneider
   - *Rating* = 800 A
   - Kapasitas Pemutusan (kA-MS) = 50 Ka
6. **MCCB *Main Motor PELLETING* 1C *Motor Protection***
   - Tipe CB (nomor *tag*) = NS800 N
   - Pabrikan = Schneider
   - *Rating* = 800 A
   - Kapasitas Pemutusan (kA-MS) = 50 Ka
7. **MCCB *Main Motor PELLETING* 1D *Motor Protection***
   - Tipe CB (nomor *tag*) = NS800 N
   - Pabrikan = Schneider

 ISSN 2987-677x

- *Rating* = 800 A
- Kapasitas Pemutusan (kA-MS) = 50 Ka

Load Behavior

Dari data Tabel 2 referensi *document* dan observasi lapangan diketahui bahwa MCC Area 60 memiliki 4 jalur yang memisahkan *PELLETIZER* 1A, *PELLETIZER* 1B, *PELLETIZER* 1C, *PELLETIZER* 1D. Setiap motor utama *PELLETIZER* adalah 400 KW, 380 V, dan 4 kutub.

1. **Motor Kalkulasi**
   Dengan spesifikasi motor yang dapat dihitung FLA (*Full Load Ampere*) dari main motor *pellet*.
   $$I = \frac{400 \times 10.000}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.80} = 721A$$
2. **Kalkulasi *Inrush Current***
   Inrush current ketika *starting* motor menjadi data acuan untuk menentukan *settingan device protection*. Pada kasus ini digunakan *soft stater* dengan spesifikasi *settingan starting* 415V, 30s *acceleration*, dan *current limit* 300%. Dengan data tersebut dihitung *inrush current motor.*
   $Inrush\ current$ = FLA (721) × 300 % = 2.163 A
3. **Motor pada Saat *Running***
   Melalui pengukuran langsung dengan tang ampere dan juga observasi melalui SCADA diketahui.
   - *Main motor running* tanpa beban material Ampere rata – rata = 285 A (40% dari FLA)
   - *Main motor running* dengan beban material Ampere rata – rata = 550 A (77% dari FLA)

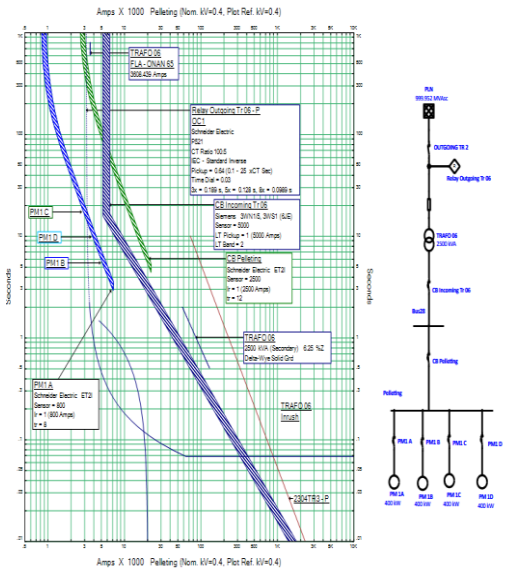
   Untuk ampere motor dengan beban material, tidak menutup kemungkinan akan naik ketika material input ditingkatkan.
4. **Kalkulasi Total Ampere**
   Dari data dan hasil kalkulasi di atas diketahui ampere total dari *main motor* pada saat *running* dengan beban material dan pada saat *starting* (*inrush current*) secara bersamaan dengan *load* lainya. Dari perhitungan ini dapat ditentukan nilai *setting* dari IDMT *overcurrent* untuk meminimalisir trip pada sistem proteksi yang tidak diinginkan seperti trip pada saat motor *starting* (*inrush current*) secara bersamaan dengan load lainya.
   - Data FLA (*Full Load Ampere*) Trafo 06 20KV/0.4KV 2500 Kva
     FLA Prim = 72.1 A (20 KV)
     FLA Sec = 3.608 A (0.4KV)
   - Kalkulasi 3 *pelleting running* tanpa beban dan 1 *pelleting starting* (*Inrush Current*)
     Atot = 285A + 285A + 285A + 2.163A = 3,018A
     Didapatkan 3.018A, berarti masih dalam kapasitas transformator dibanding FLA sec Trafo 06 (3.608 A). Oleh karena itu, saat 3 *PELLETING* berjalan tanpa beban dan 1 *PELLETING starting* (*Inrush Current*), ampere mencapai 85% dari FLA sec trafo 06.
   - Kalkulasi 3 *pelleting running* dengan beban material dan 1 *pelleting starting* (*Inrush Current*).
     $Atot$ = 550A + 550A + 550A + 2.163A = 3,813A
     Didapatkan 3,813A, artinya di atas FLA sec Trafo 06 3,608 A. Oleh karena itu, ketika 3 *PELLETING* berjalan dengan beban dan 1 *PELLETING starting* (*inrush current*), ampere mencapai 106% dari FLA sec trafo 06. Hasil 106% dari FLA sec trafo 06 itu belum ditambahkan dari *load* penujang produksi lainnya seperti motor FAN, *Belt Conveor*, *Chain Conveor*, dan lain-lain.

Evaluasi *System* Proteksi

Dari data yang terkumpul melalui observasi dan inspeksi lapangan, dilakukan simulasi dengan menggunakan software ETAP 19.0.1. Berikut adalah *settingan* awal untuk sistem proteksi area 60 (*pelletizer*):

1. ***Relay Protection* 20 KV (*Switchgear* Trafo 06)**
   Phase Time Overcurrent Setting (51)
   - *Pick up setting* = 0.9 × FLA Trafo 06
   - *Overload current* = 64 A
   - CT *ratio* = 100 : 5
   - *Thermal overload pickup* = 0.64 × CT (0.64)
   - *Time dial* = 0.03
   - *Protection Curve* = SI
2. **ACB *Incoming* Trafo 06**
   - *Long time* Ir = 1 × IN (5.000A)
   - *Long time* Ir (s) = 0.5 s
   - *Instantaneous* Isd = Ir × 2 (10.000A)
3. **ACB *Incoming PELLETING***
   - *Long time* Ir = 1 × IN (2.500A)
   - *Long time* Ir (s) = 8 s
   - *Instantaneous* Isd = Ir × 4 (10.000A)
4. **MCCB *Incoming PELLETING* 1A**
   - *Long time* Ir = 1 × IN (800A)
   - *Long time* Ir (s) = 8 s
   - *Instantaneous* Isd = Ir × 4 (3.200A)
5. **MCCB *Incoming PELLETING* 1B**
   - *Long time* Ir = 1 × IN (800A)
   - *Long time* Ir (s) = 8 s
   - *Instantaneous* Isd = Ir × 4 (3.200A)
6. **MCCB *Incoming PELLETING* 1C**
   - *Long time* Ir = 1 × IN (800A)
   - *Long time* Ir (s) = 8 s
   - *Instantaneous* Isd = Ir × 4 (3.200A)
7. **MCCB *Incoming PELLETING* 1D**
   - *Long time* Ir = 1 × IN (800A)
   - *Long time* Ir (s) = 8 s
   - *Instantaneous* Isd = Ir × 4 (3.200A)

Berikut *curve* dari hasil simulai di ETAP 19.0.1

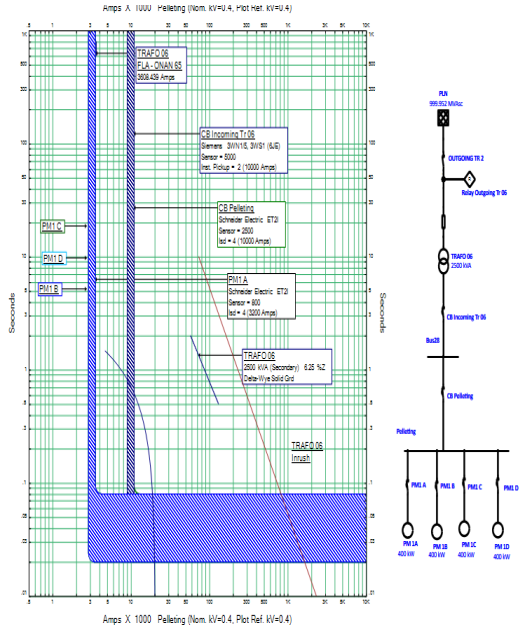


Gambar 3 *Curve Time Overcurrent Setting Coordination*

 ISSN 2987-677x

Hasil simulasi menunjukkan bahwa koordinasi antara *Relay Protection* 20 KV dan ACB *Incoming* Trafo 06 kurang optimal, menyebabkan *relay* proteksi primer lebih cepat trip saat arus sistem melebihi 90% dari FLA trafo dalam 0,03 detik. Hal ini terjadi karena perbedaan *setting—relay* proteksi primer disetel pada 64 A, sementara ACB *Incoming* di sisi sekunder memiliki *rating* 5.000 A, dengan jarak koordinasi mencapai 49%.

Selain itu, CB *Pelleting* dengan *rating* 2.500 A dan waktu trip 12 detik masih mampu menahan lonjakan arus saat tiga *pelletizer* beroperasi dengan beban dan satu unit melakukan *starting*, menghasilkan arus 106% dari FLA trafo dalam 8 detik. Namun, karena *setting* awal *relay* proteksi primer terlalu rendah, trip terjadi lebih dahulu pada sisi primer, diikuti oleh sisi sekunder, yang menghambat kestabilan sistem.



Gambar 4 *Curve Instantaneous Coordination Setting*

Berdasarkan kalkulasi *load behavior*, *inrush current* normal untuk satu motor utama adalah 2.163 A, yang menjadi acuan dalam penentuan *setting instantaneous*. ACB *Incoming* Tr 06 dan ACB *Pelletizing* memiliki Isd 10.000 A, sementara MCCB *Pellet* 1A–1D memiliki Isd 3.200 A, menunjukkan koordinasi sisi sekunder masih kurang optimal. Akibatnya, proteksi primer cenderung bekerja lebih dahulu saat terjadi gangguan atau *abnormal inrush current.*

Kalkulasi Rekomendasi *Ratting System Protection*

Dilakukan kalkulasi *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT) *relay* dengan mengacu standar rumus dari IEC 60255 dengan deskripsi yaitu menetapkan aturan dan persyaratan umum yang berlaku untuk *relay* pengukuran dan peralatan proteksi, termasuk kombinasi perangkat apapun untuk membentuk skema proteksi sistem daya seperti peralatan kontrol, pemantauan, dan antarmuka proses guna memperoleh keseragaman persyaratan dan pengujian (IEC 60255-1, 2009).

Relay Characteristic	Equation (IEC 60255)
Standard Inverse (SI)	$t = TMS \times \frac{0.14}{I_r^{0.02} - 1}$
Very Inverse (VI)	$t = TMS \times \frac{13.5}{I_r - 1}$
Extremely Inverse (EI)	$t = TMS \times \frac{80}{I_r^2 - 1}$
Long time standby earth fault	$t = TMS \times \frac{120}{I_r - 1}$

Gambar 5 Formula IDMT *Based* IEC 60255 (Direktori Listrik, 2016)

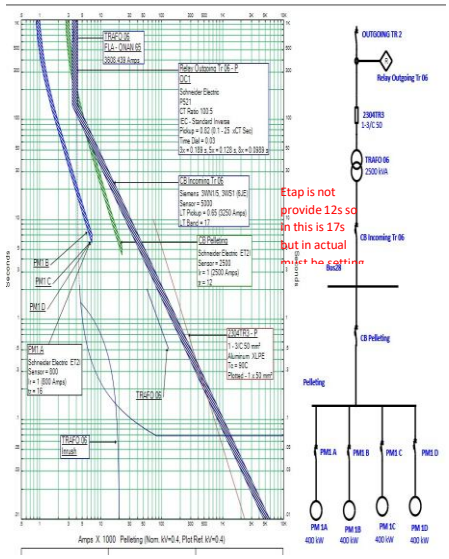
Berdasarkan data yang diperoleh, telah dilakukan perhitungan *setting rating* proteksi yang sesuai dengan *load behavior*. Oleh karena itu, berikut rekomendasi sistem proteksi untuk MCC 60 *Pelletizing* guna memastikan koordinasi yang optimal dan keandalan sistem listrik.

1. ***Relay Protection* 20 KV (*Switchgear* Trafo 06)**
   Phase Time Overcurrent Setting (51)
   - *Pick up setting* = 1.18 × FLA
   - *Overload current* = 85 A
   - CT *ratio* = 100 : 5
   - *Thermal overload pickup* = 0.85 × CT (0.85)
   - *Time dial* = 0.03
   - *Protection Curve* = SI
2. **ACB *Incoming* Trafo 06**
   - *Long time* Ir = 0.65 × IN (3.250A)
   - *Long time* Ir (s) = 12 s
   - *Instantaneous* Isd = Ir × 2 (6.500A)
3. **ACB *Incoming PELLETING***
   - *Long time* Ir = 1 × IN (2.500A)
   - *Long time* Ir (s) = 12 s
   - *Instantaneous* Isd = Ir × 2 (5000A)
4. **MCCB *Incoming PELLETING* 1A**
   - *Long time* Ir = 1 × IN (800A)
   - *Long time* Ir (s) = 16 s
   - *Instantaneous* Isd = Ir × 3 (2.400A)
5. **MCCB *Incoming PELLETING* 1B**
   - *Long time* Ir = 1 × IN (800A)
   - *Long time* Ir (s) = 16 s
   - *Instantaneous* Isd = Ir × 3 (2.400A)
6. **MCCB *Incoming PELLETING* 1C**
   - *Long time* Ir = 1 × IN (800A)
   - *Long time* Ir (s) = 16 s
   - *Instantaneous* Isd = Ir × 3 (2.400A)
7. **MCCB *Incoming PELLETING* 1D**
   - *Long time* Ir = 1 × IN (800A)
   - *Long time* Ir (s) = 16 s
   - *Instantaneous* Isd = Ir × 3 (2.400A)

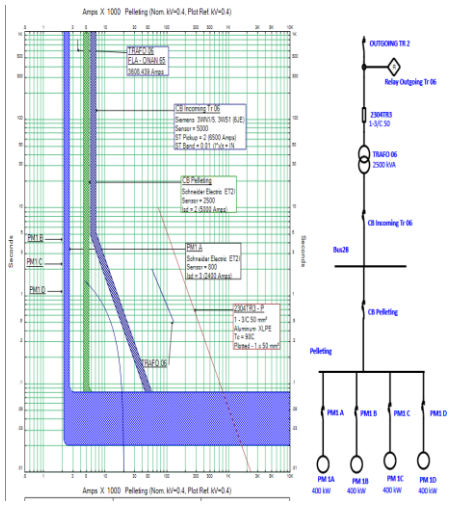
Setelah melakukan kalkulasi *ratting system protection* dilanjutkan ke proses simualsi menggunakan apliksai ETAP 19.0.1 dengan melihat apakah hasil kalkuliasi ini sudah benar – benar terkordinasi dengan baik antara *load behavior*, *system protection upstream*, dan *system protection downstream*. Hasil simulasi pada Gambar 6 menunjukkan bahwa sistem proteksi telah terkoordinasi secara hierarkis. Saat terjadi *overload*, proteksi terdekat akan trip lebih dahulu, mencegah gangguan menyebar ke sistem lainnya. Dengan *setting* yang telah disesuaikan, sistem kini mampu menahan lonjakan arus yang melewati *feeder* berdasarkan perhitungan total ampere, yaitu 3.813 A atau 106% dari FLA trafo 06 dalam skenario tiga *pelletizer*

 ISSN 2987-677x

beroperasi dengan beban material dan satu *pelletizer* melakukan *starting* (*inrush current*).



Gambar 6 *Curve Time Overcurrent Setting Coordination*



Gambar 7 *Curve Instantaneous Coordination Setting*

Hasil simulasi pada Gambar 7 menunjukkan bahwa sistem proteksi telah disesuaikan agar dapat menahan *inrush current* sebesar 2.163 A, berdasarkan perhitungan FLA (721) × 300%. Dengan rekomendasi *setting* ini, setiap perangkat proteksi mampu menangani lonjakan arus normal serta gangguan abnormal seperti *upnormal inrush current* dan *short circuit*. Saat terjadi gangguan pada salah satu *feeder* atau motor, proteksi terdekat akan bekerja lebih dahulu, mencegah gangguan menyebar ke sistem lainnya.

Hasil Kerja

Penyesuaian sistem proteksi IDMT MV & LV meningkatkan keandalan distribusi listrik. *Relay Protection* 20 KV diperkuat untuk menahan *inrush current* tanpa trip berlebihan. ACB *Incoming* Trafo 06 dioptimalkan guna meningkatkan koordinasi proteksi primer-sekunder. ACB *Incoming Pelletizing* disesuaikan agar lonjakan arus normal tidak memicu gangguan. MCCB *Main Motor Pelletizing* mendapat perpanjangan waktu trip untuk menjaga stabilitas saat motor *starting*. Pada Tabel 4, perubahan ini memastikan sistem lebih andal dan efisien.

Tabel 4 Komparasi *Setting* Proteksi Sebelum dan Sesudah

Perangkat Proteksi	Setting Awal	Setting Akhir (Hasil Resetting)
Relay Protection 20 KV	64 A, 90% FLA trafo, Time Dial 0.03s	**85 A, 118% FLA trafo, Time Dial 0.03s**
ACB Incoming Trafo 06	Ir = 5.000A, Isd = 10.000A, Time 0.5s	**Ir = 3.250A, Isd = 6.500A, Time 12s**
ACB Incoming Pelletizing	Ir = 2.500A, Isd = 10.000A, Time 8s	**Ir = 2.500A, Isd = 5.000A, Time 12s**
MCCB Main Motor Pelletizing 1A-1D	Ir = 800A, Isd = 3.200A, Time 8s	**Ir = 800A, Isd = 2.400A, Time 16s**

Kesimpulan

Optimasi sistem proteksi IDMT MV & LV di Area 60 PT. GPL meningkatkan keandalan distribusi listrik dengan penyetelan ulang berbasis perilaku beban. Evaluasi menunjukkan bahwa ketidaktepatan koordinasi proteksi awal menyebabkan trip saat *inrush current* terjadi, sehingga diperlukan perubahan *setting* proteksi. Sistem kini lebih stabil dan mampu menahan lonjakan arus tanpa mengganggu operasi produksi.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada tim listrik PT. GPL, mentor dan pembimbing atas kolaborasi dan dukungannya dalam pelaksanaan studi kasus ini. Semoga hasil evaluasi dan penyetelan ulang sistem proteksi ini dapat berkontribusi bagi keandalan distribusi listrik serta efisiensi industri.

Referensi

American National Standards Institute, & IEEE Standards Association. (2001). *IEEE recommended practice for protection and coordination of industrial and commercial power systems* (ANSI/IEEE Std. 242-2001). Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Direktori Listrik. (2016, November 3). *Standar IDMT untuk relay overcurrent (arus lebih) – IDMT (Inverse Definite Minimum Time)*. Retrieved from https://direktorilistrik.blogspot.com/2016/11/standar-idmt-untuk-relay-overcurrent.html.

International Electrotechnical Commission. (2009). *Measuring relays and protection equipment—Part 1: Common requirements* (IEC 60255-1).

IEEE Standards Association. (2016). *IEEE recommended practice for excitation system models for power system stability studies* (IEEE Std 421.5-2016).

Rio. (2025). *Overall single line diagram substation 02*, https://doi.org/GPL-MD-SLD-EPD-01.

TestGuy. (2021, July 8). *Inverse time overcurrent relays and curves explained,* https://wiki.testguy.net/t/inverse-time-overcurrent-relays-and-curves-explained/64.

ISSN 2987-677x

Studi Dampak Alih Fungsi Lahan terhadap Kinerja Infrastruktur Jalan dalam Perspektif Pembangunan Berkelanjutan di Kabupaten Gresik

Dyah Riza Suryani[1,2] Fifin Achmadi[1,2] Iswahyudi[1,2] Rasional Sitepu[1] Andrew Joewono[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[2] Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang, Pemerintah Kabupaten Gresik

✉ suryanidyahriza@gmail.com

Transformasi penggunaan lahan menjadi kawasan industri dan perumahan merupakan fenomena yang berkembang pesat di wilayah urban dan peri-urban seperti Kabupaten Gresik. Perubahan fungsi lahan ini berdampak pada meningkatnya volume lalu lintas, terutama kendaraan berat, yang mempercepat laju kerusakan jalan. Artikel ini bertujuan untuk mengkaji secara konseptual keterkaitan antara alih fungsi lahan dan kerusakan jalan dengan pendekatan prinsip pembangunan berkelanjutan (SDGs). Pendekatan analitis dilakukan berdasarkan tinjauan literatur dan konsep teknis infrastruktur jalan. Temuan utama menunjukkan pentingnya sinergi antara perencanaan tata ruang, pembangunan infrastruktur berkelanjutan, dan inovasi teknologi dalam desain jalan yang adaptif. Artikel ini merekomendasikan perlunya kebijakan lintas sektor yang mengintegrasikan aspek lingkungan, sosial, dan teknis untuk menjamin keberlanjutan infrastruktur transportasi.

Kata kunci: alih fungsi lahan, kerusakan jalan, pembangunan berkelanjutan, SDGs, Kabupaten Gresik

Pendahuluan

Pendahuluan menjelaskan latar belakang dari kegiatan atau proyek yang dikerjakan penulis. Latar belakang diuraikan dalam beberapa paragraf. Paragraf terakhir dari pendahuluan menjelaskan apa yang dikerjakan dalam proyek tersebut. Kabupaten Gresik, sebagai salah satu kawasan industri strategis di Provinsi Jawa Timur, mengalami pertumbuhan pembangunan yang sangat pesat dalam dua dekade terakhir. Perkembangan ini ditandai dengan peningkatan jumlah kawasan industri, perubahan fungsi lahan, serta pembangunan infrastruktur pendukung seperti jalan, pelabuhan, dan perumahan. Salah satu fenomena yang menonjol adalah alih fungsi lahan dari lahan pertanian atau ruang terbuka menjadi kawasan industri dan pemukiman. Proses ini, meskipun menggerakkan roda ekonomi lokal, membawa dampak terhadap lingkungan fisik dan sosial, khususnya terhadap infrastruktur jalan yang menjadi tulang punggung mobilitas masyarakat dan distribusi logistik.

Kondisi jalan di Gresik menunjukkan tingkat kerusakan yang meningkat, terutama di wilayah yang terdampak alih fungsi lahan dan aktivitas kendaraan berat. Ini menimbulkan pertanyaan mengenai sejauh mana perubahan tata guna lahan memberikan tekanan pada sistem jalan yang ada dan bagaimana kaitannya dengan prinsip pembangunan berkelanjutan. Artikel ini bertujuan untuk menganalisis dampak alih fungsi lahan terhadap kinerja infrastruktur jalan di Kabupaten Gresik, serta mengevaluasi relevansinya dalam konteks pembangunan yang berkelanjutan.

Metode

Studi ini menggunakan pendekatan konseptual-kualitatif berbasis studi pustaka, peraturan teknis jalan, dan prinsip SDGs. Analisis dilakukan melalui identifikasi hubungan antara pola alih fungsi lahan, volume lalu lintas, serta potensi kerusakan jalan. Kemudian, prinsip SDGs seperti SDG 9 (Industri, Inovasi dan Infrastruktur), SDG 11 (Kota dan Permukiman Berkelanjutan), dan SDG 13 (Penanganan Perubahan Iklim) digunakan untuk menyusun rekomendasi kebijakan.

Gambar 1 *Sustainable Development Goals*

Hasil Kerja

Dampak Alih Fungsi Lahan

Beberapa tahun terakhir, banyak terjadi fenomena alih fungsi lahan pertanian tambak/sawah di Kabupaten Gresik menjadi kawasan permukiman dan kawasan industri. Penulis meninjau pencitraan satelit di beberapa wilayah industri dan perumahan di Kabupaten Gresik. Terlihat jelas perubahan yang signifikan dari tahun ke tahun semakin meningkatnya fenomena alih fungsi lahan pertanian menjadi lahan industri dan perumahan.

Alih fungsi lahan bisa saja berdampak positif pada terciptanya lapangan kerja baru bagi masyarakat, peningkatan ekonomi masyarakat, meningkatnya investor asing, serta tersedianya berbagai pilihan perumahan dengan harga yang kompetitif dan terjangkau bagi pekerja. Akan

 ISSN 2987-677x

tetapi, selain dampak positif, terdapat pula dampak negatif yang cukup besar yang akan dirasakan oleh masyarakat baik secara langsung maupun tidak langsung, diantaranya yaitu peningkatan kendaraan berat yang menyebabkan kerusakan infrastruktur jalan dan jembatan, berkurangnya lahan sawah dan tambak (ikan, udang, dan garam), perubahan ekosistem, perubahan iklim dan cuaca, kegiatan pembangunan dan perbaikan jalan menghasilkan limbah konstruksi dan emisi karbon signifikan yang belum dikelola secara optimal.

Gambar 2 Lahan yang Dulunya Tambak Garam Mulai Direklamasi dan Beralih Fungsi Menjadi Kawasan Industri

Gambar 3 Alih Fungsi Lahan Tambak Menjadi Kawasan Industri

Berikut ini terlampir gambar citra satelit dari Google Earth yang menampakkan perubahan yang signifikan dari alih fungsi lahan dari tahun 2018 hingga tahun 2024.

Gambar 4 Citra Satelit Wilayah Gresik pada Tahun 2018

Gambar 5 Citra Satelit Wilayah Gresik pada Tahun 2020

Gambar 6 Citra Satelit Wilayah Gresik pada Tahun 2024

Permasalahan Infrastruktur jalan di Kabupaten Gresik

Beban kendaraan melebihi kapasitas desain jalan menyebabkan deformasi seperti *rutting* dan *fatigue cracking*. Sebagian besar kendaraan angkutan industri yang melintasi jalan nasional, jalan provinsi, dan jalan kabupaten di wilayah Kabupaten Gresik melebihi batas berat legal (ODOL) yang mempercepat kerusakan lapisan perkerasan jalan. Tanpa dukungan desain jalan berdaya tahan tinggi atau sistem manajemen aset jalan, biaya pemeliharaan meningkat drastis.

Kabupaten Gresik, sebagai kawasan industri di Jawa Timur, menghadapi frekuensi pemeliharaan jalan tinggi akibat beban lalu lintas berat dan kondisi iklim tropis. Pemeliharaan tradisional menyumbang emisi CO_2 dan polusi partikulat yang memengaruhi kualitas udara dan kesehatan masyarakat.

Gambar 7 Kendaraan Angkutan Industri, Tambang Batu Kapur, dan Masyarakat yang Melintas di Jalan Raya Daendels

 ISSN 2987-677x

Gambar 8 Kendaraan Angkutan Industri yang Melintas di Jalan Raya Daendels

Kurangnya Sistem Pemeliharaan yang Proktif

Pemeliharaan jalan lebih sering bersifat reaktif. Dalam hal ini, infrastruktur jalan tidak dirawat secara rutin atau tidak dilakukannya tindakan preventif dan hanya dilakukan perbaikan pada saat terjadi kerusakan parah. Ini mengakibatkan biaya rehabilitasi yang lebih mahal dan umur layanan jalan yang pendek. Berikut adalah ciri-ciri jalan yang tidak dirawat secara proaktif :

1. Tidak ada jadwal rutin inspeksi jalan;
2. Perbaikan dilakukan setelah muncul kerusakan, seperti lubang, retak, atau kerusakan struktural;
3. Minimnya penggunaan data atau teknologi untuk memantau kondisi jalan;
4. Anggaran pemeliharaan hanya fokus pada perbaikan darurat.

Gambar 9 Salah Satu Kerusakan Jalan Aspal di Jalan Raya Daendels, Manyar

Gambar 10 Salah Satu Kerusakan Jalan Aspal di Jalan Raya Daendels, Manyar

Solusi Berbasis Prinsip SDGs

1. **Desain Struktur Jalan Berbasis Beban Berat**

   Desain ulang ketebalan lapisan jalan menggunakan metode AASHTO 1993 dan *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide* (MEPDG) untuk mempertimbangkan beban lalu lintas berat jangka panjang, dan menerapkan desain perancangan jalan sesuai dengan Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 yang mengalami perubahan dari Manual Desain Perkerasan Jalan 2017.

   Rekomendasi teknis:
   1. AC-WC Polimer Modifikasi.
   2. Lapisan pondasi dengan material bergradasi terkontrol (CTB).
   3. Penambahan *geotextile*.
   4. Perbaikan subgrade.

   Berkaitan dengan SDGs Goal 9 :
   1. Target 9.1 membangun infrastruktur berkualitas, andal, dan tangguh.
   2. Target 9.4 meningkatkan infrastruktur dengan teknologi ramah lingkungan.
   3. Target 9.5 mendorong riset inovasi dan Teknologi.

2. **Inovasi Material Ramah Lingkungan**

   Penggunaan material inovatif:
   1. *RHA (Rice Husk Ash) Nano-Silica*: Meningkatkan ketahanan aspal terhadap *rutting*.
   2. *Waste Cooking Oil (WCO) Bio-Binder*: Substitusi aspal minyak bumi untuk mengurangi jejak karbon.
   3. *Fly Ash*: Sebagai bahan stabilisasi tanah dasar.
   4. *Cold Mix Asphalt* Berbahan Daur Ulang: Mengurangi kebutuhan energi pemanasan hingga 50% dibandingkan aspal panas.
   5. Geopolimer dan *Bio-Binder*: Menambah umur pelapisan jalan dan mengurangi limbah.

Gambar 11 Sekam Padi yang Diproses Menjadi Material *Nano Silica*

   Berkaitan dengan SDGs Goal 9, Goal 12, dan Goal 13:
   1. Target 9.5 mendorong riset inovasi dan teknologi.
   2. Target 12.2 mengelola sumber daya alam secara berkelanjutan.
   3. Targert 12.5 mengurangi limbah melalui pencegahan, pengurangan, daur ulang dan penggunaan kembali (*reuse, reduce, recycle*).
   4. Target 13.2 mengintegrasikan tindakan perubahan iklim ke dalam kebijakan perencanaan.

3. **Sistem *Monitoring* dan Pemeliharaan Jalan**

   Implementasi *Pavement Management System* (PMS) dengan:
   1. Teknologi *Smart Road* untuk pemantauan *real time*;
      - Pemasangan sensor deformasi pada permukaan jalan (sensor tertanam) untuk mengukur kekasaran permukaan dan getaran terintegrasi pada struktur jalan dapat mendeteksi deformasi

 ISSN 2987-677x

dini, meminimalkan perbaikan besar dengan intervensi tepat waktu.

- *Platform* Data Terpusat: Data sensor dikirim ke *cloud* untuk analisis AI, memprediksi titik kerusakan dan menjadwalkan pemeliharaan preventif.
- Penerapan *Weight-in-Motion* (WIM) di pintu masuk kawasan industri dan pelabuhan dan untuk menegakkan regulasi *overloading* atau kendaraan ODOL.

2. *Drone* untuk inspeksi berkala;
3. *Preventive maintenance* seperti *crack sealing* dan *overlay* tipis.

Gambar 12 Referensi Konsep Pemanfaatan Teknologi Wim

Berkaitan dengan SDGs Goal 9 dan Goal 11:

1. Target 9.5 mendorong riset inovasi dan teknologi.
2. Target 11.2 akses terhadap transportasi yang aman, terjangkau, dapat diakses, dan berkelanjutan.
3. Target 11.6 mengurangi dampak lingkungan.
4. Goal 11b memastikan partisipasi yang inklusif dan efektif dari berbagai lapisan masyarakat dalam perencanaan, pengelolaan, dan pengawasan kota dan pemukiman.

4. Kolaborasi Multi-Pihak

Alih fungsi lahan berdampak signifikan terhadap kerusakan jalan, terutama jika tidak dibarengi dengan penguatan sistem infrastruktur dan kebijakan lintas sektor. Dengan mengadopsi prinsip SDGs, pemerintah daerah dapat membangun infrastruktur jalan yang lebih tangguh dan berkelanjutan. Rekomendasi utama adalah:

1. Penguatan perencanaan tata ruang berbasis risiko infrastruktur: Pemerintah daerah perlu memperkuat regulasi tata ruang berbasis daya dukung infrastruktur dan melakukan revisi RTRW yang mempertimbangkan dampak beban lalu lintas terhadap jalan. Penyusunan AMDAL lalu lintas wajib dilakukan sebelum persetujuan pembangunan kawasan industri dan perumahan baru.
2. Sinergi Antar Perangkat Daerah: Dinas PUTR, Dinas Perhubungan, Dinas Lingkungan Hidup, Bappeda, Balai Besar Pelaksana Jalan Nasional Wilayah Jawa Timur - Bali dan Kepolisian Lalu Lintas perlu membentuk forum koordinatif terpadu untuk evaluasi dan pengendalian dampak alih fungsi lahan. Sistem manajemen aset jalan harus menjadi bagian dari perencanaan lintas sektor.
3. Partisipasi Masyarakat: Keterlibatan masyarakat sangat penting, terutama dalam pengawasan pembangunan kawasan, pelaporan kerusakan jalan, serta kampanye pemanfaatan infrastruktur secara bijak. Edukasi publik dan pelibatan komunitas lokal dapat memperkuat akuntabilitas pengelolaan infrastruktur jalan secara berkelanjutan.

4. Kepatuhan Implementasi SMKK

Semua kegiatan pemeliharaan wajib mematuhi Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK) berdasarkan Permen PUPR No.10/2021, termasuk penyusunan Rencana Keselamatan Konstruksi (RKK), identifikasi bahaya, mitigasi risiko, dan pelatihan keselamatan bagi pekerja.

Kesimpulan

Permasalahan infrastruktur jalan di Kabupaten Gresik merupakan kombinasi dari faktor teknis, operasional, dan lingkungan. Dengan mengadopsi pendekatan berbasis SDGs, khususnya dalam inovasi material, perencanaan lalu lintas, dan sistem pemeliharaan, pembangunan jalan di Gresik dapat menjadi lebih tangguh dan berkelanjutan. Sinergi antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat menjadi kunci utama keberhasilannya dengan strategi revitalisasi jalan dan skema pembiayaan inovatif mendukungnya.

Dinas PUTR Gresik disarankan mengembangkan *feasibility study* dan memperkuat kapasitas sumber daya manusia. Melaksanakan adopsi teknologi baru dan material ramah lingkungan selaras dengan *prinsip sustainable and development goals*. Dinas PUTR Gresik disarankan memulai *pilot project Smart Road* dan mengadopsi prinsip SMKK.

Ucapan Terima Kasih

Dalam penyelesaian artikel ini, penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ir. Andrew Joewono, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng., APEC Eng. selaku Dosen Pembimbing.
2. Ir. Rasional Sitepu, M.Eng., IPU., ASEAN Eng. selaku Dosen Pembimbing.
3. Semua pihak yang sudah yang sudah berpartisipasi dalam penulisan artikel ini.

Referensi

Agung. (2023). *Truk ODOL: Mengapa Over Dimension dan Overload menjadi ancaman serius*. Testindo. https://testindo.co.id/truk-odol-mengapa-over-dimension-dan-over-load-menjadi-ancaman-serius/.

Ahmadinia, E., Zargar, M., Karim, M. R., Abdelaziz, M., & Shafigh, P. (2011). Using waste plastic bottles as additive for stone matrix asphalt. *Materials & Design, 32*(10), 4844–4849. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.05.030.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1998). *Guide for design of pavement structures*. AASHTO.

Chen, M., Lin, J., & Wu, S. (2011). Potential of recycled waste cooking oil for use as bio-asphalt binder. *Journal of Hazardous Materials, 190*(1–3), 676–682. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.04.044.

ISSN 2987-677x

Hasan, M. R. M., & Hossain, M. M. (2019). Sustainable pavement materials: A review. *Sustainability, 11*(22), Article 6504. https://doi.org/10.3390/su11226504.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). (2020). *Spesifikasi umum bina marga tahun 2018: Revisi 2*.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). (2024). *Manual desain perkerasan jalan*.

Prakoso, D. S. (2022). *Perencanaan infrastruktur jalan berbasis tata ruang*. *Jurnal Infrastruktur Berkelanjutan*.

Pranata, H., Suprapto, E., & Wibowo, M. A. (2021). Pemanfaatan abu sekam padi sebagai bahan tambah pada campuran aspal. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, 7*(1), 15–21.

Shen, Y. (2017). Rice husk silica derived nanomaterials for sustainable applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 80*, 453–466. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.221.

United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*.

Yusoff, N. I. M., Jakarni, F. M., & Ahmad, J. (2020). Reclaimed used cooking oil as rejuvenant in modified asphalt binder. *Construction and Building Materials, 233*, Article 117237. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117237.

ISSN 2987-677x

Desain Terintegrasi Struktur Beton Bertipe Portal Segmen Lima

Lukas Ruben Makanlehi[1] Andrew Joewono[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ benruben901@gmail.com

✉ andrew_sby@ukwms.ac.id

Struktur portal beton bertulang bersusun digunakan pada bangunan rumah ibadah di wilayah rawan gempa seperti Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur. Studi ini bertujuan untuk merancang elemen struktur portal yang terdiri dari lima segmen kolom dengan tinggi dan dimensi berbeda. Analisis beban gempa dilakukan menggunakan metode statik ekuivalen maupun metode Dinamik sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019. Perencanaan elemen struktural dilakukan berdasarkan SNI 2847:2019, dengan mempertimbangkan beban gravitasi dan lateral akibat gempa. Hasil menunjukkan bahwa struktur yang dirancang mampu menahan gaya gempa yang bekerja dan memenuhi persyaratan kekuatan dan daktilitas, sehingga aman digunakan untuk fungsi rumah ibadah dengan kategori risiko tinggi. Dalam perancangan struktur bangunan menunjang SDGs no. 9, industri, inovasi, dan infrastruktur dalam pembangunan yang tangguh.

Kata kunci: portal beton bertulang, gempa, desain struktur, rumah ibadah, SNI

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan tingkat aktivitas seismik yang tinggi. Kota Kupang, yang berada di Provinsi Nusa Tenggara Timur, termasuk wilayah dengan potensi gempa yang signifikan. Bangunan rumah ibadah sebagai fasilitas publik dengan tingkat kepadatan tinggi memerlukan struktur yang mampu menahan beban gempa secara andal. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan struktur yang sesuai dengan standar ketahanan gempa yang berlaku. Struktur portal beton bertulang dipilih karena memiliki kekakuan dan kemampuan deformasi yang baik dalam menghadapi gaya lateral akibat gempa. Untuk itu kajian mendalam suatu struktur perlu dilakukan untuk mendapatkan model yang tepat untuk digunakan dalam pelaksanaan pekerjaan.

Metode

Metode analisis menggunakan metode statis ekuivalen dan metode dinamis respon spectra. Proses analisis menggunakan aplikasi SAP2000 V21 dan ETABS V.22. Konsep struktur menggunakan portal *frame* sistem rangka pemikul momen khusus.

Hasil Kerja

Data Elemen Struktur

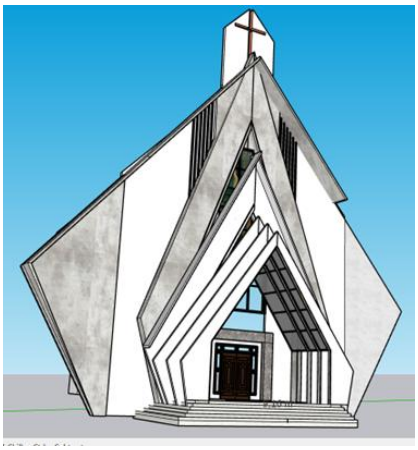
Struktur portal beton bertulang merupakan salah satu sistem struktur yang umum digunakan untuk bangunan tahan gempa karena memiliki kekakuan lateral yang baik. Berikut data struktur pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Elemen Struktur

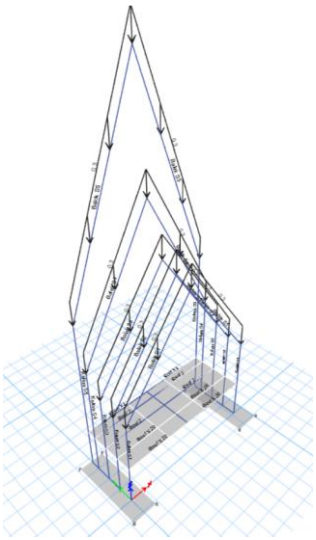
Item	Lebar (m)	Tebal (m)	Tinggi (m)
Segmen 1	0,45	0,15	10,11
Segmen 2	0,55	0,15	10,7
Segemn 3	1	0,2	11,41
Segemen 4	1,3	0,25	15,21
Segmen 5	1,6	0,3	22,56

Pembebanan

Pembebanan berupa beban mati dan beban hidup. Untuk beban angin dan gempa dihitung otomatis oleh ETABS.

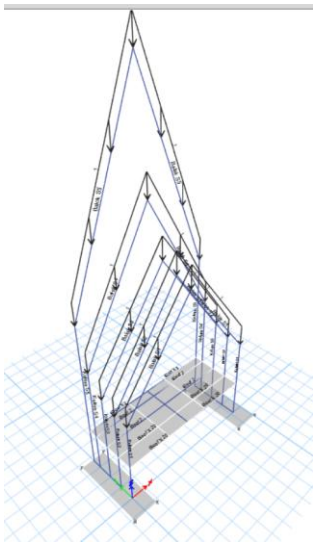


Gambar 1 Model Bangunan



Gambar 2 Skema Pembebanan Beban Mati

 ISSN 2987-677x



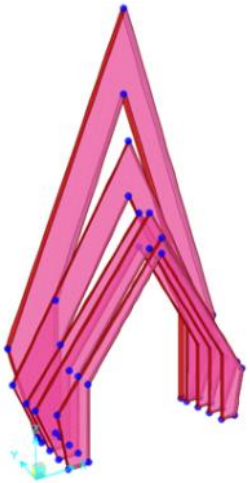
Gambar 3 Skema Pembebanan Beban Hidup

Analisa Tahap 1

Pemodelan dan pembebanan dengan aplikasi SAP2000.V21. Pemodelan *shearwall*. Hasil *output* sebagai berikut:

1. Pembiayaan yang mahal
2. Bentuk bukan dinding penuh:
   Shearwall adalah elemen struktural berupa dinding vertikal padat, berfungsi utama menahan gaya lateral. *Frame* yang kamu tampilkan terdiri dari balok dan kolom, bukan dinding solid dari ujung ke ujung.
3. Distribusi beban tidak merata:
   Dalam *shearwall*, gaya lateral didistribusikan secara merata pada bidang dinding. Pada struktur rangka (seperti pada gambar), beban ditransfer melalui batang-batang terpisah, bukan bidang kontinu.
4. Analisis struktural berbeda:
   Pemodelan *shearwall* umumnya dilakukan dengan elemen *shell* atau *membrane*, bukan elemen batang (*frame*).
5. Pemodelan pondasi dipakai pondasi raft

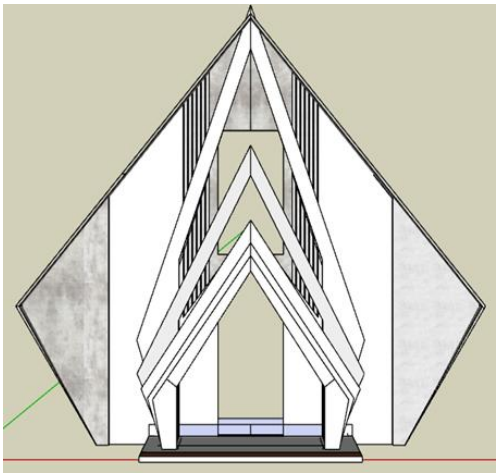
Dari kesimpulan di atas, maka desain ulang akan mempertimbangkan dua aspek, yakni aspek pembiayaan dan aspek struktural. Untuk aspek pembiayaan diperkecil elemennya dan aspek struktural menggunakan pemodelan sebagai portal *frame.*



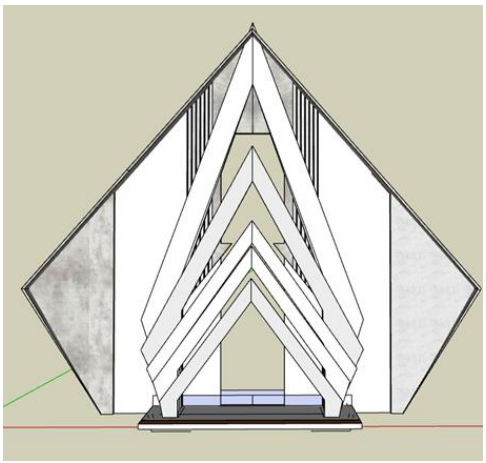
Gambar 4 Pemodelan *Shearwall*

Analisa Tahap 2

Dari kesimpulan analisa tahap 1 dilakukan *review* desain yang mengasilkan bentuk struktur sebagai berikut :

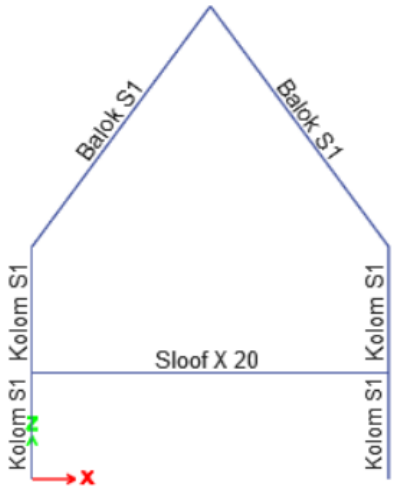


Gambar 5 Memperkecil Dimensi Setiap Elemen Struktur



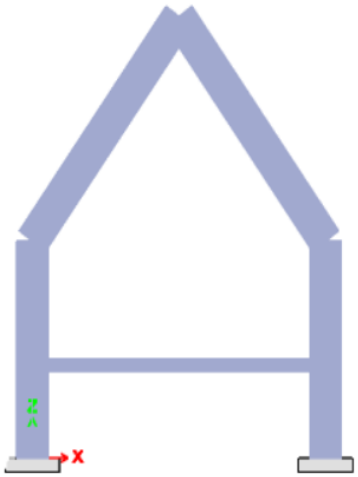
Gambar 6 Menurunkan Tinggi *Frame* pada Beberapa Segmen dengan Tetap Mengutamakan Keaslian Bentuk Arsitektural

Dari kedua tipe ini, dipilih tipe yang kedua (Gambar 6) dengan pertimbangan ekonomis dan tetap menjaga nilai arsitektur gedung. Selanjutnya, dilakukan pemodelan dan analisa menggunakan aplikasi ETABS.V.22.

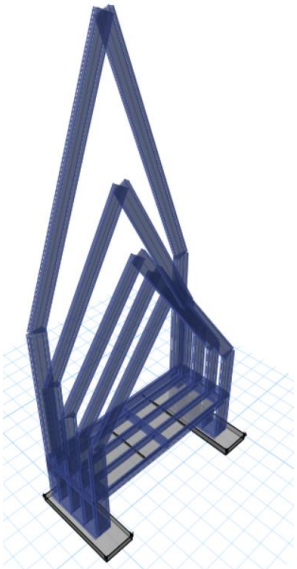


Gambar 7 Penamaan Elemen Struktur

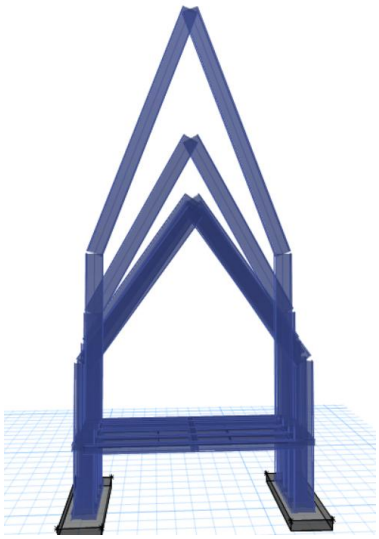
 ISSN 2987-677x



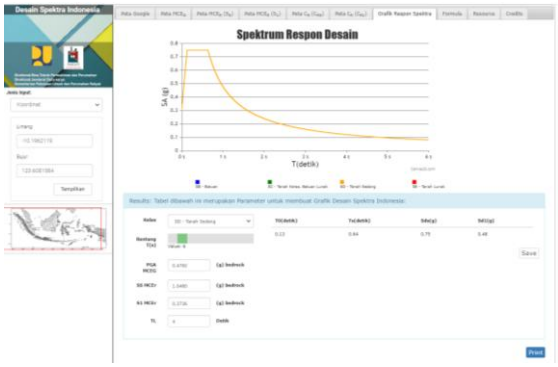
Gambar 8 Pemodelan 2D



Gambar 9 Pemodelan 3D



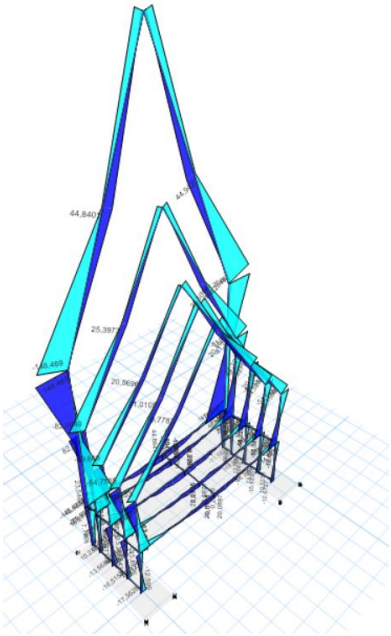
Gambar 10 Pemodelan 3D



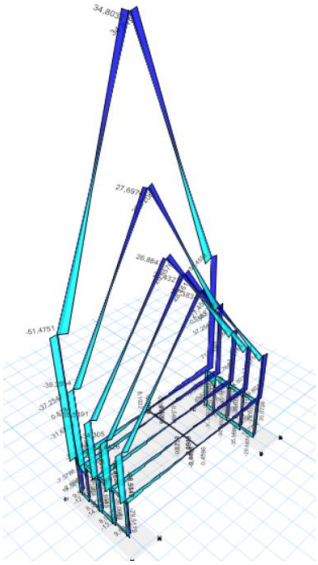
Gambar 11 Respon Spektra Kota Kupang
(Sumber Puskim PUPR 2024)

Hasil Analisa Gaya-Gaya Analisa Tahap 2

Berikut adalah hasil anlisa gaya-gaya dalam berupa momen, gaya geser dan gaya normal.

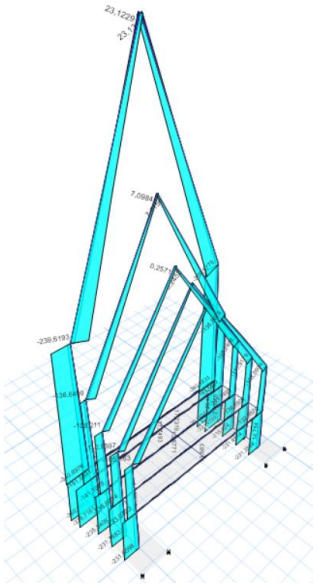


Gambar 12 Diagram Momen



Gambar 13 Diagram Geser

 ISSN 2987-677x



Gambar 14 Diagram Gaya Normal

Kontrol Periode Getar, Gaya Geser dan Story Drift

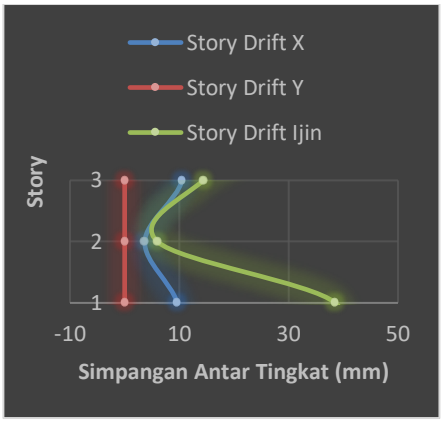
1. **Pengecekan Periode Getar Alami Struktur**
   - Koefisien Batas Periode
     Cu = 1,4
     Ct = 0,0466
     X = 0.9
   - Ketinggian Struktur
     Hn = 22,56 meter
   - Periode Minimum
     Tmin = Ct × hnx (pers 3.6 SNI)
     = 0,7698 detik
   - Periode Maksimum
     Tmax = Cu × Tmin (ps 7.8.2 SNI)
     = 1,0778 detik
   - Periode ETABS Arah-X
     Tc-x = 0,8122 detik
   - Periode ETABS Arah-Y
     Tc-y = 0,3590 detik
   - Periode Pakai Arah-X
     Tx = 0,812 detik
   - Periode Pakai Arah-Y
     Ty = 0,812 detik

2. **Pengecekan Gaya Geser**
   - Gaya Geser Dasar Statik
     Vs-x = 65,188 kN
     Vs-y = 1,4637kN
   - Gaya Geser Dasar Dinamik
     Vd-x = 272,2832 kN
     Vd-y = 4,9738 kN
   - Cek
     SFx = 417,69 % > 100% OK
     Sfy = 339,81 % > 100% OK

Tabel 2 Penegecekan *Story Drift*

height	**Perpindahan**		**Perpindahan Elastik**		***Story Drift***		***Drift Limit***	***Cek***
	δX	***δY***	***δeX***	***δeY***	***ΔX***	***ΔY***		
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
6560	16,91	0	8,034	0,000	29,458	0,000	75,69	OK
2990	8,876	0	2,392	0,000	8,771	0,000	34,50	OK
410	6,484	0	0,500	0,000	1,833	0,000	4,73	OK
360	5,984	0	0,074	0,000	0,271	0,000	4,15	OK
1760	5,91	0	-5,96	0,000	-20,86	0,000	20,31	OK
2820	11,874	0	2,554	0,000	9,365	0,000	32,54	OK
1250	9,32	0	2,862	0,000	10,494	0,000	14,42	OK
520	6,458	0	1,003	0,000	3,678	0,000	6,00	OK
3340	5,455	0	2,625	0,000	9,625	0,000	38,54	OK
2800	2,83	0	2,830	0,000	10,377	0,000	32,31	OK

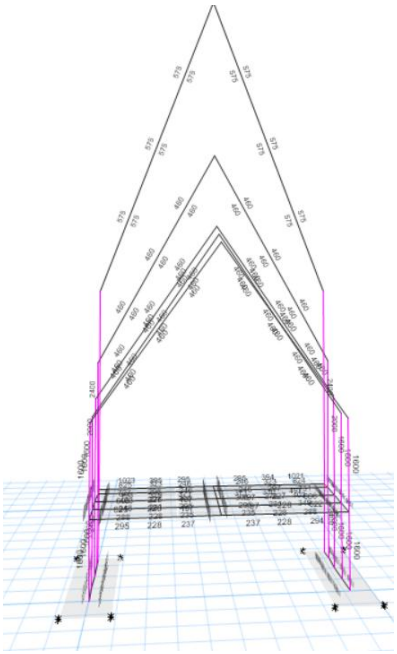
 ISSN 2987-677x



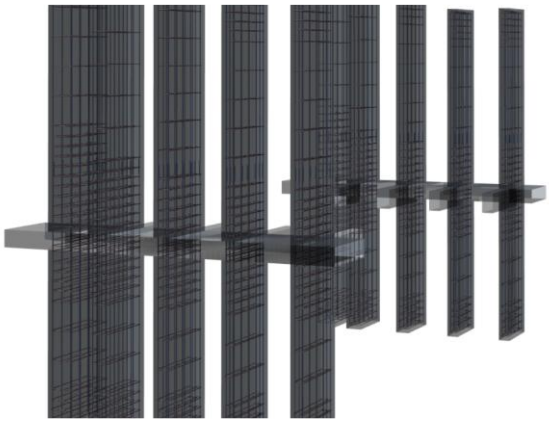
Gambar 15 *Story Drif* terhadap *Story Drift* Ijin

Penulangan Balok dan Kolom

Berikut adalah hasil *design* tulangan hasil perhitungan.

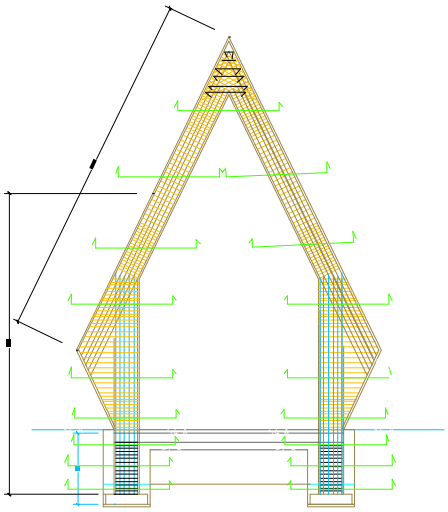


Gambar 16 *Design* Tulangan

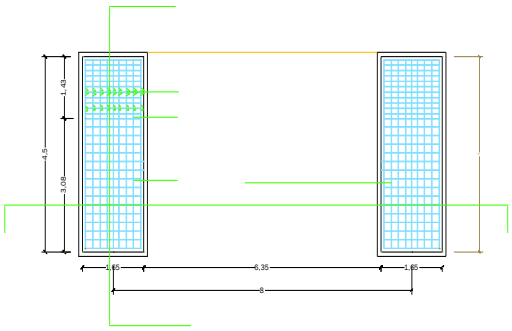


Gambar 17 3D Penulangan Kolom

Gambar 18 3D Penulangan Balok



Gambar 19 Sketsa *Shop Drawing* Penulangan Balok dan Kolom



Gambar 20 Sketsa *Shop Drawing* Penulangan Pondasi

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis struktur portal beton bertulang bersusun, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Gaya gempa yang bekerja pada bangunan rumah ibadah di Kota Kupang cukup signifikan karena lokasi berada di zona gempa tinggi dan termasuk dalam kategori risiko IV.
2. Pembagian gaya gempa ke tiap segmen struktur berdasarkan tinggi dan berat telah dilakukan sesuai metode distribusi statik ekuivalen dan menggunakan *software* ETABS V.22.
3. Hasil perencanaan menunjukkan bahwa setiap segmen struktur mampu menahan beban momen dan geser sesuai kapasitas rencana.
4. Struktur portal beton bertulang bersusun dinyatakan memenuhi kriteria kekuatan dan keamanan

 ISSN 2987-677x

berdasarkan SNI yang berlaku, sehingga layak digunakan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Tuhan Yesus atas tuntunan-Nya artikel ini bisa terselesaikan dengan baik. Penulis juga berterima kasih kepada dosen dan civitas akademika UKWMS, terkhusnya kepada :

1. Ir. Andrew Joewono, S.T., M.T., IPU.,ASEAN.Eng., APEC Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang dengan tulus dan rendah hati membimbing dan memberikan motivasi bagi penulis tidak hanya dalam penulisan artikel ini tetapi juga dalam perkuliahan.
2. Dr. Ir. Ivan Gunawan, S.T., M.MT., CSCM., IPM., ASEAN Eng. selaku Kaprodi Teknik Sipil yang dengan rendah hati memberikan motivasi semangat dan selalu menyediakan waktu kapanpun untuk berkonsultasi memberikan saran-saran yang baik.
3. Kepada civitas akademika UKWMS semoga kedepannya dapat menghasilkan lulusan dengan karya-karya yang spektakuler dan berguna bagi Masyarakat

Referensi

Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan dan non-bangunan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019: Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020: Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Standards Australia. (2002). *HB 212-2002: Design wind speeds for the Asia–Pacific region*. Australia: Standards Australia.

ISSN 2987-677x

Manajemen Konstruksi Peningkatan Sumur Air Tanah untuk Kekeringan di Pulau Flores

Yerison Dimu Ratu[1] Andrew Joewono [1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ jeridimu86@gmail.com
✉ andrew_sby@ukwms.ac.id

Pekerjaan peningkatan sumur air tanah untuk kekeringan di Pulau Flores berorientasi untuk mengurangi dampak kekeringan yang terjadi di Desa Golo Lijun, Kecamatan Elar, Kabupaten Manggarai Timur, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Pekerjaan ini terlaksana berdasarkan DIPA nomor: SP DIPA-033.06.1.400712/2024, Tanggal 24 November 2023, Satker Air Tanah dan Air Baku, Balai Besar Wilayah Sungai Nusa Tenggara II. Pekerjaan meliputi pembangunan reservoar, pemasangan pompa, pembangunan rumah pompa, pagar rumah pompa, bak hidran umum, tugu kran, dan pekerjaan perpipaan. Dengan terlaksananya pekerjaan ini diharapkan dapat membantu masyarakat setempat dalam mengatasi kesulitan pemenuhan kebutuhan air bersih. Harapan ke depan, agar dapat dilaksanakan perluasan areal layanan sehingga dapat menjangkau seluruh masyarakat yang ada Desa Golo Lijun ataupun diadakan kegiatan serupa di titik yang masih dalam satu lingkup administrasi desa. Dengan penerapan manajemen konstruksi yang baik (meliputi: perencanaan, pengendalian kualitas dan waktu, serta koordinasi yang efektif antar pihak terkait), maka dapat dipastikan pekerjaan selesai sesuai jadwal dan standar yang telah ditetapkan. Kegiatan ini mendukung SDG's no.6, yaitu akses air bersih dan sanitasi yang layak

Kata kunci: kekeringan, sumur air tanah, Manggarai Timur

Pendahuluan

Air bersih merupakan kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia. Karena itu kriteria terpenuhinya kebutuhan air bersih bagi suatu masyarakat tertentu menjadi suatu acuan dalam menentukan apakah masyarakat di suatu lokasi atau desa sudah cukup sejahtera atau belum.

Propinsi Nusa Tenggara Timur mempunyai kondisi alam yang cukup sulit untuk memenuhi potensi sumber daya air. Propinsi Nusa Tenggara Timur dikenal sebagai daerah yang kering, curah hujan terkecil dibandingkan dengan seluruh daerah di Indonesia, kondisi tanah kering dan berbatu-batu, serta di sebagian wilayah bertanah kapur. Karena kondisi daerah yang penuh dengan keterbatasan daya dukung alam, terutama sumber daya air, maka masyarakat banyak yang masih tertinggal perkembangan kesejahteraanya dalam berbagai sektor kehidupan. Tidak terpenuhinya kebutuhan air bersih masyarakat menjadi semakin parah pada musim-musim kemarau. Bila terjadi kemarau panjang, maka pasti akan merupakan bencana besar bagi propinsi seperti NTT ini. Kondisi ini semakin diperparah dengan adanya perubahan iklim global yang luar biasa ekstrim mengakibatkan meningkatnya suhu/temperatur bumi serta berubahnya pola curah hujan di beberapa wilayah di Indonesia termasuk Nusa tenggara Timur terkhususnya Pulau Flores.

Pulau Flores merupakan kawasan potensial untuk dikembangkan sebagai lahan pertanian dan peternakan. Kawasan ini memiliki penyebaran penduduk di 9 (sembilan) kabupaten. Penduduk di Pulau Flores pada umumnya bekerja sebagai petani/peternak ± 80% dan sisanya ± 20% penduduk bekerja sebagai pegawai negeri maupun swasta.

Akibat perubahan iklim dan tekanan udara yang pada akhirnya mengubah pola iklim serta ketersediaan sumber air yang menyebabkan kekeringan di beberapa kawasan di Pulau Flores, terutama di Kabupaten Manggarai Timur. Hal ini mengakibatkan lahan pertanian/perkebunan penduduk tidak bisa berproduksi.

Dengan kondisi curah hujan yang sangat kurang, maka air tanah merupakan salah satu alternatif dalam menunjang tersedia air untuk kebutuhan air baku (air bersih).

Berdasarkan DIPA Satuan Kerja NVT Air Tanah dan Air Baku NT II Provinsi NTT Tahun Anggaran 2024, Nomor: SP DIPA- 033.06.1.400712/2024, Tanggal 24 November 2023, untuk dilakukan pekerjaan Peningkatan Sumur Air Tanah untuk Kekeringan di Pulau Flores. Pekerjaan ini berlokasi di Desa Golo Lijun, Kecamatan Elar, Kabupaten Manggarai Timur.

Metode

Pekerjaan peningkatan sumur air tanah untuk kekeringan di Pulau Flores ini terbatas pada pekerjaan bangunan sipil penunjang selain sumur bor yang sebelumnya telah dikerjakan (sumur *existing*), meliputi pekerjaan pemasangan pompa, pembangunan reservoir, rumah pompa, pagar rumah pompa, bak hidrant umum (HU), bak kebun, tugu kran, dan jaringan pipa.

Tabel 1 Spesifikasi Teknis

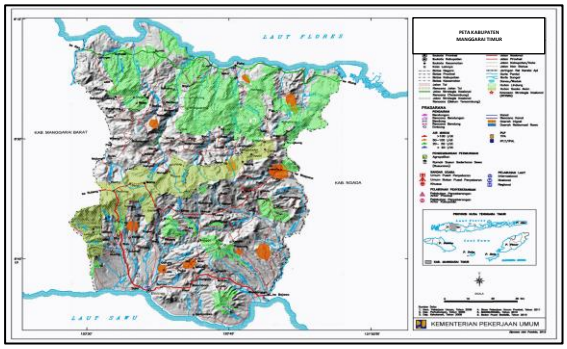
No.	Uraian Pekerjaan	Spesifikasi
1	Pemasangan Pompa	Pompa *Submersible* Kapasitas 3 ltr/Dtk - Head 100 m, Pipa Gip Diameter 2 inchi
2	Pondasi Menerus	Pasangan Batu Kali 1 SP : 3PP
3	Dinding Bak	Beton Bertulang dengan Mutu Beton K-200

 ISSN 2987-677x

4	Struktur Sloof, Kolom, Ringbalk	Beton Bertulang dengan Mutu Beton K-200
5	Pemasangan Pipa	Pipa HDPE PN 16 Ø 2 inchi, 1.5 inchi dan 1.0 inchi.

Kondisi Geografi

Secara astronomis Manggarai Timur terletak antara 08°.14'- 09°.00 Lintang Selatan dan 120°.20' - 120°.55'° Bujur Timur. Berdasarkan posisi geografisnya, Kabupaten Manggarai Timur memiliki batas-batas: Utara – Laut Flores, Selatan – Laut Sawu, Timur – Kabupaten Ngada, Barat – Kabupaten Manggarai. Manggarai Timur terdiri dari 12 kecamatan yang semuanya terletak di Pulau Flores, yaitu Borong, Rana Mese, Kota Komba, Kota Komba Utara, Elar, Elar Selatan, Sambi Rampas, Congkar, Lamba Leda Selatan, Lamba Leda Timur, Lamba Leda, dan Lamba Leda Utara. Luas wilayah daratan 2.391,452 km2 tersebar pada 12 kecamatan.



Gambar 1 Peta Admininstrasi Kabupaten Manggarai Timur

Hasil Pelaksanaan Pekerjaan

1. Pemasangan Pompa dan Pumping Test

Karena merupakan sumur *existing*, maka sebelum digunakan perlu dilakukan uji pemompaan ulang guna mengecek debit air yang akan melayani kebutuhan masyarakat. Setelah proses uji pemompaan dilakukan dan diperoleh debit air yang tetap dari sumur, dilanjutkan dengan pemasangan pompa. Pompa yang dipakai merupakan pompa *submersible* dengan kapasitas 3 ltr/Dtk - Head 100 m. Pompa dipasang pada kedalaman 68 meter sesuai dengan hasil debit konstan dari uji pemompaan.

Tabel 2 Data Teknis Sumur

Kedalaman (m)	SWL/PWL (m)	Debit (ltr/Dtk)	Nomor Sumur
72	59/66	4.5	GEAB-35

2. Pekerjaan Reservoir

Reservoir merupakan bangunan penampung air minum sebelum dilakukan pendistribusian ke masyarakat, yang dapat ditempatkan di bawah permukaan tanah atau di atas permukaan tanah dalam bentuk menara atau tower. Bangunan reservoir umumnya diletakan di dekat jaringan distribusi pada ketinggian yang cukup untuk mengalirkan air secara baik dan merata ke seluruh daerah konsumen.

Bak reservoir yang dibangun dalam pekerjaan ini mempunyai kapasitas 50 m^3 dengan ukuran panjang 5 m dan lebar 4 m, berjarak 200 m dari lokasi sumur. Bak reservoir menggunakan pondasi menerus pasangan batu kali 1 PC : 3 Psr. Dinding bak menggunakan beton bertulang dengan mutu beton K-200.

Tabel 3. Kelengkapan Bak Reservoir

No.	Kelengkapan	Volume	Sat.
1	Penutup/Manhole (60 x 60 cm)	2	Unit
2	Pipa Inlet (Ø 2")	1	Unit
3	Pipa Outlet (Ø 1.5")	1	Unit
4	Pipa Udara/Ventilasi (Ø 1.5")	2	Unit
5	Pipa Peluap (Ø 1.5")	1	Unit
6	Pipa Penguras (Ø 1.5")	1	Unit
7	Stop Kran 2"	1	Unit
8	Kran 0.5"	3	Unit
9	Tangga besi	1	Unit

Gambar 2 Pekerjaan Galian Pondasi Bak Reservoir

Gambar 3 Bak Reservoir

3. Pekerjaan Rumah Pompa

Rumah pompa berukuran 2.5 m x 2.5 m, dengan konstruksi pondasi menerus pasangan batu, dinding batako dan penutup atap dak beton mutu K-100. Rumah pompa berdekatan dengan titik sumur bor dan berfungsi untuk melindungi panel kontrol pompa.

Gambar 4 Rumah Pompa

 ISSN 2987-677x

4. Pekerjaan Pagar Rumah Pompa

Pagar rumah pompa berfungsi sebagai pengaman bagi rumah pompa dan sumur. Pagar berukuran 10 m x 10 m dengan tinggi 1.5 m, dilengkapi kawat duri di atasnya, serta pintu berukuran 3m sebagai akses keluar masuk ke dalam pagar pengaman. Konstruksi terdiri dari pasangan batu, sloof, kolom, dan ring balk ukuran 20/20, dan dinding batako.

Gambar 5 Pagar Rumah Pompa

5. Pekerjaan Bak Hidrant Umum (HU)

Hidrant umum (HU) merupakan cara pelayanan air minum yang transportasi airnya dilakukan dengan sistem perpipaan, sedangkan pendistribusiannya kepada masyarakat melalui tangki atau bak yang dibangun dengan ukuran tertentu. Sedangkan, air minum berasal dari *reservoar* terdekat atau *tapping* dari sumber air lainnya dan dipakai oleh masyarakat secara komunal di sekitar lokasi. Dalam pekerjaan ini ukuran bak HU yang dibangun memiliki panjang 1.5 m, lebar 1.5 m, dan tinggi 1.8 m dengan kapasitas 2.25 m^3, konstruksinya terdiri dari pondasi batu kali, untuk dinding menggunakan beton dengan mutu K-200. Sekeliling bak diberi selasar rabat untuk menunjang aktivitas pengambilan air.

Tabel 4. Kelengkapan Bak HU

No.	Kelengkapan	Volume	Satuan
1	Penutup/Manhole (60 x 60 cm)	1	Unit
2	Pipa Inlet (Ø1.5”)	1	Unit
3	Pipa Outlet (Ø1.5”)	1	Unit
4	Pipa Peluap (Ø 1.5”)	1	Unit
5	Pipa Udara/Ventilasi (Ø1.5”)	1	Unit
6	Pipa Penguras (Ø1.5”)	1	Unit
7	Stop Kran 1.5”	1	Unit
8	Kran 0.5”	3	Unit

6. Pekerjaan Tugu Kran

Tugu kran dalam pekerjaan ini pada dasarnya hampir sama dengan sambungan rumah (SR), bedanya hanya di konstruksi dan tujuan pelayanan. Sambungan rumah lebih khusus untuk melayani 1 rumah, sedangkan tugu kran bisa melayani 2 atau lebih rumah yang posisinya berdekatan. Untuk konstruksi, tugu kran diberi pasangan batu dengan ukuran 50 x 50 cm untuk bagian bawah dan 30 x 30 cm untuk atasnya. Tugu kran juga diberi lantai dengan ukuran 1.5 x 1.5 m.

Gambar 6 Tugu Kran

7. Pekerjaan Pemasangan Pipa

Pipa yang digunakan dalam pekerjaan ini terdiri atas 2 jenis, yaitu pipa Gip Ø 2” yang dipasang dari sumur ke reservoir dan untuk pipa distribusi menggunakan pipa HDPE PN 16 berukuran 1.5 inchi dan 1.0 inchi. Galian tanah untuk pemasangan pipa merupakan galian tanah biasa dengan kedalaman 30 cm dan lebar 20 cm. Sebelum pipa diletakkan, dasar galian harus diberi alas berupa lapisan pasir dengan ketebalan 10 cm. Setelah pipa diletakkan kemudian diurug atau ditimbun kembali.

Kendala atau Permasalahan yang Terjadi serta Tindak Lanjut yang Dilakukan

Beberapa kendala yang terjadi selama proses pelaksanaan pekerjaan sebagai berikut:

1. Keterbatasan material seperti pipa dan pompa di Kabupaten Manggarai Timur sehingga harus didatangkan dari luar yang membutuhkan waktu yang cukup panjang.
2. Kebiasaan atau tradisi masyarakat setempat yang tidak memperbolehkan melakukan aktivitas pekerjaan bila bertepatan dengan acara-acara adat.
3. Masalah sosial seperti permintaan tambahan dari masyarakat.
4. Kepemilikan lahan yang tidak terfokus pada satu orang.

Tindak lanjut yang untuk mengatasi permasalahan yang terjadi:

1. Membangun komunikasi yang lebih intens dengan penyedia material agar proses pengiriman material yang dibutuhkan bisa lebih diprioritaskan.
2. Menambah tenaga kerja dan jam kerja (lembur) untuk mengejar target pekerjaan yang tertunda.
3. Memberikan penjelasan yang lebih detail terkait tujuan pekerjaan dan alokasi anggaran yang terbatas untuk dapat mengcover permintaaan tambahan masyarakat.
4. Berkomunikasi secara baik dengan pemilik lahan dan memberikan arahan agar pekerjaan tetap berjalan sambil tetap melaksanakan proses pembebasan lahan.

Kesimpulan

Pekerjaan Peningkatan sumur air tanah untuk kekeringan di Pulau Flores Provinsi, Nusa Tenggara Timur berorientasi untuk mengurangi dampak kekeringan yang terjadi terkhususnya Masyarakat di Desa Golo Lijun, Kecamatan Elar Kabupaten Manggarai Timur. Pekerjaan ini belum sepenuhnya menyelesaikan masalah kekeringan,

 ISSN 2987-677x

dalam hal ini masalah pemenuhan kebutuhan akan air bersih di daerah tersebut karena alokasi anggaran yang tidak memadai. Dengan demikian ke depan, diharapkan agar dapat dilakukan pekerjaan serupa atau memperluas jaringan yang sudah ada agar bisa melayani seluruh masyarakat yang ada di Desa Golo Lijun, Kecamatan Elar, Kabupaten Manggarai Timur, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Selama proses pekerjaan berlangsung terdapat beberapa kendala dan permasalahan yang dihadapi yang berakibat terhambatnya proses penyelesaian pekerjaan. Namun dengan penerapan manajemen konstruksi yang baik dan tepat, pekerjaan dapat terselesaikan dengan tepat waktu sesuai yang direncanakan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya ditujukan kepada kegiatan Pendayagunaan Air Tanah dan Pengembangan Air Baku II, Satuan Kerja Air Tanah dan Air Baku, Balai Besar Wilayah Sungai Nusa Tenggara II, dosen pembimbing UKWMS Surabaya, dan semua pihak yang turut membantu sehingga penulisan artikel ini dapat terselesaikan, yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu.

Referensi

Asrasal, A., Abdu, M., Musrifin, M., & Hafsyah, I. A. (2022). Tumada Peak drinking water supply system plan (SPAM) Tumada Village, Kapontori District, Buton Regency. *Room of Civil Society Development, 1*(1), 91–95. https://rcsdevelopment.org/index.php/rcsd/article/view/24.

Badan Pusat Statistik Kabupaten Manggarai Timur. (2024). *Kabupaten Manggarai Timur dalam angka*. Borong: BPS Manggarai Timur.

Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2019). *SNI 2847-2019: Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Fauzan, S. N., & Kilbaren, P. S. (2017). Penyediaan air aliran gravitasi. *Jurnal Sipil Statik, 5*(1), 31–40.

Pasa, I. M. 2020. Analisis tingkat pelayanan reservoir PDAM Tirtanadi Cabang Padangsidimpuan. Skripsi tidak diterbitkan. Medan: Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.

Pemerintah Daerah Kabupaten Manggarai Timur. (2024). *Spesifikasi teknis: Peningkatan sumur air tanah untuk kekeringan di Pulau Flores, Kabupaten Manggarai Timur, Provinsi Nusa Tenggara Timur*. Borong: Pemerintah Daerah Kabupaten Manggarai Timur.

Pemerintah Daerah Kabupaten Manggarai Timur. (2024). *Laporan mingguan konsultan individu: Peningkatan sumur air tanah untuk kekeringan di Pulau Flores, Kabupaten Manggarai Timur, Provinsi Nusa Tenggara Timur*. Borong: Pemerintah Daerah Kabupaten Manggarai Timur.

Pemerintah Daerah Kabupaten Manggarai Timur. (2024). *Laporan bulanan konsultan individu: Peningkatan sumur air tanah untuk kekeringan di Pulau Flores, Kabupaten Manggarai Timur, Provinsi Nusa Tenggara Timur*. Borong: Pemerintah Daerah Kabupaten Manggarai Timur.

Pemerintah Daerah Kabupaten Manggarai Timur. (2024). *Laporan akhir konsultan individu: Peningkatan sumur air tanah untuk kekeringan di Pulau Flores, Kabupaten Manggarai Timur, Provinsi Nusa Tenggara Timur*. Borong: Pemerintah Daerah Kabupaten Manggarai Timur.

Pemerintah Republik Indonesia. (2005). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 294/Prt/M/2005 tentang Badan Pendukung Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.

Pemerintah Republik Indonesia. (2009). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 01/Prt/M/2009 tentang Penyelenggaraan Pengembangan SPAM Bukan Jaringan Perpipaan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.

ISSN 2987-677x

Pengolahan Sampah *Landfill Mining* di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ngipik, Kecamatan Manyar, Gresik

Mochamad Usman[1] Tri Handayani Setyarini[2] Ita Nuryani[3] Adriana Anteng Anggorowati[1]

[1,2,3] Program Studi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[1] Dinas Lingkungan Hidup, Pemerintah Kabupaten Gresik

[2] Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang, Pemerintah Kabupaten Gresik

[3] Dinas Kesehatan, Pemerintah Kabupaten Gresik

✉ mochamad.usman2013@gmail.com

TPA Ngipik Kabupaten Gresik telah berdiri selama 22 tahun sejak tahun 2003. TPA Ngipik terletak di Kelurahan Ngipik Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik. Luas TPA Ngipik di Kabupaten Gresik adalah 9,3 hektare (ha). Luas ini terdiri dari 7,5 ha untuk lahan *landfill* dan 1,8 ha untuk sarana prasarana. Hasil studi ini menunjukkan kuantitas berat material gali yang diolah di TPA Ngipik sampling adalah 300 ton dengan kedalaman 1 - 2 meter pada zona pasif 2. Komposisi material gali di TPA Ngipik terdiri atas, material seperti tanah 10-30 mm (38,47%), plastik (23,55%), material kayu (16,52%), batu (7,15%), kain (3,01%), karet (2,58%), diapers (2,46%), sisa kebun (2,93%), kaca (1,41%), *styrofoam* (0,94%), logam (1,5%), B3 (0,02%), sisa makanan (0,12%), dan kertas (0,02%). Kadar air material gali sebesar 43%.

Kata kunci: *landfill mining*, pengolahan, sampah, TPA Ngipi.

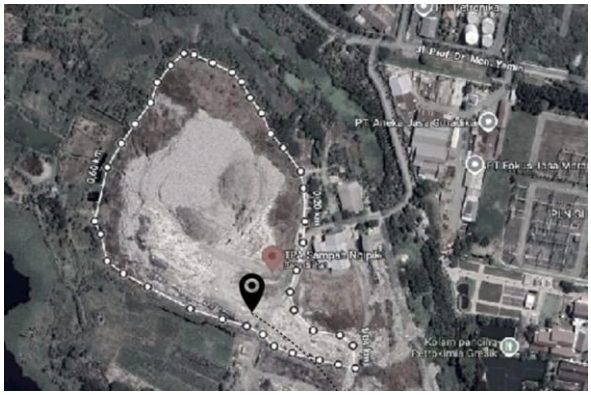
Pendahuluan

Dalam penelitian ini, yang berfokus pada pengolahan sampah *landfill mining* sangat sejalan dengan program *Sustainable Development Goals* (SDG's). Dari 17 (tujuh belas) tujuan utama SDG's, penelitian ini mendukung tujuan nomor 15 karena ekosistem darat menjadi tujuan tercapainya SDG's. Mengurangi tumpukan sampah merupakan salah satu upaya melindungi, memulihkan degradasi lahan, meningkatkan penggunaan ekosistem bumi secara berkelanjutan, serta menjaga biodiversitas dan keanekaragaman hayati [1].

Penduduk Kabupaten Gresik pada tahun 2023 berjumlah sebanyak 1.304.203 jiwa yang tersebar di 18 kecamatan [2]. Peningkatan jumlah penduduk berbanding lurus dengan peningkatan timbulan sampah yang dihasilkan. Data KLH menunjukkan pada tahun 2023, Kabupaten Gresik menghasilkan 144.238,33 ton sampah pertahun. Sedangkan pada tahun 2024, Kabupaten Gresik menghasilkan 144.787,43 ton sampah pertahun. Dengan peningkatan timbulan sampah yang terjadi, maka diperlukan strategi minimisasi sampah untuk mengurangi timbulan sampah.

Kegiatan minimisasi sampah yang dapat dilakukan adalah mengomposkan sampah dan memanfaat kembali sampah. Pelayanan persampahan merupakan kegiatan pengangkutan sampah dari TPS/TPS 3R ke TPA. Sampah dari permukiman yang dikelola oleh kelurahan atau desa dibawa ke kontainer di TPS/TPS 3R, lalu oleh armada DLH dibawa ke Tempat Pemrosesan Akhir. TPA merupakan tempat dimana sampah mencapai tahap terakhir dalam pengelolaannya. Sampah yang ditimbun di TPA akan mengalami dekomposisi [3].

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) adalah tempat akhir pengelolaan sampah, pemilahan, daur ulang, dan pengomposan sampah organik, kemudian dibuang secara aman bagi lingkungan hidup. *Landfill Mining* TPA adalah proses penggalian dan pemrosesan limbah padat yang sebelumnya telah ditimbun di TPA, biasanya dari *zone* pasif di TPA. Pada prinsipnya, *landfill mining* mengacu pada penggalian, pengolahan, perawatan, dan pemulihan bahan-bahan yang ditimbun, yang berada di tempat pembuangan sampah informal maupun terstruktur [4]. TPA Ngipik Kabupaten Gresik telah berdiri selama 22 tahun sejak tahun 2003. TPA Ngipik terletak di Kelurahan Ngipik Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik. Luas TPA Ngipik di Kabupaten Gresik adalah 9,3 hektare (ha). Luas ini terdiri dari 7,5 ha untuk lahan *landfill* yang terdiri dari 4 zonasi (2 *zone* kondisi pasif dan 2 *zone* aktif) dan 1,8 ha untuk sarana dan prasarana.



Gambar 1 TPA Ngipik-Gresik

Dengan luas 7,5 ha untuk lahan *landfill* dan ketinggian sampah mencapai 15 m, total volume mencapai lebih dari 1 juta ton. Komposisi sampah adalah penggambaran dari tiap komponen yang terdapat pada sampah. Komposisi biasanya dinyatakan dalam persen berat. Komposisi sampah merupakan komponen fisik sampah, yang terdiri dari sisa makanan, kertas dan karton, kayu, kain tekstil, karet dan kulit, plastik, logam besi-non besi, kaca, dan lain-lain (misalnya tanah, pasir, batu, dan keramik) [5]. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi kuantitas, komposisi

 ISSN 2987-677x

dan karakteristik material gali, serta tahap-tahap proses pengolahan material gali di TPA Ngipik.

Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian di TPA Ngipik Kabupaten Gresik, yaitu data primer (kuantitas komposisi dan karakteristik material gali, tahap-tahap, dan jenis *output* yang dihasilkan), data sekunder (data karakteristik material gali), serta hasil pengolahan data (identifikasi kuantitas, komposisi, dan karakteristik sampah hasil *landfill mining* yang diolah di TPA Ngipik Kabupaten Gresik).

Gambar 2 *Sample Landfill Mining* TPA Ngipik

Sample TPA Ngipik pada tanggal 28 Maret 2025, dengan berat 300 kg dan kedalaman 1-2 meter.

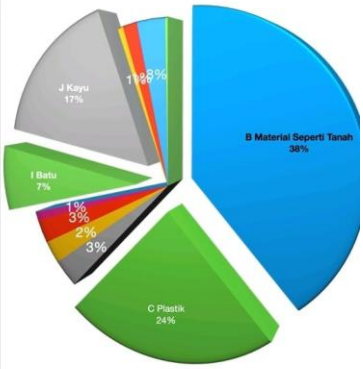
Hasil Kerja dan Pembahasan

Pengumpulan data berat material gali didapatkan dari data jembatan timbang di TPA Ngipik. Sedangkan, data volume material gali didapatkan dengan mengukur volume material gali di kendaraan pengangkut. Komposisi material hasil gali *landfill mining* sebagai berikut:

Gambar 3 Komposisi Material *Landfill Mining* TPA Ngipik

Berdasarkan Gambar 3, jika ditampilkan secara grafis, maka komposisi *landfill mining* dapat dilihat dalam Gambar 4.

	Sample*	**300,00**	**kg**
B	Material Seperti Tanah 10 -30 mm	98,52	kg
C	Plastik	60,30	kg
D	*Kain*	7,80	kg
E	Pampers	6,30	kg
F	*karet*	6,60	kg
G	Styrofoam	2,40	kg
H	*Kertas*	0,06	kg
I	Batu	18,30	kg
J	*Kayu*	42,30	kg
K	*Logam*	1,50	kg
L	Kaca	3,60	kg
M	*Sisa makanan*	0,30	kg
N	*Sisa Kebun*	7,50	kg
O	B3	0,60	kg
		256,08	Kg



Gambar 4 Komposisi *Landfill Mining* TPA Ngipik

Komposisi sampah terbesar terdiri dari material seperti tanah berukuran 10–30 mm yang mencapai 38%. Komposisi terbanyak kedua adalah plastik sebesar 24%, diikuti oleh kayu sebanyak 14% di posisi ketiga. Komposisi terbanyak keempat adalah batu sebesar 7%. Sementara itu, jenis sampah lainnya terdiri dari kain (3%), sisa kebun (3%), karet (3%), popok sekali pakai/diapers (2%), kaca (1%), *styrofoam* (1%), logam (1%), limbah B3 (0,02%), sisa makanan (0,12%), dan kertas (0,02%).

Material hasil galian berukuran 10–30 mm merupakan material menyerupai tanah yang terdiri dari sampah organik *biodegradable*, tanah, penutup harian, serta material kecil lainnya yang sulit dipisahkan. Komposisi material lainnya mencakup batu. Sampah B3 yang ditemukan antara lain batu baterai dan jarum suntik. Sementara itu, sampah logam yang teridentifikasi meliputi tutup botol berbahan logam, kaleng minuman, dan logam lainnya. Sisa kebun yang belum terdekomposisi umumnya berupa batok kelapa. Adapun sisa makanan yang belum terurai mencakup tulang dan cangkang kerang. Batok kelapa, tulang ayam, dan cangkang kerang merupakan sampah organik yang sulit terdekomposisi serta mengandung senyawa kimia tertentu yang dapat mengganggu proses dekomposisi alami.

Menurut data Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Gresik tahun 2024 [5], komposisi sampah Kabupaten Gresik didominasi oleh sampah yang organik mudah terurai, seperti sisa makanan, dengan persentase sebanyak 55,29%. Namun, dalam penelitian ini ditemukan bahwa material menyerupai tanah hanya mencapai 38%. Jika dibandingkan, terjadi penurunan jumlah persentase sampah organik yang masuk ke TPA Ngipik. Selain itu, berdasarkan data yang sama, persentase sampah kertas di Kabupaten Gresik tercatat sebesar 4,47%. Sementara dalam penelitian ini, komposisi kertas hanya ditemukan sebesar 0,02%. Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh kontaminasi air lindi dan sampah lainnya, yang menyebabkan sampah kertas lebih mudah hancur dan tidak teridentifikasi dalam proses pemilahan. Adapun peningkatan persentase beberapa jenis sampah lainnya dapat dijelaskan oleh berkurangnya massa bahan organik secara signifikan, yang menyebabkan perubahan komposisi relatif keseluruhan sampah.

Maka dari itu, terjadi peningkatan persentase komposisi sampah seperti plastik, kayu, kain dan jenis sampah lain yang tidak mudah terurai pada *landfill*. Hal ini dapat terjadi karena dekomposisi sampah organik mudah terurai, yang menyebabkan penurunan volume dan massa sampah secara signifikan. Pengukuran kadar air pada material gali di TPA Ngipik dilakukan menggunakan alat moisture content (MC)

 ISSN 2987-677x

meter. Hasilnya, kadar air pada material gali berukuran ukuran 10-30 mm tercatat sebesar 43%.

Pengolahan sampah hasil *landfill mining* yang masuk bersumber dari zona pasif 2. Sampah tersebut akan ditambang menggunakan *excavator*, kemudian dituangkan ke mesin *Vertical Chopper* yang digunakan untuk menumbuk sampah dan menghasilkan material ringan (seperti RDF ringan) dan material berat. Selanjutnya, hasilnya diproses melalui *trommel screen* berukuran 30 mm dan *wind shifter* untuk pemisahan lebih lanjut.

Hasil landfill Mining

RDF	113,57	kg
Material Seperti Tanah < 10 mm	38,87	kg
Material Seperti Tanah 10-30 mm	32,65	kg
Batu	10,23	kg
Kayu	34,16	kg
Logam	1,50	kg
kaca	2,10	kg
Residu	9,92	kg
	243,00	Kg

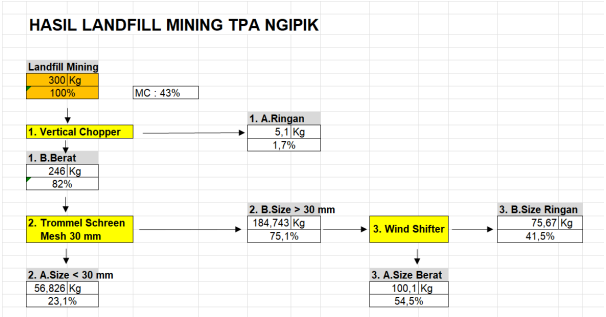
Gambar 5 Hasil *Landfill Mining* TPA Ngipik

Mesin yang digunakan dalam proses *landfill mining* adalah *Vertical Chopper*, *Trommel Screen Mesh* 30 mm, dan *Wind Shifter*. Mesin *Vertical Chopper* berfungsi untuk menghancurkan material gali yang ditambang dari sampah TPA. *Trommel screen* berfungsi memisahkan material gali yang berukuran lebih dari 30 mm dengan material gali yang berukuran <30 mm. *Conveyor belt* merupakan alat yang digunakan untuk memindahkan material >30 mm dari *trommel screen* ke *wind shifter*. Mesin *wind shifter* merupakan mesin yang berfungsi untuk memisahkan material gali yang lebih berat, seperti batu, logam dan diapers, *styrofoam*.

RDF (SIG) → Mesin Shredder < 50 mm → Offteker

Untuk keperluan uji laboratorium sebagai bahan urukan, diperlukan acuan terhadap standar ambang batas logam berat dalam tanah yang berlaku di Indonesia.

Dari diagram alir Gambar 6, diketahui bahwa dengan menggunakan *sample* 300 Kg di TPA Ngipik, dapat diolah material gali dengan hasil berupa RDF sebanyak 113 kg. Material gali yang dijadikan RDF terdiri dari plastik, kain, karet, kertas, sisa kebun, sisa makanan, dan kayu. Selain RDF, proses pengolahan juga menghasilkan kompos sebanyak 56 kg per hari. Kompos ini berasal dari material menyerupai tanah dengan ukuran partikel kurang dari 30 mm.



Gambar 6 Diagram Alir Hasil *Landfill Mining* TPA Ngipik

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa keuntungan yang dapat diperoleh dari pelaksanaan *landfill mining* di TPA Ngipik, antara lain:

1. Tanah reklamasi hasil *landfill mining* dapat dijadikan sebagai bahan penutup harian di sel aktif TPA, sehingga mampu mengurangi biaya pengadaan tanah urug harian.
2. Sampah anorganik yang tidak terdegradasi, seperti logam, alumunium, plastik, dan kaca, dapat dijual jika ada pasar yang membutuhkan bahan-bahan tersebut.
3. Sampah anorganik yang telah dipilah, dapat diolah menjadi *Refused Derived Fuel* (RDF), dimanfaatkan/daur ulang, atau diinsinerasi.
4. Dengan mengurangi volume sampah melalui *landfill mining*, kebutuhan akan lahan baru untuk TPA dapat ditekan, yang berdampak pada efisiensi biaya penutupan maupun penyediaan lahan tambahan.
5. Jika ditemukan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) saat *landfill mining,* limbah tersebut dapat dikelola secara ramah lingkungan.

Kesimpulan

Kuantitas berat material gali yang diolah di TPA Ngipik berdasarkan sampling adalah 300 ton dengan kedalaman 1–12 meter pada zona pasif 2. Komposisi material gali di TPA Ngipik terdiri atas material seperti tanah berukuran 10–30 mm (38,47%), plastik (23,55%), material kayu (16,52%), batu (7,15%), kain (3,01%), karet (2,58%), diapers (2,46%), sisa kebun (2,93%), kaca (1,41%), *styrofoam* (0,94%), logam (1,5%), B3 (0,02%), sisa makanan (0,12%), dan kertas (0,02%). Kadar air material gali sebesar 43%. Pengolahan material gali di TPA Ngipik terdiri atas pemilahan dan pencacahan material gali. Pemilahan dilakukan secara mekanik dan manual. Pemilahan secara mekanik dilakukan dengan mesin *trommel screen* dan *wind shifter*, sedangkan pencacahan material gali dilakukan secara mekanik dengan *shredder*.

Ucapan Terima Kasih

Mengucapkan terima kasih kepada semua yang mendukung tulisan ini terbentuk, teruntuk keluarga dan teman seperjuangan. Tidak lupa untuk para dosen pembimbing, pihak DLH Pemerintah Kab. Gresik, Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Pemerintah Kabupaten Gresik, dan Dinas Kesehatan Pemerintah Kab. Gresik yang senantiasa membantu memberikan segala dukungan ilmu untuk mempermudah terbentuknya tulisan ini.

Referensi

[1] Eurostat. (2024, Juli 9). *SDG 15-Life on land*. European Commission. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=SDG_15_-_Life_on_land.

[2] Badan Pusat Statistik Kabupaten Gresik. (2024). *Kabupaten Gresik dalam angka–Gresik Regency in Figures*. Gresik: BPS Kabupaten Gresik.

[3] Budiono, T. R. (2020). Sampah organik, kompos, pemanasan global dan emisi karbon. *Jurnal Ilmu Lingkungan dan Kesehatan*, 5(1), 25–32. shttps://media.neliti.com/media/publications/29929

 ISSN 2987-677x

8-sampah-organik-kompos-pemanasan-global-d-1ad5ef8e.pdf.

[4] Rosendal, R. M. (2009, Juli). *Landfill mining: Process, feasibility, economy, benefits and limitations* (desk study report). RenoSam. https://www.researchgate.net/publication/287210621_Landfill_Mining_-_Process_Feasibility_Economy_Benefits_and_Limitations.

[5] Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Gresik. (2022). *Sosialisasi kawasan Des 2022* [Materi presentasi]. https://www.scribd.com/document/757101499/Sosialisasi-Kawasan-Des-2022.

ISSN 2987-677x

Analisis Implementasi Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada Proyek Renovasi Stadion Gelora Joko Samudra Kabupaten Gresik Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2012, Nomor 16 Tahun 2021, dan ISO 45001

Penelitian ini bertujuan menganalisis penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) dalam proyek renovasi stadion Gelora Joko Samudra, dengan fokus pada keselarasan antara regulasi nasional (PP No. 50 Tahun 2012 dan PP No. 16 Tahun 2021) dan standar internasional ISO 45001. Metode kualitatif deskriptif digunakan untuk mengkaji integrasi prinsip SMK3 dalam tahap perencanaan, pelaksanaan, dan pascakonstruksi. Hasil tinjauan literatur menunjukkan bahwa SMK3 berperan kritis dalam mengendalikan risiko pekerjaan konstruksi yang kompleks. Sementara sinergi antara PP 50/2012, PP 16/2021, dan ISO 45001, menciptakan kerangka kerja holistik untuk menjamin keselamatan pekerja dan kepatuhan hukum. Studi ini menyoroti pentingnya audit berkala, pelatihan pekerja, dan koordinasi multistakeholder dalam meningkatkan efektivitas SMK3.

Kata kunci: keselamatan kerja, proyek konstruksi, manajemen risiko

Sugiharto[1] Iswahyuwanto[1] M. Arip Yuliato[1] Rasional Sitepu[1] Adriana Anteng Anggorowati[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ londongiarto@gmail.com
✉ iswahyuwantofaip@gmail.com
✉ insfraksstuktur9@gmail.com
✉ rasional@ukwms.ac.id
✉ adrianaateng@ukwms.ac.id

Pendahuluan

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan aspek fundamental dalam setiap kegiatan industri, termasuk konstruksi. Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) bukan hanya sekadar pemenuhan regulasi, tetapi juga investasi strategis untuk menciptakan lingkungan kerja yang aman, efisien, dan produktif. Di Indonesia, kewajiban penerapan SMK3 diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2012. Selain itu, standar internasional seperti ISO 45001:2018 memberikan kerangka kerja global untuk pengelolaan K3. Dalam konteks proyek konstruksi, seperti renovasi stadion, pemahaman yang mendalam mengenai kerangka regulasi dan prinsip SMK3 menjadi krusial mengingat kompleksitas pekerjaan dan potensi risiko bahaya yang tinggi. Artikel ini bertujuan untuk meninjau literatur terkait SMK3, landasan hukumnya di Indonesia, prinsip-prinsip utamanya, serta keterkaitannya dengan regulasi bangunan gedung (PP No. 16 Tahun 2021) dan standar internasional ISO 45001 dalam konteks proyek konstruksi.

Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3)

SMK3 didefinisikan sebagai sistem manajemen perusahaan yang terintegrasi untuk mengendalikan risiko kerja dan menciptakan tempat kerja yang aman, efisien, dan produktif (PP No. 50 Tahun 2012 Pasal 1). Tujuan utama penerapan SMK3 adalah untuk mencegah dan mengurangi kecelakaan kerja serta penyakit akibat kerja, meningkatkan efisiensi dan produktivitas, menciptakan lingkungan kerja yang aman dan nyaman, serta meningkatkan citra perusahaan. Manfaat penerapan SMK3, meliputi pengurangan biaya kecelakaan, peningkatan produktivitas, citra perusahaan yang lebih baik, kepatuhan hukum, hubungan industrial yang harmonis bagi perusahaan, peningkatan keselamatan, kenyamanan, motivasi, dan kesejahteraan bagi pekerja, serta kelancaran proyek, pengurangan risiko biaya tambahan, peningkatan kualitas pekerjaan, dan lingkungan kerja yang kondusif bagi.

Landasan Hukum SMK3 di Indonesia

Penerapan SMK3 di Indonesia memiliki landasan hukum yang kuat, dimulai dari Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja yang menetapkan hak dan kewajiban terkait K3 di semua tempat kerja. Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2012 merupakan peraturan pelaksanaan yang memberikan panduan rinci mengenai penerapan SMK3, termasuk kerangka kerja yang meliputi kebijakan, perencanaan, pelaksanaan, pemantauan, evaluasi, tinjauan manajemen, dan peningkatan berkelanjutan.

 ISSN 2987-677x

Meskipun Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2021 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung tidak secara langsung mengatur SMK3, namun di dalamnya terdapat ketentuan terkait keselamatan bangunan dan Keselamatan, Kesehatan Kerja, dan Lingkungan (KKKL) dalam pelaksanaan konstruksi.

Prinsip-prinsip SMK3 Berdasarkan ISO 45001

SMK3 didasarkan pada prinsip-prinsip yang diakui secara internasional, sebagaimana tercantum dalam ISO 45001. Prinsip-prinsip ini meliputi kebijakan K3, perencanaan K3 (identifikasi bahaya, penilaian risiko, pengendalian risiko melalui hierarki eliminasi, substitusi, rekayasa teknik, administratif, dan APD), pelaksanaan dan operasi (struktur organisasi, tanggung jawab, pelatihan, komunikasi, dan prosedur kerja), pemeriksaan dan tindakan perbaikan (pemantauan, audit internal, tindakan korektif dan preventif), tinjauan manajemen, serta peningkatan berkelanjutan (Tinjauan Pustaka Tesis).

SMK3 dalam Proyek Renovasi Stadion

Proyek renovasi stadion memiliki karakteristik kompleksitas dan potensi risiko K3 yang tinggi. Penerapan SMK3 menjadi krusial untuk memastikan keselamatan pekerja, kelancaran proyek, dan kualitas hasil renovasi (Tinjauan Pustaka Tesis).

Keterkaitan PP 50/2012, PP 16/2021, dan ISO 45001 dengan SMK3

Ketiga regulasi ini memiliki hubungan yang saling mendukung. PP 50 Tahun 2012 memberikan landasan hukum dan persyaratan implementasi SMK3 di Indonesia. PP 16 Tahun 2021 dalam konteks bangunan gedung, mensyaratkan penyusunan Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK) yang bahkan mengacu pada SNI ISO 45001:2018. ISO 45001 sendiri menyediakan standar internasional dan metode sistematis untuk pengelolaan K3 yang dapat diadopsi untuk memenuhi persyaratan nasional. Sinergi antara ketiga regulasi ini memungkinkan integrasi praktik terbaik global dalam kerangka hukum nasional untuk menciptakan SMK3 yang efektif dan berkelanjutan dalam proyek konstruksi.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif, dengan tujuan untuk memahami, menganalisis, dan menggambarkan secara mendalam implementasi Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) dalam proyek renovasi Stadion Gelora Joko Samudra Kabupaten Gresik. Pendekatan kualitatif dipilih karena topik yang dikaji berfokus pada proses, makna, dan pemahaman subyektif dari pelaksanaan SMK3 di lapangan, serta keterkaitannya dengan kebijakan dan regulasi, seperti PP 50 Tahun 2012, PP 16 Tahun 2021, dan ISO 45001. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk menggali fenomena secara lebih luas dan mendalam melalui interaksi langsung dengan narasumber yang terlibat dalam proyek, seperti manajer proyek, petugas K3, tenaga ahli, dan pengawas lapangan. Penelitian ini juga berupaya mengidentifikasi hambatan, keberhasilan, dan persepsi terhadap efektivitas implementasi SMK3 pada proyek tersebut.

a. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis, yaitu:
   1. Data primer: Data yang diperoleh secara langsung dari hasil wawancara mendalam dengan informan kunci yang terlibat dalam proyek renovasi stadion, seperti manajer proyek, tenaga ahli K3, pengawas konstruksi, dan perwakilan dari instansi pemerintah (misalnya Dinas PUPR atau pengawas bangunan).
   2. Data sekunder: Data yang diperoleh dari dokumen-dokumen proyek, seperti rencana kerja dan syarat (RKS), laporan harian, dokumen SMK3, dokumen PBG/SLF, referensi peraturan perundang-undangan (PP 50/2012, PP 16/2021, ISO 45001), serta literatur ilmiah atau jurnal yang relevan.

b. Penelitian dilaksanakan di lokasi proyek renovasi Stadion Gelora Joko Samudra Kabupaten Gresik. Pemilihan lokasi ini dilakukan secara *purposive* karena proyek ini melibatkan penerapan aspek keselamatan dan kesehatan kerja (K3) secara aktual dalam konteks konstruksi bangunan publik, yang juga relevan dengan regulasi nasional dan standar internasional.

c. Waktu penelitian direncanakan berlangsung selama 3 bulan, mencakup tahap pengumpulan data, wawancara, analisis, hingga penyusunan hasil.

d. Teknik Pengumpulan Data
   Pengumpulan data dilakukan dengan beberapa metode berikut:
   1. Wawancara mendalam (*in-depth interview*): Teknik ini digunakan untuk menggali informasi dari narasumber yang terlibat langsung dalam proyek. Pertanyaan disusun secara semi-terstruktur agar tetap fokus namun fleksibel untuk menggali informasi tambahan dari responden.
   2. Studi dokumentasi: Mengkaji dokumen-dokumen proyek, seperti laporan penerapan SMK3, notulen rapat K3, hasil audit internal K3, rencana kerja, dokumen ISO 45001, dan dokumen legal (PP 50/2012, PP 16/2021, dan SIMBG).
   3. Observasi lapangan: Jika memungkinkan, dilakukan observasi langsung terhadap pelaksanaan kegiatan K3 di lokasi proyek untuk mengidentifikasi kesesuaian antara kebijakan, dokumen, dan praktik aktual di lapangan.

e. Teknik Analisis Data
   Analisis data dilakukan dengan analisis tematik kualitatif, melalui tahapan sebagai berikut:
   1. Reduksi data: Penyaringan dan pemilihan data penting dari hasil wawancara, dokumentasi, dan observasi yang berkaitan dengan pelaksanaan SMK3.
   2. Kategorisasi dan pengkodean: Mengelompokkan data berdasarkan tema-tema utama, seperti implementasi kebijakan K3, peran regulasi, hambatan, dan efektivitas SMK3.
   3. Penyajian data: Menyajikan data dalam bentuk naratif, kutipan langsung dari responden, serta tabel tematik jika diperlukan.
   4. Penarikan kesimpulan: Menyusun kesimpulan dan interpretasi dari hasil analisis untuk menjawab rumusan masalah.

f. Keabsahan Data (Validitas)
   Untuk menjamin keabsahan data, peneliti menggunakan teknik triangulasi, yaitu:

 ISSN 2987-677x

1. Triangulasi sumber: Membandingkan informasi dari berbagai informan (kontraktor, pengawas, dan pemerintah).
2. Triangulasi metode: Menggabungkan wawancara, dokumentasi, dan observasi.
3. Triangulasi teori : Menggunakan referensi dan teori dari regulasi (PP 50/2012, PP 16/2021, ISO 45001) dan literatur akademik sebagai dasar validasi interpretasi data.

g. Alasan Pemilihan Metode Kualitatif
   1. Fokus penelitian adalah kontekstual dan mendalam, bukan pengukuran statistik.
   2. Peneliti ingin memahami proses implementasi SMK3, bukan sekadar hasil akhir.
   3. Adanya kebutuhan untuk memahami persepsi, pengalaman, serta interpretasi dari para pelaku proyek dalam kaitannya dengan peraturan dan standar.
   4. Kesesuaian dengan studi kebijakan dan studi lapangan, dimana penilaian terhadap efektivitas dan penerapan SMK3 membutuhkan data naratif dan non-kuantitatif.

Gambar 1 *Flowchart* Metodologi Penelitian

Hasil Kerja Dan Pembahasan

1. Implementasi Elemen-Elemen SMK3:
   Menganalisis bagaimana elemen-elemen SMK3, seperti penetapan kebijakan K3, perencanaan K3, pelaksanaan rencana K3, pemantauan dan evaluasi kinerja K3, serta tinjauan manajemen K3 diimplementasikan dalam proyek. Hal ini akan dikaitkan dengan persyaratan yang terdapat dalam Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2012, Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2021, dan ISO 45001.
2. Identifikasi Potensi Bahaya dan Pengendalian Risiko:
   Memaparkan jenis-jenis potensi bahaya yang teridentifikasi di lokasi proyek dan bagaimana upaya pengendalian risiko dilakukan.
3. Kepatuhan Terhadap Peraturan Perundang-undangan:
   Menganalisis tingkat kepatuhan proyek terhadap persyaratan K3 yang diatur dalam peraturan perundang-undangan yang relevan.
4. Kendala dan Tantangan Implementasi SMK3:
   Mengidentifikasi faktor-faktor yang menjadi kendala atau tantangan dalam implementasi SMK3 di proyek, seperti kurangnya kesadaran pekerja, keterbatasan sumber daya, atau kurangnya pengawasan.
5. Persepsi Pekerja Terhadap SMK3:
   Menganalisis persepsi pekerja mengenai efektivitas implementasi SMK3, keterlibatan mereka dalam program K3, dan budaya K3 di proyek.

Penerapan SMK3 pada proyek renovasi ini, meliputi sejumlah aspek mulai dari perencanaan risiko, identifikasi bahaya, hingga tindakan mitigasi. Dari segi perencanaan risiko, tim K3 mengidentifikasi potensi bahaya, seperti risiko jatuh dari ketinggian, kecelakaan alat berat, dan paparan bahan kimia. Analisis risiko dilakukan secara sistematis dan dijadikan dasar dalam menentukan prosedur kerja yang aman. Prosedur mitigasi secara konsisten diterapkan, termasuk pemasangan pagar pengaman, penggunaan *harness*, serta pelatihan penggunaan alat berat dan bahan kimia. Supervisi ketat juga dilakukan untuk memastikan kepatuhan pekerja terhadap protokol keselamatan. Penggunaan *checklist* harian untuk inspeksi K3 menjadi metode pengendalian mutu yang efektif dan memastikan masalah segera ditangani.

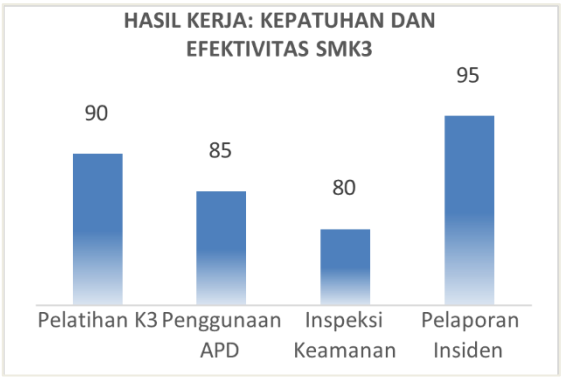
Tinjauan literatur ini menunjukkan bahwa Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) memiliki landasan hukum yang kuat di Indonesia melalui PP No. 50 Tahun 2012, yang didukung oleh prinsip-prinsip internasional yang terdapat dalam ISO 45001. Dalam konteks proyek konstruksi, termasuk renovasi stadion, pemahaman dan penerapan SMK3 tidak hanya menjadi kewajiban hukum tetapi juga merupakan praktik terbaik untuk meminimalkan risiko, meningkatkan efisiensi, dan menjamin kualitas. Keterkaitan dengan PP No. 16 Tahun 2021 semakin mempertegas pentingnya integrasi aspek K3 dalam seluruh siklus proyek bangunan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi implementasi praktis dari kerangka regulasi dan prinsip SMK3 ini dalam studi kasus proyek konstruksi spesifik.

Namun, observasi memperlihatkan tantangan dalam penyeragaman pelatihan bagi pekerja kontraktor subkontrak yang berbeda latar belakang. Oleh karena itu, kolaborasi intensif antara manajemen proyek dengan subkontraktor sangat penting agar kesamaan standar keselamatan dapat terwujud. Peninjauan ulang terhadap jadwal pelatihan dan sosialisasi operasional keselamatan juga direkomendasikan untuk meningkatkan awareness dan kepatuhan.

Hasil menunjukkan tingkat kepatuhan tinggi pada pelatihan dan pelaporan insiden, sedangkan pengawasan rutin dan penggunaan APD masih perlu peningkatan agar sesuai standar nasional.

Tabel 1 Kepatuhan

Aspek	Kepatuhan (%)
Pelatihan K3	90
Penggunaan APD	85
Inspeksi Keamanan	80
Pelaporan Insiden	95



Gambar 2 Hasil Kerja: Kepatuhan dan Efektivitas SMK3

Kesimpulan

Dari hasil analisis implementasi SMK3 pada proyek renovasi Stadion Gelora Joko Samudra Kabupaten Gresik, dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem manajemen ini sudah berjalan dengan baik terutama dalam aspek

 ISSN 2987-677x

penggunaan APD dan pengawasan lapangan. Namun, pelatihan keselamatan kerja masih perlu diperluas cakupannya dan pelaporan insiden hendaknya ditingkatkan untuk mendukung perbaikan berkesinambungan.

Kepatuhan terhadap Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2012, Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2021, dan ISO 45001 menjadi dasar kuat dalam pengembangan prosedur keselamatan yang efektif di proyek ini. Komitmen manajemen dan partisipasi pekerja adalah kunci keberhasilan implementasi SMK3, sementara evaluasi dan peningkatan komunikasi internal sangat diperlukan untuk mengatasi hambatan yang ada.

Rekomendasi utama adalah memperkuat pelatihan K3 secara berkala, mengintegrasikan teknologi pelaporan insiden yang mudah dan cepat, serta meningkatkan pengawasan rutin secara sistematis. Hal ini diharapkan dapat menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman, produktif, dan sesuai standar peraturan yang berlaku.

Ucapan Terimakasih

Saya mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini, yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada keluarga, terutama Ibu, serta teman-teman dan sahabat yang selalu memberikan semangat dan dukungan tanpa henti.

Referensi

Direktorat Jenderal Bina Konstruksi. (2021). *Laporan evaluasi penerapan SMK3 pada proyek infrastruktur*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Indonesia. (1970). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja*.

Indonesia. (2002). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung*.

Indonesia. (2012). *Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja*.

Indonesia. (2021a). *Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2021 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung*.

Indonesia. (2021b). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10 Tahun 2021 tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi*.

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use*. https://www.iso.org/standard/63787.html.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2022). *Data kecelakaan kerja sektor konstruksi tahun 2022*. Diakses dari https://binakonstruksi.pu.go.id.

Multisertifikasi. (2023, 20 April). *SMK3 pada perusahaan konstruksi: Tingkat kecelakaan kerja di sektor konstruksi Indonesia*, https://multisertifikasi.co.id/smk3-perusahaan-konstruksi/

Pemerintah Republik Indonesia. (2021, 2 Februari). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2021 tentang Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung*. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 26, https://peraturan.bpk.go.id/Details/161846/pp-no-16-tahun-2021.

Solihah, N. (2021). *Analisis penerapan sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja: Studi kasus proyek pembangunan Paket 4–Universitas Gadjah Mada menggunakan gap analysis berdasarkan SNI ISO 45001:2018*. Tugas akhir tidak diterbitkan. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada, https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/download/976913.

Synergy Solusi. (2022, 11 Oktober). *Penerapan ISO 45001 dalam proyek konstruksi*. https://synergysolusi.com/artikel-qhse/iso-45001-di-industri-konstruksi/.

ISSN 2987-677x

Pembangunan Kolam Tampung/Retarding Basin di Tambak Beras Kabupaten Gresik

Adriana Anteng Anggorowati[1] Septyan Cahya Tri Admaja[2] Arief Hadi Pranata[3] Saifudin Muhammad[4]

[1,2,3,4] Program Studi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[2,3,4] Bidang Sumber Daya Air, Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang, Kabupaten Gresik

✉ septyanadmaja.pusda@gmail.com

Kali Lamong merupakan salah satu sungai di Jawa Timur yang memiliki kondisi hidrologi kritis, ditandai dengan banjir pada musim hujan dan kekeringan saat kemarau. Debit banjir yang mencapai 700 m³/detik jauh melebihi kapasitas sungai sebesar 250 m³/detik, menyebabkan genangan di wilayah Kabupaten Gresik setiap tahun(1). Sebagai upaya pengendalian banjir, Pemerintah Kabupaten Gresik melalui Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang merencanakan pembangunan kolam tampung/*retarding basin* di Desa Tambak Beras, Kecamatan Cerme. Tujuan utama dari kegiatan ini adalah untuk mereduksi debit puncak banjir Kali Lamong dan mengurangi dampaknya terhadap pemukiman, lahan pertanian, dan infrastruktur. Berdasarkan hasil analisis teknis oleh LPPM Universitas Brawijaya, *retarding basin* ini mampu menurunkan debit banjir hingga 75,92 m³/detik dan elevasi muka air banjir hingga 0,38 m, dengan stabilitas tanggul yang memenuhi syarat keamanan konstruksi. Kegiatan ini diharapkan menjadi langkah awal yang strategis dalam sistem pengendalian banjir terpadu di wilayah hilir Kali Lamong.

Kata kunci: Kali Lamong, *retarding basin*, pengendalian banjir, Desa Tambak Beras, Kabupaten Gresik

Pendahuluan

Kali Lamong adalah salah satu sungai di Provinsi Jawa Timur yang melintasi beberapa wilayah, termasuk Kabupaten Gresik, Kota Surabaya, Kabupaten Lamongan, dan Mojokerto. Sungai ini memiliki panjang sekitar 103 km dengan luas daerah aliran sungai (DAS) ±720 km². Dalam beberapa tahun terakhir, kondisi hidrologi di DAS Kali Lamong menunjukkan gejala yang sangat kritis. Debit air sungai pada musim hujan dapat mencapai 700 m³/detik, jauh melampaui kapasitas aliran sungai yang hanya sekitar 250 m³/detik [1]. Akibatnya, di sepanjang aliran sungai, terutama di bagian tengah dan hilir, seperti Kabupaten Gresik, sering mengalami banjir tahunan yang merusak lahan pertanian, permukiman, serta infrastruktur jalan. Sebaliknya, pada musim kemarau, wilayah ini justru mengalami kekeringan ekstrem dengan aliran dasar (*base flow*) yang hampir mencapai nol [2]. Ketimpangan ini menunjukkan perlunya pengelolaan sumber daya air secara komprehensif dan terpadu. Salah satu upaya yang diinisiasi adalah pembangunan kolam tampung atau *retarding basin* sebagai bagian dari program pengendalian banjir Kali Lamong. Langkah ini juga sejalan dengan program prioritas nasional yang tertuang dalam Peraturan Presiden Nomor 80 Tahun 2019 tentang Percepatan Pembangunan Kawasan Strategis Nasional di Jawa Timur, serta mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan (*SDGs no.11*) kota dan permukiman dan berkelanjutan.

Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Kabupaten Gresik, sebagai instansi teknis yang menangani infrastruktur dan pengelolaan sumber daya air, pada tahun anggaran 2024 pembangunan *retarding basin* di Desa Tambak Beras, Kecamatan Cerme. Di lokasi ini, diharapkan dengan pembangunan kolam tampung tersebut dapat menjadi solusi efektif untuk mengurangi dampak banjir serta mendukung ketahanan terhadap bencana hidrometeorologi.

Maksud dari pelaksanaan kegiatan pembangunan kolam tampung/*retarding basin* Desa Tambak Beras adalah untuk mengurangi banjir yang disebabkan oleh Kali Lamong yang ada di wilayah Kabupaten Gresik. Tujuan kegiatan pembangunan kolam tampung/*retarding basin* di Desa Tambak Beras adalah sebagai berikut:

1. Menurunkan intensitas banjir yang disebabkan Kali Lamong;
2. Menampung sementara air banjir Kali Lamong khususnya di Kecamatan Cerme;
3. Sebagai evaluasi pelaksanaan pembangunan untuk mengurangi dampak banjir.

Metode

Pelaksanaan kegiatan ini mengacu pada *detail engineering design* (DED) pembangunan kolam tampung/*retarding basin* yang direncanakan oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Brawijaya, dimulai dari pekerjaan persiapan, pekerjaan perbaikan jalan akses, pekerjaan kolam dan tanggul, pekerjaan pintu inlet, pekerjaan pintu, serta ssistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (SMK3).

Hasil Kerja

Lokasi Pekerjaan

Lokasi pekerjaan pembangunan kolam tampung/*retarding basin* terletak di Desa Tambak Beras Kecamatan Cerme, Kabupaten Gresik.

 ISSN 2987-677x

Gambar 1 Lokasi Pekerjaan

Waktu Pelaksanaan

Kegiatan ini dilaksanakan selama 1 (satu) tahun di tahun 2024 dengan jadwal sebagai berikut.

Tabel 1 Jadwal Pelaksanaan

No	Uraian Pekerjaan	Pelaksanaan pada Bulan ke- …..											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	2												
I	**PEKERJAAN PERSIAPAN**												
II	**PEKERJAAN PERBAIKAN JALAN AKSES**												
III	**PEKERJAAN PEMBUATAN TANGGUL**												
A	Galian Dan Timbunan Tanggul												
IV	**PEKERJAAN KOLAM**												
A	Galian Kolam												
V	**PEKERJAAN PINTU INLET**												
A	Pekerjaan Tanah Inlet												
B	Pekerjaan Beton Inlet												
C	Pekerjaan Besi Inlet												
D	Pengadaan Dan Pemasangan Pintu Sorong												
VI	**PEKERJAAN PINTU OUTLET**												
A	Pekerjaan Tanah Outlet												
B	Pekerjaan Beton Outlet												
C	Pekerjaan Besi Outlet												
D	Pengadaan Dan Pemasangan Pintu Sorong												
VII	**BIAYA PENYELENGARAAN SMK3**												

Sumber : Perencanaan Tim Teknis Bidang SDA DPUTR (2023)

Metode Pelaksanaan

Pekerjaan Persiapan:
a. Mobilisasi dan demobilisasi
b. *Stake out trase* saluran/ infrastruktur (baru) di lapangan
c. Pasang profil melintang galian
d. Pembuatan papan nama pekerjaan
e. Pengujian di laboratorium
f. Pembuatan kantor sementara
g. Dewatering

Pekerjaan Perbaikan Jalan Akses:
a. Urugan tanah pedel

Pekerjaan Kolam dan Tanggul:
a. Galian kolam
b. Timbunan tanggul

Pekerjaan Pintu Inlet:
a. Pekerjaan tanah inlet
b. Pekerjaan beton inlet
c. Pekerjaan besi inlet
d. Pekerjaan pintu air inlet
e. Pekerjaan bronjong

Pekerjaan Pintu *Outlet*:
a. Pekerjaan tanah *outlet*
b. Pekerjaan beton outlet
c. Pekerjaan besi I *outlet*
d. Pekerjaan pintu air *outlet*

SMK3
a. Penyiapan RK3K
b. Alat pelindung kerja
c. Alat pelindung diri
d. Asuransi dan perjanjian
e. Fasilitas sarana kesehatan
f. Rambu rambu terdiri atas
g. Lain lain terkait pengendalian resiko K3

Spesifikasi Teknis

Tabel 2 Spesifikasi Teknis *Retarding Basin*

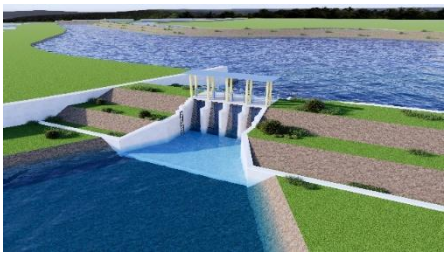
No.	Parameter Pekerjaan	Keterangan
1	Tanggul Tanah	Lebar atas tanggul ± 5,00 m Lebar dasar tanggul ± 25,20 m Ketinggian tanggul ± 5,30 m Kemiringan tanggul 1 : 2
2	Elevasi Dasar Kolam	- 0,70 m
3	Material timbunan tanggul	Material timbunan berasal dari hasil galian kolam tampung rencana
4	Disposal/material hasil galian	Hasil galian tanah di tempatkan pada *disposal area* yang telah ditentukan
5	Bangunan Pintu Inlet	
	a. Material bangunan	Beton bertulang K-225 (*ready mix*)
	b. Dimensi dinding Penahan	Lebar atas 0,50 m Lebar bawah 3,25 m Tinggi 5,80 m
	c. Dimensi dasar bangunan	Lebar 8,40 m Panjang 20,00 m
	d. Spun Concrete	Dimensi Ø = 0,40 m dengan kedalaman minimal 24 m
	e. Jumlah *Spun Concrete*	34 bh
	f. Pintu inlet	Pintu Sorong Baja Roda Gigi Stang Double b= 1,50 m; h= 3,10 m; h'= 5,00 m
	g. Jumlah Pintu	4 bh
	h. Elevasi ambang	+1,50 m
	i. Pilar Pintu	3 bh dengan lebar 0,80 m
	j. Bangunan penunjang lainnya	- *Trashrack* - Mistar Ukur (*Peilscal*) - Pagar pengaman - Tangga Monyet - Plat layanan - Rumah operasi pintu
6	Bangunan Pintu Outlet	
	a. Material bangunan	Beton bertulang K-225 (*ready mix*)
	b. Dimensi dinding Penahan	Lebar atas 0,50 m Lebar bawah 3,625 m Tinggi 6,30 m
	c. Dimensi dasar bangunan	Lebar 3,80 m Panjang 17,60 m
	d. Spun Concrete	Dimensi Ø = 0,40 m dengan kedalaman minimal 24 m
	e. Jumlah *Spun Concrete*	22 bh
	f. Pintu inlet	Pintu Sorong Baja Roda Gigi Stang Double b= 1,50 m; h= 3,60 m; h'= 5,50 m
	g. Jumlah Pintu	2 bh
	h. Elevasi ambang	+1,00 m
	i. Pilar Pintu	1 bh dengan lebar 0,80 m
	j. Bangunan penunjang lainnya	- *Trashrack* - Mistar Ukur (*Peilscal*) - Pagar pengaman - Tangga Monyet - Plat layanan - Rumah operasi pintu

Sumber : *Detail Engineering Design* (DED) pembangunan kolam tampung/*retarding basin* yang direncanakan oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Brawijaya

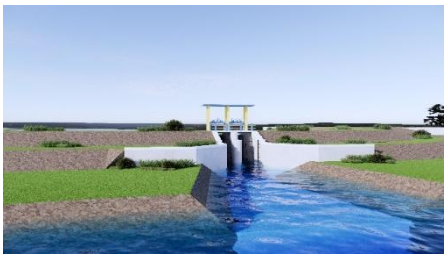
Dari spesifikasi data tersebut kolam tamping /*retarding basin* memiliki tanggul dengan dasar kolam -0,70m menggunakan material tanah yang dihasilkan dari galian kolam tamping. Memiliki 1 (satu) pintu *inlate* dengan panjang 20 m, serta 1 (satu) pintu *outlet* dengan panjang 17,6m seperti yang dapat dilihat dari gambar berikut.

Gambar 2 *Retarding Basin*

 ISSN 2987-677x



Gambar 3 Pintu *Inlet*



Gambar 4 Pintu *Outlet*

Analisa Teknis

Dengan pembangunan *retarding basin* seperti pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4 maka banjir Kali Lamong dapat direduksi. Berdasarkan hasil analisa/perhitungan teknis dapat diuraikan sebagai berikut.

a. Total prosentase reduksi banjir sebesar 12% secara keseluruhan pada hilir Kali Lamong dengan adanya konstruksi *retarding basin* Desa Tambak Beras penurunan debit banjir Kali Lamong. Hasil tersebut ditandai dengan penurunan debit banjir maksimal sebesar 75,92 m^3/dtk yang berbanding lurus dengan penurunan muka air banjir maksimal sebesar 0,38 m. Dari hasil analisa hidrologi dan hidrolika, diperoleh hasil komparasi perhitungan seperti pada Tabel 3.
b. Berdasarkan analisa stabilitas dengan menggunakan *Geostudio SLOPE/W Analysis* terhadap rencana dimensi tanggul dengan menggunakan material tanah dari galian setempat (*Clay High Plasticity*) didapatkan FS > 1,25 yang artinya material ini dapat digunakan untuk pembuatan tanggul. Analisa yang dipergunakan, yaitu Slope/W (analisis stabilitas lereng), Sigma/W (analisis tegangan dan regangan), dan Quake/W (analisis respon dinamik, deformasi, dan peningkatan tekanan air pori akibat goncangan gempa).

Tabel 3 Perbandingan Debit dan Muka Air Banjir pada Kondisi *Eksisting* dan *Retarding*

River Sta	Plan	Q Total	Reduksi Debit	W.S. Elev	Reduksi Elevasi
		(m^3/s)	(m^3/s)	(m)	(m)
83	Eksisting	635.78	1.5	4.29	0.38
83	Retarding	637.28		3.91	
82.8	Lat Struct				
82	Eksisting	635.78	75.92	4.12	0.25
82	Retarding	559.86		3.87	

Sumber : *Detail Engineering Design* (DED) pembangunan kolam tampung/*retarding basin* yang direncanakan oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Brawijaya

Anggaran Kegiatan

Kegiatan ini dilaksanakan menggunakan anggaran Perubahan Anggaran Pendapatan Belanja Kabupaten Gresik Tahun 2024 berdasarkan:

a. Peraturan Daerah nomor 5 tahun 2023 tentang Perubahan APBD tahun anggaran 2023 pada tanggal 27 Oktober 2023;
b. Peraturan Bupati Nomor 56 tahun 2023 tentang Penjabaran Perubahan APBD tanggal 27 Pktober 2023

Tabel 4 Rencana Anggaran Biaya Pembangunan

No	Uraian Pekerjaan	Jumlah
1	2	4
I	PEKERJAAN PERSIAPAN	Rp 156.882.869,00
II	PEKERJAAN PERBAIKAN JALAN AKSES	Rp 124.609.950,00
III	PEKERJAAN PEMBUATAN TANGGUL	Rp 2.482.293.597,28
IV	PEKERJAAN KOLAM	Rp 2.886.253.309,05
V	PEKERJAAN PINTU INLET	Rp 2.062.954.257,96
VI	PEKERJAAN PINTU OUTLET	Rp 1.189.060.995,55
VII	BIAYA PENYELENGARAAN SMK3	Rp 47.833.609,96
	JUMLAH	8.949.888.588,79
	PPN 11%	984.487.744,77
	TOTAL BIAYA	9.934.376.333,55
	DIBULATKAN	9.934.376.000,00

Kesimpulan

Pembangunan kolam tampung atau *retarding basin* di Desa Tambak Beras, Kecamatan Cerme, Kabupaten Gresik merupakan langkah strategis dalam upaya pengendalian banjir Kali Lamong yang telah menjadi bencana tahunan bagi masyarakat sekitar. Kegiatan konstruksi ini melibatkan tahapan pekerjaan teknis, meliputi persiapan lahan, galian kolam, pembangunan tanggul, serta instalasi pintu air dan struktur pengaman lainnya.

Hasil analisa teknis menunjukkan bahwa keberadaan *retarding basin* ini mampu menurunkan debit banjir hingga 75,92 m^3/detik dan mengurangi muka air banjir hingga 0,38 meter di wilayah hilir Kali Lamong. Selain itu, stabilitas tanggul yang dibangun dari material tanah setempat dinyatakan aman dengan nilai faktor keamanan (FS) lebih dari 1,25 berdasarkan simulasi menggunakan perangkat lunak Geostudio.

Proyek ini tidak hanya mendukung program prioritas nasional dalam penanggulangan bencana hidrometeorologi, tetapi juga berkontribusi pada pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs no.11), yaitu mewujudkan kota dan permukiman yang inklusif, aman, tahan bencana, dan berkelanjutan. Oleh karena itu, pembangunan *retarding basin* diharapkan menjadi model implementatif dalam pengendalian banjir terpadu di daerah rawan banjir lainnya, khususnya di wilayah hulu Kali Lamong, mulai dari Kecamatan Balongpanggang, Kecamatan Benjeng, dan Kecamatan Kedamean.

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, petunjuk dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Artikel dengan judul "Pembangunan Kolam Tampung/*Retarding Basin* di Tambak Beras Kabupaten Gresik". Tidak lupa shalawat serta salam patut dihaturkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabat-Nya.

 ISSN 2987-677x

Penyusunan artikel ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh oleh mahasiswa Program Studi Profesi Insinyur Fakultas Teknik Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian artikel ini, antara lain:

1. Ibu Dhianita Tri Astuti, S.T, M.T. selaku Kepala Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Kabupaten Gresik;
2. Ibu Dra. Ir. Adriana Anteng Anggorowati, M.Si., IPU., ASEAN Eng. selaku Dosen Pembimbing yang telah dengan sabar membimbing penulis dalam proses pengerjaan artikel ini;
3. Kedua orang tua dan keluarga penulis, terima kasih atas segala perhatian, dukungan serta doanya sehingga penulis dapat menyelesaikan artikel ini;
4. Bapak Arief Hadi Pranata, S.T. dan Bapak Saifudin Muhammad, S.T. yang membantu dalam proses pengerjaan artikel ini;
5. Sahabat penulis dan teman-teman Bidang Sumber Daya Air Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Kabupaten Gresik, serta semua pihak yang telah membantu terselesaikannya artikel ini.

Ucapan terimakasih ditujukan kepada orang-orang berperan penting yang membantu dalam proyek penulis. Ucapan terimakasih juga dapat ditujukan kepada instansi yang mendanai proyek penulis.

Dalam penyusunan artikel ini, penulis sadar bahwa masih banyak kekurangan yang perlu diperbaiki sehingga saran dan kritik sangatlah diperlukan. Jika ada kelebihan dari artikel ini semata-mata datangnya dari Allah SWT dan jika ada kekurangan semata-mata datangnya dari penulis. Akhirnya, penulis ucapkan terima kasih dan semoga artikel ini bermanfaat, Amin.

Referensi

1. Gustianto, G., Suharyanto, A., & Pudyono, P. (2016). *Upaya penanggulangan banjir dengan perbaikan alur Sungai Kali Lamong di Kabupaten Gresik*. Tesis tidak diterbitkan. Universitas Brawijaya.
2. Sulistiono. (2014). *Simulasi operasi Waduk Lamong untuk kepentingan air baku dan irigasi*. Tesis tidak diterbitkan. Universitas Gadjah Mada.
3. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Brawijaya. (2023). *Kerangka Acuan Kerja: Perencanaan DED Retarding Basin Desa Tambak Beras*. Malang: LPPM Universitas Brawijaya.
4. Pemerintah Kabupaten Gresik. (2023). *Peraturan Daerah Kabupaten Gresik Nomor 5 Tahun 2023 tentang Perubahan APBD Tahun Anggaran 2023*. Gresik: Pemerintah Kabupaten Gresik.
5. Bupati Gresik. (2023). *Peraturan Bupati Gresik Nomor 56 Tahun 2023 tentang Penjabaran Perubahan APBD Tahun Anggaran 2023*. Gresik: Pemerintah Kabupaten Gresik.
6. Tereswara, P. H., Sholichin, M., & Sumiadi. (2025). Retarding basin sebagai pengendalian banjir Kali Lamong. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air (JTRESDA)*, *5*(1), 277-286, https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2025.005.01.027.

ISSN 2987-677x

Evaluasi Kinerja Alat Afinion 2 dalam Pengukuran HbA1c dengan Metode Uji Banding terhadap Biorad D10 HPLC di Laboratorium Klinik Tirta Medical Centre

Hendri[1], Adriana Anteng Anggorowati[2]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya 60112, Indonesia
[1] PT.Abbott, Divisi Cardio Metabolic Informatic

✉ hendricrabb@gmail.com

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja alat Afinion 2 dalam pengukuran kadar HbA1c dengan membandingkannya terhadap alat referensi Biorad D10 HPLC di Laboratorium Klinik Tirta Medical Centre. Topik ini sejalan dengan tujuan SDG's nomor 3. Evaluasi dilakukan pada 6 Juli 2023 dengan menguji 20 sampel darah menggunakan kedua instrumen. Hasil pengukuran dibandingkan menggunakan analisis korelasi pearson untuk menilai kesesuaian antara kedua alat. Kriteria penerimaan (*acceptable criteria*) yang digunakan mengacu pada standar IFU dari Afinion 2, yaitu nilai korelasi R dalam rentang 0,96–1,02. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai koefisien korelasi (R) antara Afinion 2 dan Biorad D10 adalah 0,9879 dengan nilai p < 0,001, yang menunjukkan hubungan yang sangat kuat dan signifikan secara statistik. Persamaan regresi yang diperoleh adalah y = 0,9376x + 0,8726 dengan R^2 = 0,9879, yang mengindikasikan bahwa hasil pengukuran Afinion 2 memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi dengan Biorad D10. Berdasarkan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa alat Afinion 2 memiliki performa yang baik dan dapat digunakan sebagai alternatif dalam pengukuran HbA1c di laboratorium klinik. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan bermakna antara kedua alat berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan. Dengan demikian, Afinion 2 dapat menjadi pilihan alat diagnostik yang efisien dalam pemeriksaan HbA1c, terutama dalam konteks laboratorium klinik yang membutuhkan alat dengan kecepatan analisis tinggi dan akurasi yang dapat diandalkan.

Kata kunci: Afinion 2, Biorad D10, Evaluasi Kinerja, HbA1c, SDG's No. 3.

Pendahuluan

Sustainable Development Goals (SDG's) adalah lanjutan dari Program *Millenium Development Goals* (MDG's) yang berakhir pada tahun 2015, dan disepakati oleh 193 negara anggota PBB. SDG's bertujuan untuk meningkatkan sumber daya dan potensi yang ada di setiap negara**.** SDGs memiliki 17 (tujuh belas) tujuan utama. Fokus pada artikel ini adalah tujuan ke-3 yaitu kehidupan sehat dan sejahtera (*good health and well-being*), untuk memastikan kehidupan yang sehat dan meningkatkan kesejahteraan bagi semua orang di segala usia (Hidayat, 2022). Penelitian ini mengevaluasi kinerja peralatan Afinion 2 yang dipergunakan untuk mengukur HbA1c salah satu parameter utama dalam pemantauan pasien diabetes. Penulis memilih topik penelitian ini karena sejalan dengan tujuan SDG's nomor 3 (tiga) untuk meningkatkan kewaspadaan kesehatan semua orang terhadap penyakit diabetes.

Mencegah penyakit dan meningkatkan kesehatan dapat membantu mengurangi kemiskinan dengan meningkatkan produktivitas dan mengurangi beban pengeluaran untuk pengobatan. Dengan kesehatan yang baik, masyarakat dapat bekerja lebih efektif, menghasilkan lebih banyak, dan mengurangi risiko jatuh ke dalam kemiskinan dan meningkatkan Kesehatan dan kesejahteraan. Contoh penyakit seperti diabetes mellitus (DM) merupakan salah satu penyakit metabolik yang terus meningkat prevalensinya di seluruh dunia (Sari & Purnama, 2019). Menurut data dari *International Diabetes Federation* (IDF) pada tahun 2021, sekitar 537 juta orang dewasa di dunia mengidap diabetes, dengan angka yang diprediksi akan terus meningkat seiring dengan perubahan gaya hidup dan pola makan masyarakat modern. Penyakit ini tidak hanya memberikan dampak terhadap kualitas hidup individu, tetapi juga menjadi beban besar bagi sistem kesehatan global, mengingat komplikasi jangka panjangnya yang dapat mencakup penyakit kardiovaskular, nefropati diabetik, neuropati, dan retinopati diabetik (Webber, 2013).

Salah satu parameter utama dalam pemantauan pasien diabetes adalah pemeriksaan kadar hemoglobin terglikasi (HbA1c) (Ningrum et al., 2017). HbA1c mencerminkan kadar glukosa darah rata-rata selama 2 hingga 3 bulan terakhir dengan mengukur persentase hemoglobin yang mengalami glikasi (WHO, 2011). Pengukuran HbA1c telah menjadi standar dalam diagnosis dan manajemen diabetes, sebagaimana direkomendasikan oleh American Diabetes Association (ADA), di mana nilai HbA1c ≥6,5% dianggap sebagai indikator diabetes (Journal & Clinical, 2023).

Metode pemeriksaan HbA1c yang digunakan dalam laboratorium klinik saat ini sangat beragam, dengan metode berbasis *High-Performance Liquid Chromatography* (HPLC) dianggap sebagai metode referensi atau "*gold standard*" karena presisi dan spesifisitasnya yang tinggi (Matasak et al., 2018). Salah satu alat berbasis HPLC yang banyak digunakan dalam laboratorium adalah Biorad D10, yang mampu memberikan hasil akurat dengan pemisahan komponen

 ISSN 2987-677x

HbA1c dari hemoglobin varian lainnya. Namun, metode ini membutuhkan biaya yang cukup tinggi serta waktu analisis yang lebih lama dibandingkan dengan metode lainnya (Zineb et al., 2024).

Sebagai alternatif yang lebih cepat dan praktis, berkembang *alat point-of-care testing* (POCT) seperti Afinion 2, yang menawarkan kemudahan dalam pemeriksaan HbA1c dengan waktu analisis yang lebih singkat (Dutta et al., 2023). Afinion 2 menggunakan metode *enzymatic immunoassay*, yang memungkinkan deteksi HbA1c dengan sensitivitas tinggi dan tanpa memerlukan pemrosesan sampel yang kompleks. Keunggulan utama alat ini adalah kemampuannya dalam memberikan hasil hanya dalam beberapa menit, sehingga dapat mempercepat proses diagnosis dan pemantauan pasien di laboratorium klinik maupun fasilitas kesehatan lainnya (Petersen et al., 2019).

Namun, meskipun Afinion 2 menawarkan kecepatan dan kemudahan, diperlukan evaluasi lebih lanjut terhadap keakuratannya dibandingkan dengan metode referensi (Ortiz-Martínez et al., 2021). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja alat Afinion 2 dalam pengukuran HbA1c dengan metode uji banding terhadap Biorad D10 HPLC di Laboratorium Klinik Tirta Medical Centre. Dengan melakukan perbandingan hasil pengukuran dari kedua alat ini, diharapkan dapat diketahui sejauh mana kesesuaian Afinion 2 dalam menghasilkan nilai HbA1c yang akurat dan sesuai dengan standar laboratorium.

Metode

Penelitian ini menggunakan desain uji banding (*comparative study*) untuk mengevaluasi kinerja alat Afinion 2 dalam pengukuran kadar HbA1c dengan membandingkan hasilnya terhadap metode referensi Biorad D10 HPLC di Laboratorium Klinik Tirta Medical Centre. Penelitian ini menggunakan pendekatan *cross-sectional*, dimana pengukuran dilakukan secara simultan pada sampel darah yang sama menggunakan kedua instrumen. Lokasi penelitian adalah Laboratorium Klinik Tirta Medical Centre, dengan waktu pelaksanaan pada 6 Juli 2023. Pemilihan lokasi ini dilakukan karena laboratorium tersebut memiliki alat referensi Biorad D10, yang merupakan metode *gold standard* dalam pemeriksaan HbA1c.

Sebanyak 20 sampel darah EDTA digunakan dalam penelitian ini. Sampel dipilih berdasarkan kriteria inklusi, yaitu sampel darah dari pasien yang menjalani pemeriksaan HbA1c, memiliki volume darah yang cukup, serta tidak mengalami hemolisis. Sementara itu, kriteria eksklusi mencakup sampel yang mengalami hemolisis, jumlah volume yang tidak mencukupi, serta sampel dengan varian hemoglobin abnormal yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran HbA1c.

Tabel 1 Perbandingan Metode Afinion HbA1c dengan HPLC Laboratorium

	Perkiraan	Batas Bawah (95%)	Batas Atas (95%)
Kemiringan	0.99	0.96	1.02
Tangkapan (% HbA1c)	0.05	-0.16	0.27

Berdasarkan Tabel 1, penelitian ini menggunakan dua alat utama, yaitu Afinion 2 dan Biorad D10 HPLC. Afinion 2 adalah *alat point-of-care testing* (POCT) yang menggunakan metode *enzymatic immunoassay* untuk mendeteksi HbA1c melalui interaksi antigen-antibodi spesifik, dengan hasil yang dapat diperoleh dalam waktu sekitar 3–5 menit. Sementara itu, Biorad D10 HPLC bekerja berdasarkan prinsip *high-performance liquid chromatography* (HPLC) yang memisahkan komponen hemoglobin menggunakan kolom kromatografi dan memberikan hasil dengan tingkat presisi serta spesifisitas tinggi dalam waktu 10–15 menit.

Prosedur penelitian diawali dengan pengumpulan sampel darah menggunakan tabung EDTA sesuai dengan standar prosedur venipunktur. Sampel kemudian dibagi menjadi dua bagian dan diuji menggunakan Afinion 2 serta Biorad D10 HPLC secara simultan. Pengukuran dengan Afinion 2 dilakukan dengan meneteskan sampel darah ke dalam kaset reagen, lalu hasil diperoleh dalam beberapa menit. Sementara itu, pengukuran dengan Biorad D10 HPLC dilakukan dengan memasukkan sampel ke dalam sistem kromatografi cair yang akan memisahkan dan mengidentifikasi HbA1c secara spesifik.

Setelah memperoleh hasil dari kedua alat, analisis data dilakukan dengan metode statistik untuk menentukan tingkat kesesuaian antara hasil pengukuran. Uji korelasi pearson digunakan untuk mengukur hubungan antara hasil dari Afinion 2 dan Biorad D10, sementara analisis regresi linear dilakukan untuk menilai pola hubungan antara keduanya. Selain itu, nilai koefisien determinasi (R^2) dihitung untuk melihat sejauh mana variasi hasil dari Afinion 2 dapat dijelaskan oleh metode referensi Biorad D10. Hasil penelitian juga dianalisis dengan uji signifikansi (*p-value*), di mana $p < 0,05$ menunjukkan bahwa hubungan antara kedua metode bersifat signifikan secara statistik.

Kriteria keberterimaan hasil ditentukan berdasarkan standar *Insert for Use* (IFU) Afinion 2, dengan nilai korelasi (R) yang diterima berada dalam rentang 0,96–1,02. Jika hasil uji banding menunjukkan korelasi yang tinggi ($R \geq 0,96$), tidak ada perbedaan yang bermakna secara statistik ($p > 0,05$), dan persamaan regresi linear mendekati $y = x$, maka alat Afinion 2 dapat dinyatakan akurat dan dapat digunakan sebagai alternatif alat diagnostik HbA1c.

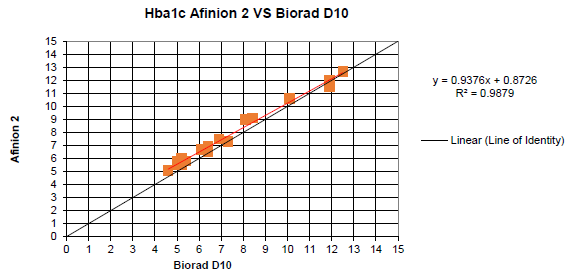
Penelitian ini dilakukan sesuai dengan standar *Good Clinical Laboratory Practice* (GCLP) dan prinsip *ethical clearance*, meskipun tidak melibatkan intervensi terhadap pasien. Semua sampel diperiksa secara anonim, dan hasil penelitian hanya digunakan untuk kepentingan ilmiah. Dengan menggunakan metode uji banding dan analisis statistik korelasional, penelitian ini bertujuan untuk menilai apakah Afinion 2 dapat menjadi alternatif alat diagnostik yang cepat, akurat, dan efisien dalam pemeriksaan HbA1c di laboratorium klinik (Ravinetto et al., 2016).

Hasil Kerja

1. Hasil Uji Banding Afinion 2 dengan Biorad D10 HPLC

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi akurasi alat Afinion 2 dalam pengukuran kadar HbA1c dengan membandingkannya terhadap Biorad D10 HPLC sebagai metode referensi. Sebanyak 20 sampel darah diuji menggunakan kedua alat, dan hasil pengukuran dibandingkan berdasarkan nilai korelasi, regresi linear, serta signifikansi statistik.

 ISSN 2987-677x



Gambar 1 Hasil Analisis Regresi Linier Metode Afinion HbA1c dengan Biorad D10

Gambar 1, menunjukkan grafik perbandingan antara hasil pengukuran kadar HbA1c menggunakan alat Afinion 2 dan metode referensi Biorad D10 HPLC. Berdasarkan hasil analisis, nilai korelasi Pearson (r) antara hasil pengukuran HbA1c menggunakan Afinion 2 dan Biorad D10 adalah 0,9879 dengan p-value < 0,001, yang menunjukkan korelasi yang sangat kuat dan signifikan secara statistik. Selain itu, persamaan regresi linear yang diperoleh adalah y = 0,9376x + 0,8726 dengan R^2 = 0,9879, yang menunjukkan bahwa hasil pengukuran dari Afinion 2 memiliki tingkat kesesuaian yang sangat tinggi dengan Biorad D10.

Berdasarkan kriteria penerimaan yang ditetapkan dalam *Insert for Use* (IFU) Afinion 2, yaitu korelasi R ≥ 0,96, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Afinion 2 memenuhi kriteria akseptabilitas dan dapat digunakan sebagai alat alternatif dalam pemeriksaan HbA1c di laboratorium klinik. Dari pola sebaran data, terlihat bahwa hasil dari Afinion 2 cenderung sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan Biorad D10, yang ditunjukkan oleh adanya deviasi kecil di beberapa titik data. Namun, perbedaan ini relatif kecil dan masih berada dalam batas toleransi klinis, yang mengindikasikan bahwa alat Afinion 2 dapat dijadikan alternatif yang andal dalam pemeriksaan kadar HbA1c.

2. Analisis Korelasi antara Afinion 2 dan Biorad D10 HPLC

Korelasi antara hasil pengukuran Afinion 2 dan Biorad D10 menunjukkan nilai r = 0,9879, yang berarti terdapat hubungan linier yang sangat kuat antara kedua metode. Korelasi ini menggambarkan bahwa hasil yang diperoleh dari Afinion 2 memiliki kecenderungan yang sangat mirip dengan hasil dari Biorad D10, sehingga alat ini dapat diandalkan dalam pengukuran HbA1c. Selain itu, nilai p < 0,001 menunjukkan bahwa hubungan antara kedua metode ini signifikan secara statistik, yang berarti kesamaan hasil antara kedua alat bukan terjadi secara kebetulan, melainkan memiliki dasar yang kuat secara ilmiah. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa alat berbasis *point-of-care testing* (POCT) seperti Afinion 2 memiliki korelasi yang tinggi dengan metode referensi berbasis HPLC, sehingga dapat menjadi solusi dalam pemeriksaan HbA1c yang lebih cepat dan efisien.

Analisis regresi linear dilakukan untuk melihat pola hubungan antara hasil pengukuran Afinion 2 dan Biorad D10. Hasil menunjukkan bahwa persamaan regresi yang diperoleh adalah y = 0,9376x + 0,8726, dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9879. Nilai R^2 yang mendekati 1,00 menunjukkan bahwa variasi hasil HbA1c yang diperoleh dari Afinion 2 dapat dijelaskan hampir sepenuhnya oleh hasil dari Biorad D10, yang berarti bahwa alat ini memiliki akurasi yang tinggi dalam pengukuran HbA1c. Persamaan regresi ini menunjukkan bahwa hasil Afinion 2 sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan Biorad D10, yang terlihat dari koefisien regresi yang sedikit kurang dari 1. Namun, perbedaan ini relatif kecil dan masih berada dalam rentang yang dapat diterima secara klinis. Oleh karena itu, perbedaan ini tidak berdampak signifikan terhadap keputusan klinis dalam pemantauan diabetes berdasarkan kadar HbA1c.

Meskipun terdapat korelasi yang sangat tinggi antara kedua alat, terdapat beberapa perbedaan kecil dalam hasil pengukuran. Rata-rata perbedaan antara hasil HbA1c dari Afinion 2 dan Biorad D10 berkisar antara -0,9 hingga 0,4 poin. Namun, perbedaan ini tidak bermakna secara klinis, mengingat nilai korelasi yang tinggi dan kesesuaian dengan kriteria akseptabilitas yang ditetapkan oleh IFU Afinion 2. Perbedaan hasil ini dapat disebabkan oleh perbedaan prinsip analisis dari kedua metode. Biorad D10 HPLC menggunakan metode pemisahan berbasis kromatografi yang mampu mendeteksi varian hemoglobin dengan lebih akurat, sedangkan Afinion 2 menggunakan metode *enzymatic immunoassay*, yang lebih cepat tetapi mungkin lebih rentan terhadap interferensi dari komponen darah lainnya. Namun, berdasarkan hasil penelitian ini, perbedaan tersebut tetap berada dalam batas yang dapat diterima dalam praktik klinis.

3. Kinerja Afinion 2 dalam Pengukuran HbA1c Dibandingkan dengan Biorad D10 HPLC

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa alat Afinion 2 memiliki korelasi yang sangat tinggi dengan metode referensi Biorad D10 HPLC dalam pengukuran HbA1c, dengan nilai r = 0,9879 dan p-value < 0,001. Nilai korelasi yang mendekati 1,00 menunjukkan bahwa hasil pengukuran dari kedua alat memiliki hubungan linier yang sangat kuat, yang berarti bahwa semakin tinggi kadar HbA1c yang terdeteksi oleh Biorad D10, semakin tinggi pula nilai yang ditunjukkan oleh Afinion 2. Hal ini menunjukkan bahwa Afinion 2 dapat diandalkan dalam pengukuran HbA1c, terutama dalam lingkungan laboratorium klinik yang membutuhkan metode cepat dan efisien (Radley et al., 2024). Selain itu, hasil analisis regresi linear dengan persamaan y = 0,9376x + 0,8726 dan R^2 = 0,9879 menunjukkan bahwa variasi hasil HbA1c yang diperoleh dari Afinion 2 dapat dijelaskan hampir sepenuhnya oleh metode Biorad D10 HPLC. Nilai R^2 yang sangat tinggi menunjukkan bahwa alat ini memiliki kesesuaian yang baik dengan metode referensi dan dapat digunakan untuk memantau kadar HbA1c dengan tingkat akurasi yang tinggi. Namun, terdapat sedikit perbedaan antara hasil yang diperoleh dari Afinion 2 dan Biorad D10, dengan rentang perbedaan antara -0,9 hingga 0,4. Meskipun demikian, perbedaan ini masih berada dalam batas yang dapat diterima berdasarkan standar *Insert for Use* (IFU) Afinion 2, yang menetapkan bahwa korelasi antara metode ini harus berada dalam rentang 0,96–1,02 agar dapat dianggap akurat.

4. Keunggulan dan Keterbatasan Afinion 2 dalam Pemeriksaan HbA1c

Berdasarkan hasil penelitian, Afinion 2 memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan Biorad D10 HPLC. Salah satu keunggulan utama adalah kecepatan analisis, di mana hasil dari Afinion 2 dapat diperoleh dalam

 ISSN 2987-677x

waktu kurang dari 5 menit, sedangkan metode HPLC pada Biorad D10 membutuhkan waktu sekitar 10–15 menit. Keunggulan ini menjadikan Afinion 2 lebih efisien dalam pengujian *point-of-care testing* (POCT) di laboratorium klinik dengan volume sampel yang tinggi. Selain itu, Afinion 2 lebih mudah digunakan karena tidak memerlukan prosedur pemrosesan sampel yang kompleks seperti pada Biorad D10. Sampel darah dapat langsung diaplikasikan ke dalam kaset reagen, sehingga alat ini lebih praktis untuk digunakan di lingkungan laboratorium yang memiliki keterbatasan tenaga atau fasilitas. Dari segi akurasi, Afinion 2 menunjukkan kesesuaian yang sangat tinggi dengan metode gold standard HPLC, dengan nilai korelasi r = 0,9879 dan R^2 = 0,9879, sehingga dapat diandalkan sebagai alternatif pemeriksaan HbA1c di laboratorium klinik.

Namun, meskipun memiliki berbagai keunggulan, Afinion 2 juga memiliki beberapa keterbatasan. Salah satunya adalah kemungkinan terjadinya interferensi karena metode yang digunakan, yaitu *enzymatic immunoassay.* Hasil pemeriksaan dapat sedikit dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti varian hemoglobin atau kondisi hematologis tertentu, yang dapat menyebabkan perbedaan hasil dibandingkan dengan metode HPLC. Selain itu, Afinion 2 tidak memiliki kemampuan untuk mendeteksi varian hemoglobin, berbeda dengan HPLC yang dapat mendeteksi varian tersebut. Oleh karena itu, dalam kondisi klinis tertentu, pemeriksaan dengan metode referensi HPLC mungkin masih diperlukan untuk memastikan hasil yang lebih akurat.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa alat Afinion 2 memiliki akurasi yang tinggi dalam pengukuran kadar HbA1c, dengan tingkat kesesuaian yang sangat baik dibandingkan metode referensi Biorad D10 HPLC. Hasil uji banding menunjukkan bahwa nilai korelasi pearson antara Afinion 2 dan Biorad D10 adalah 0,9879 dengan *p-value* < 0,001, yang menunjukkan hubungan linier yang sangat kuat dan signifikan secara statistik. Selain itu, persamaan regresi linear yang diperoleh, y = 0,9376x + 0,8726 dengan R^2 = 0,9879, mengindikasikan bahwa variasi hasil pengukuran HbA1c menggunakan Afinion 2 hampir sepenuhnya dapat dijelaskan oleh metode referensi Biorad D10, sehingga alat ini dapat dianggap sebagai metode alternatif yang valid dalam pemeriksaan HbA1c.

Keunggulan utama Afinion 2 terletak pada kecepatan analisis, dengan hasil yang dapat diperoleh dalam waktu 3–5 menit, dibandingkan dengan metode HPLC, yang memerlukan waktu sekitar 10–15 menit. Selain itu, Afinion 2 lebih mudah dioperasikan, tidak memerlukan prosedur pemrosesan sampel yang kompleks, serta hanya memerlukan volume sampel darah yang kecil (1,5 µL). Namun, meskipun memiliki akurasi yang tinggi, terdapat perbedaan kecil antara hasil pengukuran Afinion 2 dan Biorad D10, dengan rentang perbedaan antara -0,9 hingga 0,4 poin, yang meskipun tidak bermakna secara klinis, tetap perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil (Dayrit et al., 2023). Selain itu, Afinion 2 tidak mampu mendeteksi varian hemoglobin, sehingga pada pasien dengan kemungkinan hemoglobinopati atau kondisi hematologis tertentu, metode HPLC tetap menjadi pilihan utama untuk memastikan hasil yang lebih akurat (Hwang, 2016).

Ucapan Terima Kasih

Dalam penyelesaian artikel ini penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. PT. Abbott CMI tempat penulis bekerja;
2. Laboratorium Tirta yang telah berkenan melakukan uji banding;
3. Dr. Ir. Ivan Gunawan ST., M.MT., CSCM., IPM., ASEAN Eng. selaku Ketua Prodi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya;
4. Dra Ir. Adriana Anteng Anggorowati M.Si., IPU., ASEAN Eng. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membantu dalam proses pembuatan artikel ini;
5. Keluarga, Istri, dan anak - anak yang telah mendoakan dan memberikan *support* sehingga artikel ini dapat diselesaikan;
6. Teman-teman mahasiswa Prodi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya;
7. Semua pihak yang telah membantu penulis.

Referensi

American Diabetes Association (ADA). (2023). *The Grants Register 2024* (46th ed., January, p. 64), https://doi.org/10.1057/978-1-349-96073-6_16356.

Dayrit, G. B., Mok, D., Nabulsi, R., Eloyan, N., Chowdhury, S., & Ma, A. C. Y. (2023). Conformity evaluation of afinion 2 analyzer maintainability: Compliance practicality for Philippine National Standard PNS ISO 15189:2013 accreditation. *Acta Medica Philippina, 57*(11), 72.

Dutta, A., Bhansali, A., & Rastogi, A. (2023). Early and intensive glycemic control for diabetic foot ulcer healing: A prospective observational nested cohort study. *The International Journal of Lower Extremity Wounds, 22*(3), 578–587.

Hidayat, A. (2022). Implementasi pembangunan Sustainable Development Goals (SDG's) dalam meningkatkan kesejahteraan. *Jurnal Ilmiah Ilmu Pemerintahan, 5*(2), 55–62.

Hwang, A. S. (2016). *Fabrication of lateral flow immunosensor for the detection of hemoglobin A1c (HBA1C)* [Master's thesis, University of Malaya]. University of Malaya Repository.

International Diabetes Federation. (2013). In *Diabetes Research and Clinical Practice, 102*(2), https://doi.org/10.1016/j.diabres.2013.10.013.

Matasak, V. B. M., Siwu, J. F., & Bidjuni, H. (2018). Hubungan kadar HbA1c dengan neuropati pada penderita diabetes melitus tipe 2 di Poliklinik Kimia Farma Husada Sario Manado. *Jurnal Keperawatan, 6*(1).

Ningrum, V. D. A., Ikawati, Z., Sadewa, A. H., & Ikhsan, M. R. (2017). Kontrol glikemik dan prevalensi gagal ginjal kronik pada pasien diabetes melitus tipe 2 di Puskesmas wilayah Provinsi DIY tahun 2015. *Indonesian Journal of Clinical Pharmacy, 6*(2), 78–90.

ISSN 2987-677x

Ortiz-Martínez, M., Flores-DelaToba, R., González-González, M., & Rito-Palomares, M. (2021). Current challenges and future trends of enzymatic paper-based point-of-care testing for diabetes mellitus type 2. *Biosensors, 11*(12), 482.

Petersen, J. Z., Nilsson, M., Rungby, J., & Miskowiak, K. W. (2019). Characteristics influencing expected cognitive performance during hypoglycaemia in type 2 diabetes. *Psychoneuroendocrinology, 110*, 104431.

Radley, A., Beer, L., Rushdi, D., Close, H., McBurney, S., Mackenzie, A., Gourlay, A., Barnett, A., Grant, A., & Greig, N. (2024). Implementation of point-of-care HbA1C instruments into community pharmacies: Initial development of a pathway for robust community testing. *Annals of Clinical Biochemistry, 61*(4), 273–283.

Ravinetto, R., Alirol, E., Mahendradhata, Y., Rijal, S., Lutumba, P., Sacko, M., El-Safi, S., Lim, K., van Loen, H., & Jacobs, J. (2016). Clinical research in neglected tropical diseases: The challenge of implementing good clinical (laboratory) practices. *PLoS Neglected Tropical Diseases, 10*(11), e0004654.

Sari, N., & Purnama, A. (2019). Aktivitas fisik dan hubungannya dengan kejadian diabetes melitus. *Window of Health: Jurnal Kesehatan*, 368–381.

World Health Organization (WHO) Regional Office for South-East Asia. (2011). *Comprehensive guideline for prevention and control of dengue and dengue haemorrhagic fever* (Revised and expanded ed.). https://iris.who.int/handle/10665/204894.

Zineb, I. H., Adam, B., Imane, H., Mohamed, W. A., & Abdelkader, B. (2024). Role of HbA1c in the diagnosis of hemoglobinopathies. *Annals of Medical Laboratory Science, 3*(2), 126–137.

Wikipedia. (n.d.). *Tujuan Pembangunan Berkelanjutan*. https://id.wikipedia.org/wiki/Tujuan_Pembangunan_Berkelanjutan.

ISSN 2987-677x

Design Basis MAN Engine Power Plant

Rifqi Abdul Muiz[1] Adriana Anteng Anggorowati[2]

[1,2] Professional Engineer Study Program, Faculty of Engineering, Widya Mandala Surabaya Catholic University, Indonesia

[1] PT. Wijaya Karya Rekayasa Konstruksi

✉ rifqimuiz@gmail.com

Natural Gas (NG) demand in Indonesia is growing rapidly since NG is cleaner gas, environmentally friendly, and it has competitive price than oil or coal. Therefore, Indonesian Government plan to convert Diesel Fuel to Natural Gas for power generator. This power plant will consist of fuel gas metering system, diesel oil system, water treatment system, waste water treatment system, cooling water system, engine system, electrical system, piping system including instrument and control system.

Key Words: diesel fuel, natural gas, environmentally friendly, diesel oil system, water treatment system

Introduction

PT PLN plan to build fixed power plants that will utilize dual fuel gas engine technologies for power generation, with dual fuel burning capability (natural gas / HSD fuel oil as the combustion source) and the power plant will have the capability to operate and switchover between either fuel. The natural gas is intended to be primary fuel while the fuel oil will be the secondary or back up fuel when gas fuel is not available. The natural gas source will be from Liquified Natural Gas (LNG). PT PLN as government company from this project also support SDG (sustainable development goals). SDGs, or Sustainable Development Goals, are a global action plan agreed upon by countries, including Indonesia, to achieve sustainable development. The SDGs consist of 17 goals and 169 targets that are expected to be achieved by 2030. One of these goals is Industry, Innovation, and Infrastructure (Goal 9), which aims to build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization, and foster innovation. This goal aligns with the research conducted by the author, as the development of the Design Basis for the MAN Engine Power Plant signifies support for building resilient infrastructure. The expectation is to achieve higher levels of economic productivity through diversification, technological upgrading, and innovation, including a focus on high value-added and labor-intensive sectors.

Method

The design and specification of work shall be in accordance with all applicable laws and regulations of the government of Indonesia and with the applicable local codes and ordinances. The following is a summary list of codes and industry standards that may be used for design and construction of the plant. The applicable standard shall use the latest edition. A listing of the codes and industry standards to be used in design and construction follows:

1. NFPA 59 A: Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas;
2. API RP 14C: Analysis, Design, Installation and Testing of Basic Surface Safety Systems for Offshore Production Platforms;
3. API RP 520 Part 1: Sizing, Selection and Installation of Pressure Relieving Devices in Refineries, Part 1 Sizing and Selection, 2000;
4. API RP 520 Part 2: Sizing, Selection and Installation of Pressure Relieving Devices in Refineries, Part 2 Installation, 2000;
5. API RP 521: Guide for Pressure Relieving and Depressurization System;
6. API 526: Flanged Steel Safety Relief Valves for Flanged Pressure Relief Valves, 2002;
7. API Std 610: Centrifugal Pumps for Petroleum, Heavy Duty Chemical and Gas Industry Services
8. API 620: Design and Construction of Large, Welded, Low Pressure Storage Tanks;
9. API Std 6D: Specification for Pipeline Valves;
10. API Std 617: Axial and Centrifugal Compressors and Expander Compressors for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services;
11. API Std 618: Reciprocating Compressors for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services;
12. API Std 619: Rotary Type Positive Displacement Compressors for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services;
13. API 2350: Overfill Protection for Storage Tank in Petroleum Facility;
14. ASME SEC VIII: Boiler and Pressure Vessel Code, and Boiler and Pressure Vessel Code including all mandatory addenda, 2004 with 2005 addenda;
15. BS 7777 pt 1-3 Flat bottomed, vertical, cylindrical storage tanks for low temperature service;
16. ANSI S1.4, ANSI S12.18, ISO 6190, ASTM E1014 for environmental noise emission;
17. NFPA 70 article 501: All electrical equipment associated with fuel system;
18. ISO 22241: Diesel exhaust fluid (DEF) requirements;
19. US EPA or equivalent: Emission test instrumentation and test method;
20. ASME PTC 36: Sound emissions;
21. ASME PTC 17, ISO 15550, ISO 3046-1: Engine performance test;
22. NFPA 12, 70, 72, 750, 850, 2001: Fire protection equipment, controls, and accessories
23. ISO 3046-5: Vibration;
24. NFPA 56: Commissioning of fuel gas pipping system;

 ISSN 2987-677x

25. NFPA 37: Installation and use of stationary gas engines;
26. NFPA 70 and NFPA 497: Design and materials furnished herein shall meet all requirements for installation in an area classified as hazardous;
27. DIN EN 10208, DIN EN 10216, DIN EN 10217 or DIN EN 10305, DIN EN 13480-3. : The properties of pipping;
28. DIN EN 116: The process for determining the filterability;
29. EN 14078: Biodiesel content (FAME)

Design Basis

Process Description

This section broadly describes the various facilities along with the design guidelines of each one of these. The information provided here in shall however be used only as a guideline.

Fuel Gas System

The equipment of fuel gas system shall include gas coalescer, metering, regulating and delivering fuel to the facility. The fuel gas system shall be capable of delivering fuel to the electric generation units to allow operation at their full output simultaneously and for auxiliary equipment. Fuel gas will be transferred by gas pipe to inlet gas engine through coalescer filter for flowrate 3.25 MMSCFD, 10 bar, and 59 F. The operating pressure of gas engine is 6 bar (maximum 6.5 bar). The two full capacity pressure regulating stations shall be furnished to fulfill requirement of the electric generating unit manufacturer.

The gas filling station consists of:

1. Metering and analyzer skid consist of 100% turbine type flowmeter and gas chromatography for gas analyzer;
2. Two 100% capacity pressure regulating systems with pressure reducing valve;
3. Two 100% capacity coalescing filters;
4. One emergency shut-off valve;
5. Automatic Drain Trap

The fuel gas header shall be branched to feed each of electric generating units. Each branch pipe shall be equipped with non-return valve, isolation valve and purge line. This system related to book III subsection 4.5.4.3 and PFD number ENG-DED-BIK-PR-51-MR-001.

Fuel Oil System

Diesel fuel oil system will be designed for unloading capacity from 2 diesel fuel road tankers simultaneously (maximum capacity for 1 road tank: 20000 L), one hour for each truck, to storage tank with 2x100% unloading pump. A fuel oil transfer pump shall transfer oil from the main storage tank to a day tank trough a fuel oil purifier. The treated fuel oil shall be supplied to each generating package through a fuel oil forwarding pump. Main tank capacity shall be provided for minimum usable stock of fourteen (14) days and a HSD daily tank for three (3) days full load operation of electric generating units. Both main tank and HSD daily tank capacity shall be 100% CF (Capacity Factor). Tanks shall be constructed within a containment area capable of containing 110% of the largest tank capacity. Provision for drainage line for regular removing of any water and sludge from the tank shall be provided. Fuel storage tank inlet shall be located at the bottom of storage tank. Recirculating connections, where fitted, shall be located such that the returned fuel will not influence tank level reading. All pumps shall be equipped with strainer and check valve on pump discharge. The filters shall be the duplex type, each filter being 100% duty rated and valved to permit cleaning of the non-duty filter without interruption of the fuel-oil flow. Fuel oil supply line shall be equipped with provision of emergency shut-off pressure valve and accumulator. The fuel oil system shall be suitable for continuous unattended operation. This system related to book III subsection 4.5.4.3 and PFD number ENG-DED-BIK-PR-51-MR-001.

Protection System

The primary function of the fire protection system in to provide fire suppression and detection throughout the facility to support personnel's safety and minimize equipment damage and outage duration for repairs. All components in the fire protection water systems shall be able to design at 13 bar (175 psi). The fire protection system will be capable of delivering a total flow rate equal to the amount of water required to meet the greatest demand from fixed water suppression systems covering the single worst-case fire, or combination of systems that could be activated at the same time at the site plus a 1890 L/min hose stream for a minimum two hours duration. The pressure maintenance fire water (jockey) pump shall be designed to deliver make up for the allowable normal leakage rate within 10 minutes, or 3.8 L /min (whichever is greater).

Fire suppression systems must be designed in accordance with NFPA requirements or more stringent local codes. The maximum water velocity in the sprinkler and spray piping system shall be 6 m/s. Common areas requiring protection are:

1. Control Room (FM200 or equivalent
2. Oil-filled main, auxiliary, and startup transformers (deluge spray system)
3. Fuel Oil tanks (foam system)
4. Fire pump room (sprinklers)
5. Maintenance and workshop area (sprinklers)
6. Warehouse (sprinklers)

This system related to book III subsection 4.5.5 and PFD number ENG-DED-BIK-PR-51-SG-007.

Cooling Water System

This system will provide sufficient cooling duty or heat removal for the engine. To provide cooling water with this specification, the cooling water system will mainly consist of radiators, circulating pumps, make-up water piping and distribution circuits to provide the necessary cooling water services for the facility. The engine cooling duty needed will consists of 3756 kW High Temperature (HT) heat removal and 2301 kW Low Temperature (LT) heat removal. The HT cooling system will need 100 m3/hour cooling water, while LT cooling system will need 125 m3/hour cooling. The LT radiator will be designed to cool down the hot water coming from the engine at 45.5 C to 30.4 C. The HT Radiator will be designed to cool down the water in HT circulation from 67.94 C to 34.7 C. Both radiators use air at ambient temperature (23.4 C) as the cooling agent. This system related to book III subsection 4.5.9 and PFD number ENG-DED-BIK-PR-51-MJG-003.

Lubricating Oil System

The lube oil system designed to provide sufficient quantity of lubricating oil for lubricating and cooling purposes. The design of this facilities based on 194 m3/hour of SAE 40 lubricating oil circulation needed as stated by the engine manufacturer. The lubricating oil system will consist

 ISSN 2987-677x

of lube oil unloading pump, one lube oil storage tank, lube oil sump tank, lube oil maintenance tank, lube oil purifier and heat exchanger. This system related to book III subsection 4.5.10 and PFD number ENG-DED-BIK-PR-51-MBV-002.

Compressed Air System

This system will provide air needed for engine starting air and instrument purposes. The system will be designed to provide a minimum 30 bar clean air for the starting air requirement and 7 bar for instrument air supply. This system will mainly consist of two identical gas compressors (one service and one auxiliary), engine starter air receiver (vessel), instrument air receiver and air dryer system. The compressors will be designed to be able to charge the air receivers from atmospheric pressure to full pressure of 30 bar within one hour. The starting air receiver will be designed to withstand 32 bar service pressure and the design temperature is 50 C. This air receiver also has a role to supply the air to the instrument air receiver for instrument purposes. The air consumption is 3.8 Nm^3/hour to provide starting air and 18.9 Nm^3/hour to provide instrument air. The instrument air receiver will be designed to withstand 7.7 bar pressure. The total capacity for engine starter air receiver shall be for 12 consecutive engine starts. The starting air compressor unit shall be capable to fill the air receiver with required air for 2-3 start attempts per engine in 60 minutes unless otherwise accepted. This system related to book III subsection 4.5.6 and PFD number ENG-DED-BIK-PR-51-SCA-004.

Water Treatment Plant

This area will provide clean water supply for fire-fighting, cooling water system and domestic use. The water treatment plant will use water pond to store the raw water that will be the feed of this treatment plant. Raw water will be supplied from deep wells to the pond by a lift pump. The water treatment plant will mainly consist of water pond, sand filter, micro filter, SWRO, BWRO, NaOH injection system, NaOCl injection system, Membrane Chemical Dozing unit and Service Water Tank for general uses. This treatment plant also includes cartridge filter and reverse osmosis for cooling water supply. The overall plant will be designed to provide water supply for 171 m^3/hour fire-fighting water, 0.25 m^3/hour domestic use, and 0.11 m^3/hour for overall engine continuous water operation. The water specifications used as the basis are maximum 10dH hardness and maximum 50 ppm chloride ion content. This system related to book III subsection 4.5.8 and PFD number ENG-DED-BIK-PR-51-PD-005.

Wastewater Treatment Plant

Waste water system will be used to treat the waste water from:

1. WTP area (SWRO, BWRO cleaning)
2. Purifier (fuel oil and lube oil)
3. Pump house pit
4. Tank sump pit

Before these wastes can be disposed. The waste treatment plant mainly consists of drain pit, corrugated plate interceptor (CPI), oil tank, electric coagulant and sludge tank. This equipment will be designed to handle the estimated totally 0.03 m3/hour waste from each waste source mentioned above. The drain pit is the main storage of the waste that is to be treated. Waste water from drain pit will be sent to CPI for enhanced 3 phase separation (oil, water and solid suspension). This CPI equipment is sized based on the solid terminal velocity of solid particulate in oily water. For further disposal, the oil and sludge is being sent to the sludge tank before being disposed. The sludge tank is sized for 90 days storage of waste oil and sludge. And as for the water, the water is treated further by electro coagulant before being safely disposed into the environment. This system related to book III subsection 4.5.7 and PFD number ENG-DED-BIK-PR-51-RU-006.

HVAC System

The Ventilation and Air Conditioning System will maintain the environmental design conditions for equipment protection and for personnel safety and comfort. The Ventilation and Air Conditioning System will consist of the following major components:

1. Package or split type air conditioning units
2. Roof or wall exhausters (fans)\
3. Ductwork, refrigerant piping, piping, cabling, necessary accessories for a complete installation and proper operation.

The central control room (CCR) be be provided with ducted air conditioning and ventilation system with two 100 percent redundant packaged air conditioning units. The room ventilation will be designed to maintain differential positive pressure at 10 Pa. Control room shall be designed to maintain indoor condition of 20 °C ± 1 °C dry bulb temperature and 40% ± 5% relative humidity. All offices, locker rooms, kitchen/lunchroom, praying room, electrical and instrumentation warehouse, MCC area, switchgear room area, laboratory, water treatment control room, and battery room, will be air conditioned and ventilated by split type air conditioning units. The power generation equipment hall will be ventilated by roof type exhaust fans. The maintenance workshop is ventilated with air ducts and a fan system. Exhaust fans will be provided in restrooms. The warehouse shall be ventilated by wall exhausters and louvers, except for electrical and instrumentation storage rooms which will be enclosed and air conditioned.

Gas Composition

The typical composition of fuel gas offloaded from the gas pipe is summarized in the Table 1.

Table 1 Fuel Gas Specification (Reference: Bid Doc PLN)

No	Comp	Mole Frac
1	CH_4	0.9126
2	C_2H_6	0.0510
3	C_3H_8	0.0266
4	i-C_4H_{10}	0.0049
5	n-C_4H_{10}	0.0042
6	i-C_5H_{12}	0.0001
7	n-C_5H_{12}	0.0000
8	n-C_6H_{14}	0.0000
9	N_2	0.0000
10	O_2	0.0000
11	CO_2	0.0000
Total		1.0000
Molecular Weight		17.90

 ISSN 2987-677x

Gross Heating Value : 1114.939 BTU/ft^3
Low Heating Value : 1005.91 BTU/ft^3
Base Density : 0.047409 lb/ft^3 (0.75 kg/m^3)
Temperature : 59 F (15 ^{O} C)
Pressure : 10 bar

Diesel Fuel Specification

Table 2 Fuel Oil Specification
(Reference from Bid Doc PLN)

Characteristic	Unit	Result
Density at 15°C	Kg/m^3	815 - 860
Viscosity at 40°C	mm^2/s	2.0 - 4.5
Pour Point	degrees Celsius	18
Flash Point	degrees Celsius	52
Water Content	% mm/Kg	Max 500
FAME Content	% v/v	-
Carbon Residue	% m/m	Max 0.1
Sediment Content	% m/m	Max 0.01
Total Acid Number	mg KOH/g	Max 0.6
Gross Calorific Value	Kcal/liter	9302
Low Calorific Value	Kcal/liter	8775.47
Ash Content	% m/m	0.01

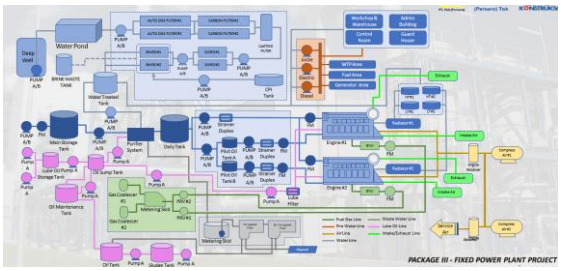


Figure 1 Flow Diagram Plant

Conclusion

The MAN Diesel & Turbo type 9L 51/60 DF is a dual-fuel engine that converts diesel fuel or natural gas into electrical or mechanical propulsion power efficiency and with low emissions. This dual-fuel engines are four-stroke engines with either liquid fuel or gas as main fuel. The engines are started and stopped only in liquid fuel mode. A lean-mixture of gas and air is provided to the combustion chamber of each cylinder by individually controlled gas admission valves. The mixture is ignited by a small amount of pilot diesel fuel. Heat rate for gas mode is 7773 kJ/kWh for electrical output 8910 kW in each engine. Heat rate for diesel mode is 8228 kJ/kWh for electrical output 8910 kW in each engine.

Reference

PT PLN (Persero). (2017). *Buku IPP: Power Purchase Agreement (Contract Book I, II & III)* [Buku resmi]. Jakarta: PT PLN (Persero). Retrieved from https://web.pln.co.id/statics/uploads/2017/05/Buku-IPP.pdf.

MAN Energy Solutions. (2023, November). *MAN 51/60DF stationary project guide* [Technical guide]. Augsburg, Germany: MAN Energy Solutions. Retrieved from https://man-es.com/applications/projectguides/4stroke/Propulsion/PG_P-II_5160DF.pdf.

MAN Energy Solutions. (2023, December). *MAN 51/60DF IMO Tier II & III marine: Technical documentation* [Technical guide]. Augsburg, Germany: MAN Energy Solutions. Retrieved from https://man-es.com/applications/projectguides/4stroke/manualcontent/PG_M-III_L2330DF.pdf.

ISSN 2987-677x

Analisa Produktivitas pada Fabrikasi Struktur Baja PT RKU

Michael Alan Surya Wijaya[1] , Adriana Anteng Anggorowati[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ michael.alan7@gmail.com

Pre-fabrikasi sebagai metode konstruksi inovatif mendukung pencapaian *sustainable development goals* (SDG's) 9 (industri berkelanjutan) dan 13 (penanganan perubahan iklim) melalui efisiensi sumber daya dan reduksi emisi. Namun, dalam proyek ini produktivitas fabrikasi struktur baja PT RKU tidak mencapai target yang diinginkan dan berisiko memperpanjang durasi proyek. Penelitian ini menganalisis faktor penghambat produktivitas serta menerapkan solusi perbaikan melalui studi kasus dengan observasi lapangan selama 22 hari (19 Januari–9 Februari 2022). Metode meliputi evaluasi alur material dan supervisi langsung di *workshop* PT RKU. Hasil identifikasi menunjukkan tiga masalah utama, yaitu penggunaan alat yang tidak tepat, penataan *storage* yang tidak benar, dan lain lain. Solusi mencakup optimalisasi penggunaan alat yang tepat, penataan ulang tempat fabrikasi, dan monitoring progress yang rutin. Implementasi ini berhasil meningkatkan produktivitas rata-rata menjadi 31,55 ton/hari, dengan capaian tertinggi 38,67 ton/hari. Meski terdapat penurunan produktivitas pada hari libur, studi membuktikan bahwa penataan alur kerja dan pemanfaatan teknologi tepat guna mampu mendukung industri hijau serta kemitraan berkelanjutan (SDG 17).

Kata kunci: profesionalisme, studi kasus, produktivitas, prefabrikasi, struktur baja, sustainable development goals.

Pendahuluan

Pre-fabrikasi merupakan sebuah metode konstruksi yang inovatif hal ini dikarenakan dapat membantu meminimalkan kegiatan konstruksi di area kontruksi untuk dapat memastikan kualitas produk yang baik (Chauhan et al., 2019). Perbedaan paling utama antara pre-fabrikasi dengan metode konvensional adalah bahwa hampir sebagian besar komponen bangunan diproduksi di luar dari area konstruksi (Wicaksono & Priyanto, 2023). Pre-fabrikasi sebagai metode konstruksi inovatif tidak hanya meningkatkan kualitas produk, tetapi juga mendukung prinsip keberlanjutan melalui pengurangan limbah dan emisi karbon (*sustainable development goals* nomor 9 dan 13).

SDG No. 9 lebih tepatnya *item* 9.4 yang menyatakan "Pada tahun 2030, meningkatkan infrastruktur dan retrofit industri agar dapat berkelanjutan, dengan peningkatan efisiensi penggunaan sumber daya dan adopsi yang lebih baik dari teknologi dan proses industri bersih dan ramah lingkungan, yang dilaksanakan semua negara sesuai kemampuan masing-masing". Hal ini berkaitan terhadap studi kasus ini yang berfokus pada efisiensi sumber daya dalam pre-fabrikasi dan potensi pengurangan limbah serta emisi sejalan dengan SDG 9.4. Optimalisasi penggunaan alat dan penataan alur kerja juga merupakan bagian dari upaya membuat industri lebih berkelanjutan.

Selain itu, SDG No. 13 lebih tepatnya item 13.4 yang menyatakan "Meningkatkan pendidikan, penumbuhan kesadaran, serta kapasitas manusia dan kelembagaan terkait mitigasi, adaptasi, pengurangan dampak dan peringatan dini perubahan ikim". Hal ini berkaitan terhadap studi kasus ini yang berfokus pada upaya meningkatkan pengetahuan dan kapasitas dalam menerapkan metode konstruksi yang lebih efisien dan berpotensi ramah lingkungan. Keberhasilan implementasi solusi dapat menjadi contoh praktik baik.

Produktivitas merupakan kemampuan untuk dapat menghasilkan sesuatu sebagai rasio antara *input* dengan *output*nya (Panas & Pantouvakis, 2010). Dalam arti lain produktivitas merupakan sebuah alat ukur keberhasilan dalam suatu industri untuk dapat menghasilkan produk (Alrizal et al., 2020).

PT RAPP sebuah pabrik kertas di Provinsi Riau pada tahun 2021-2022 hendak melakukan ekspansi untuk dapat meningkatkan kapasitas produksi pulp nya. Maka dari itu, dilakukan ekspansi beberapa *plant*. Untuk dapat mendukung ekspansi tersebut salah satunya diperlukan konstruksi *pipe bridge* baru dengan total BOM struktur baja modular lebih kurang 6000 ton. Pekerjaan 6000 ton struktur baja tersebut dilakukan oleh dua kontraktor PT SMP dan PT PMB.

Hal tersebut berkaitan juga dengan SDG No. 17 lebih tepatnya item 17.16 yang menyatakan "Meningkatkan kemitraan global untuk pembangunan berkelanjutan, dilengkapi dengan kemitraan berbagai pemangku kepentingan yang memobilisasi dan membagi pengetahuan, keahlian, teknologi dan sumber daya keuangan, untuk mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan di semua negara, khususnya di negara berkembang". Hal ini berkaitan dengan studi kasus ini yang berfokus pada keberhasilan implementasi dan potensi adopsinya oleh industri lain yang menunjukkan adanya potensi untuk berbagi pengetahuan dan praktik baik. Ini dapat memperkuat kemitraan dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan di sektor konstruksi.

ISSN 2987-677x

PT SMP memperoleh pekerjaan terbesar sebanyak 3500 ton. Dalam melakukan proyek tersebut PT SMP bekerja dengan pihak ketiga yaitu PT RKU, sebuah *workshop* fabrikasi struktur baja di Panongan, Tangerang. Dalam seiring berjalannya waktu, PT SMP melalui *partner*-nya PT RKU tidak dapat menghasilkan produktivitas yang diharapkan oleh PT RAPP yaitu 30 ton per hari. Maka dari itu, observasi dan juga upaya perbaikan dilakukan selama periode 19 Januari 2022 hingga 9 Februari 2022.

Metode

Dalam penulisan artikel ini, metode yang digunakan adalah metode studi kasus, dimana observasi atau pengumpulan data dilakukan secara langsung hadir dan berpartisipasi secara nyata di lokasi *workshop* dari PT RKU didampingi juga oleh PT SMP agar dapat mengevaluasi hal-hal yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produktivitas. Metode pengumpulan data yang dilakukan adalah dengan data primer dimana didapatkan secara langsung dilakukan melalui observasi di lapangan.

Hasil Kerja

Produktivitas Pemotongan *Plate* Yang Tidak Efisien

Sesampainya di lokasi *workshop* PT RKU, observasi dilakukan pada pemotongan *plate* baja yang dilakukan secara manual, sementara di lokasi *workshop* PT RKU terdapat mesin CNC yang *standby* tapi tidak digunakan. Maka dari itu, hasil observasi ini segera didiskusikan dengan pihak PT RKU untuk segera memberikan izin agar Mesin CNC dapat digunakan dan dapat mempercepat produktivitas pemotongan *plate*.

Gambar 1 memperlihatkan mesin CNC milik PT RKU yang tidak digunakan dalam proses produksi. Gambar 2 menunjukkan proses pemotongan *plate* baja secara manual. Gambar 3 menunjukkan hasil *plate* baja yang telah melalui proses pemotongan mesin CNC.

Gambar 1 Mesin CNC yang Tidak Terpakai Diambil Tanggal 20 Januari 2022

Gambar 2 Pemotongan *Plate* Baja Secara Manual pada Tanggal 20 Januari 2022

Gambar 3 Pemotongan *Plate* Baja Menggunakan CNC pada Tanggal 25 Januari 2022

Penumpukan Material *Inlet Sandblasting*

Selain daripada kasus pemotongan *plate* yang telah dijelaskan sebelumya, hasil observasi juga menemukan terjadinya penumpukkan *fabricated materials* untuk *inlet sandblasting* dan menempati area lini produksi, sehingga menghambat mobilisasi material di lini produksi dan mempersempit area produksi. Hal ini dapat terjadi dikarenakan kapasitas *sandblasting* daripada PT RKU tidak sebanding dengan produksi. Kapasitas *Sandblasting* dari PT RKU hanya mampu menerima 15 ton per hari, sementara sebelum observasi dilakukan produktivitas *fabricated materials* telah mencapai sebanyak 16 – 19 ton per hari. Hal ini berdampak pada akumulasi penumpukan material. Maka dari itu, hasil observasi segera disampaikan ke pihak PT RKU untuk memberikan area penyimpanan sementara untuk dapat menyimpan material tersebut agar tidak mengganggu lini produksi.

Gambar 4 dan Gambar 5 memperlihatkan akumulasi penumpukan material fabrikasi yang mengganggu area lini produksi. Gambar 6 merupakan area yang direncanakan sebagai penyimpanan sementara, akan tetapi PT RKU perlu melakukan pembersihan area terlebih dahulu dikarenakan juga terlalu banyak material tidak terpakai oleh PT RKU dan disimpan di area tersebut yang perlu dibersihkan dahulu sehingga dapat digunakan. Gambar 7 merupakan gambar yang menunjukkan area penyimpanan sementara setelah dibersihkan oleh PT RKU dan juga telah mulai digunakan sebagai area penyimpanan material fabrikasi sementara sebelum masuk ke dalam area *sandblasting*.

Gambar 4 Penumpukan Material *Bracing* di Area Lini Produksi

 ISSN 2987-677x

Gambar 5 Penumpukan *Column* di Lini Produksi

Gambar 6 Area Proposal *Temporary Storage* pada Tanggal 22 Januari 2022

Gambar 7 *Temporary Storage* Mulai Digunakan Tanggal 28 Januari 2022

Peningkatan Produktivitas

Dari beberapa hasil observasi yang telah disampaikan sebelumnya dan juga beberapa hasil observasi lainnya yang tidak bisa dijelaskan semuanya dalam artikel studi kasus ini, selama dalam masa observasi di *workshop* PT RKU pada rentang periode 19 Januari 2022 hingga 9 Februari 2022, produktivitas dapat ditingkatkan seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Produksi Harian

No.	Tanggal	Target Produksi (Ton)	
		Rencana	Aktual
1	20-Jan-22	30	16.01
2	21-Jan-22	30	24.02
3	22-Jan-22	30	27.30
4	23-Jan-22	30	27.80
5	24-Jan-22	30	32.40
6	25-Jan-22	30	32.41
7	26-Jan-22	30	27.92
8	27-Jan-22	30	31.58
9	28-Jan-22	30	37.61
10	29-Jan-22	30	34.75
11	30-Jan-22	30	34.93
12	31-Jan-22	30	36.45
13	01-Feb-22	30	28.38
14	02-Feb-22	30	36.26
15	03-Feb-22	30	38.34
16	04-Feb-22	30	38.67
Rata-Rata Produksi per hari (Ton)			**31.55**

Sumber: Data primer yang diolah

Dapat dilihat hasil produksi harian dari PT RKU setelah adanya pembenahan yang dilakukan, produktivitas telah mencapai diatas 30 ton per hari pada tanggal 24 Januari 2022. Dengan produksi tertinggi berada di Tanggal 4 Februari 2022, yaitu mencapai 38.67 ton per hari.

Akan tetapi, meskipun kapasitas produksi telah tercapai sesuai yang ditargetkan, masih terdapat data produksi yang menurun seperti terlihat di tanggal 26 Januari 2022 dan 1 Februari 2022. Hal ini dikarenakan pada tanggal 26 Januari 2022 merupakan hari gajian karyawan dari PT RKU sehingga mereka pulang lebih cepat atau tanpa lembur apabila dibadingkan dengan hari-hari lainnya. Sementara pada tanggal 1 Februari 2022 merupakan hari libur nasional Tahun Baru Imlek, sehingga banyak pekerja yang mengambil hari libur di tanggal tersebut untuk istirahat.

Kesimpulan

Dari apa yang telah dipaparkan sebelumnya pada Hasil Kerja, dapat dilihat bahwa faktor-faktor seperti penataan tempat baik untuk lini produksi dan area *storage* dan penggunaan alat yang tepat dapat membantu meningkatkan produktivitas dalam bekerja. Hal ini sesuai dengan yang telah disampaikan oleh (Tanne et al., 2024), bahwa terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi produktivitas antara lain letak material dan tempat pengerjaan, jumlah pekerja, tunjangan, serta alat dan material.

Ucapan Terima Kasih

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan rahmat-Nya, dapat diberikan kesempatan untuk menyelesaikan artikel prosiding ini tepat waktu. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada orang tua karena telah menyempatkan waktu untuk datang ke Tangerang, berangkat dari Jawa Tengah untuk memberikan *support* kepada penulis selama periode observasi.

Terima kasih juga diberikan kepada pihak PT SMP dan PT RKU yang selama masa pengawasan penulis di lokasi *workshop*, telah membantu mewujudkan permintaan pembenahan penulis dan segera eksekusi. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada PT RAPP karena telah memberikan kesempatan bagi penulis untuk dapat mengembangkan *skill* lebih lanjut selama melakukan observasi.

ISSN 2987-677x

Referensi

Alrizal, F. F., Choiriyah, S., & Saputro, L. E. A. (2020). Identifikasi faktor penyebab keterlambatan waktu dan mutu pekerjaan pada proyek ruko (rumah toko) green junction citraland. *Jurnal IPTEK*, *24*(1), 53–58.

Chauhan, K., Peltokorpi, A., Lavikka, R., & Seppänen, O. (2019). Deciding between prefabrication and on-site construction: A choosing-by-advantage approach. *Proceedings of the 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, 749–758.

Panas, A., & Pantouvakis, J. P. (2010). Evaluating research methodology in construction productivity studies. *The Built & Human Environment Review*, *3*(1), 63–85.

Tanne, Y. A., Pratama, A. P., & Rahardian, R. (2023). Analisis produktivitas operasi pemasangan balok baja (studi kasus: Pembangunan kampus II Universitas Pasundan). *Media Komunikasi Teknik Sipil*, *29*(2), 233–242.

Wicaksono, A. B., & Priyanto, B. (2023). Analisa produktivitas tenaga kerja pada pekerjaan fabrikasi baja pada fabrikasi baja majalengka. *Jurnal Sosial Teknologi*, *3*(5), 401–408.

ISSN 2987-677x

Perencanaan *Fire System* pada Tangki T-35001 dan T-35002 PT Multimas Nabati Sulawesi

Andrikhe Hamdani[1], Jeremia Barnabas[2], Fikri Luthfi[3], Adriana Anteng Anggorowati[4]

[1,2,3,4] Program Studi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[1,2,3] PT. Wilmar Nabati Indonesia (WINA) Gresik

✉ andrikhehamdani86@gmail.com

The design of the fire system for storage tanks T-35001 and T-35002 at PT Multimas Nabati Sulawesi aims to ensure comprehensive fire protection in accordance with NFPA and API standards. These tanks, with a capacity of 5,000 KL, utilize a covered floating roof closed design to minimize evaporation and enhance operational safety. Given the high fire risk in the oleochemical industry, a fixed water spray system has been implemented to provide effective cooling and prevent fire escalation. The system requires 900.75 m^3/h of fire water, distributed through 120 spray nozzles for the shell area and 31 nozzles for the roof area, with a minimum pipe size of 9.22 inches to ensure adequate water flow. Additionally, a foam system is integrated to combat flammable liquid fires, requiring 771.66 m^3/h of foam solution, comprising 21.2 m^3 of foam concentrate and 686.13 m^3 of water for a 55-minute discharge duration. The selection of Type D3 brass and stainless steel nozzles ensure durability in harsh environments, reducing maintenance costs while maintaining high performance. The combination of fire water spray and foam systems is strategically designed to provide rapid fire suppression, mitigate potential hazards, protect company assets, and ensure compliance with industrial safety regulations. Through precise calculations and adherence to safety standards, this fire protection system enhances the reliability and effectiveness of fire mitigation strategies in critical storage facilities.

Keywords: *fire water, foam, NFPA, fire fighting*

Pendahuluan

Sustainable Development Goals (SDG's) merupakan komitmen global dan nasional dalam upaya untuk menyejahterakan masyarakat mencakup 17 (tujuh belas) tujuan dan sasaran global tahun 2030 yang dideklarasikan baik oleh negara maju maupun negara berkembang di Sidang Umum PBB pada September 2015. Tujuan nomor 9 (industri, inovasi, dan infrastruktur, yaitu membangun infrastruktur yang tangguh, mempromosikan industrialisasi yang inklusif dan berkelanjutan, serta mendorong inovasi. Tujuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan penulis, karena dengan melakukan perencanaan *fire system* pada tangki T-35001 dan T-35002 di industri oleokimia, artinya peneliti telah mendukung pembangunan infrastruktur yang tangguh. Harapannya, dapat mencapai tingkat produktivitas ekonomi yang lebih tinggi, melalui diversifikasi, peningkatan dan inovasi teknologi, termasuk fokus pada peningkatan nilai tambah tinggi dan sektor padat karya.

Industri oleokimia melibatkan bahan-bahan mudah terbakar dan proses kimia yang kompleks, sehingga memiliki potensi bahaya kebakaran dan ledakan yang tinggi. Sistem pemadam kebakaran yang efektif menjadi krusial untuk melindungi keselamatan pekerja dan mencegah kerugian aset perusahaan. Dari deteksi dini hingga pemadaman aktif, sistem proteksi kebakaran berperan vital dalam menjaga nyawa, aset, keberlangsungan operasional, sekaligus memastikan kepatuhan terhadap regulasi keselamatan. Penerapan standar keselamatan kebakaran secara ketat bukan sekadar pedoman sukarela, kepatuhan terhadap standar tersebut "sangat penting untuk mencegah bahaya kebakaran, melindungi jiwa, dan memastikan kepatuhan hukum". Dengan demikian, keberadaan *fire system* yang andal tidak hanya melindungi tenaga kerja dan properti, tetapi juga membantu perusahaan memenuhi persyaratan peraturan (misalnya *fire code* atau standar OSHA) serta persyaratan asuransi dan audit keselamatan.

Karakteristik bahan dan proses di sektor oleokimia menimbulkan risiko kebakaran spesifik yang perlu diantisipasi. Bahan baku dan produk oleokimia sering berupa cairan yang mudah menyala (misalnya pelarut *n-hexane* dan metanol) serta bahan padat yang bisa mengalami reaksi spontan. Menurut pedoman keselamatan IFC/World Bank, pabrik oleokimia berisiko mengalami ledakan uap pelarut (contohnya uap *n-hexane* yang sangat mudah terbakar) dan kebakaran material sisa proses. Salah satu contoh adalah *spent bleaching earth* (ampas tanah pemucat yang terkontaminasi minyak). Material limbah ini dapat mengalami oksidasi sendiri sehingga menyebabkan panas dan terbakar secara spontan. Penelitian menunjukkan *spent bleaching earth* sering mengandung 30–50% minyak terperangkap, yang saat terpapar udara dapat teroksidasi dan memicu swabakar (*self-ignition*). Demikian pula, katalis bekas yang bersifat piroforik dan suhu proses yang tinggi dapat menjadi pemicu kebakaran jika tidak ditangani dengan prosedur keamanan yang tepat. Selain itu, beberapa fasilitas oleokimia menggunakan hidrogen (misalnya untuk hidrogenasi minyak) dan gas hidrogen ini menambah potensi bahaya karena sangat mudah meledak. Oleh sebab itu, penyimpanan hidrogen harus dirancang aman dan dilengkapi detektor kebocoran. Kombinasi faktor-faktor tersebut menjadikan lingkungan pabrik oleokimia rawan terhadap kebakaran, sehingga memerlukan langkah pencegahan yang komprehensif.

 ISSN 2987-677x

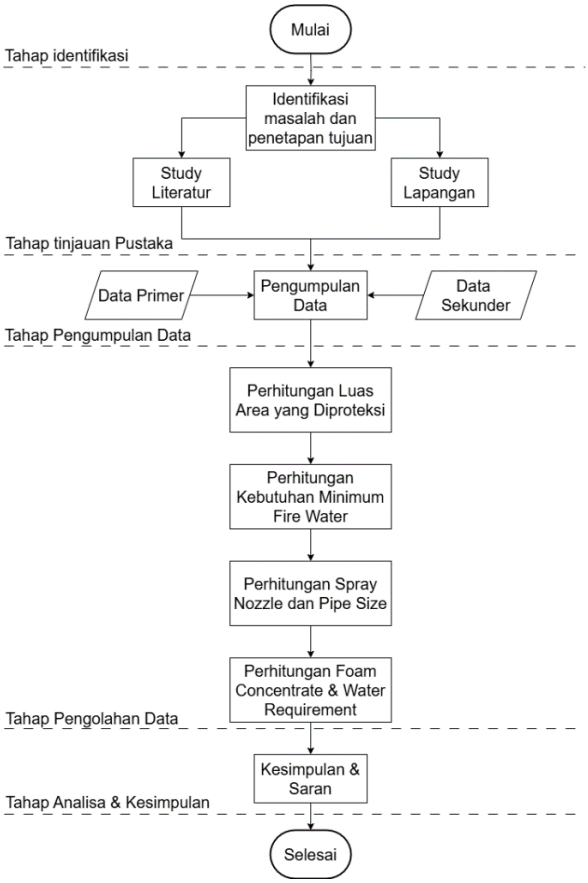
Untuk mengendalikan risiko kebakaran, industri oleokimia harus mengacu pada standar keselamatan kebakaran yang diakui secara internasional. NFPA 30 (*flammable and combustible liquids code*) merupakan standar utama yang mengatur penyimpanan dan penanganan cairan mudah terbakar dan menyala. Tujuan NFPA 30 adalah memberikan langkah-langkah pengamanan dasar guna mengurangi bahaya terkait penyimpanan, penanganan, dan penggunaan cairan mudah terbakar dan mudah menyala. Standar ini berlaku bagi semua pihak yang terlibat dalam penggunaan dan penyimpanan cairan berbahaya tersebut. Dengan mengikuti NFPA 30, perusahaan oleokimia diharapkan dapat mencegah terjadinya akumulasi uap yang mudah terbakar, memastikan fasilitas penyimpanan (tangki, drum, *warehouse*) dilengkapi proteksi kebakaran memadai, serta mengurangi potensi sumber penyulut. Contohnya, NFPA 30 mengklasifikasikan cairan dalam kelas bahaya (kelas I, II, III) dan menetapkan persyaratan seperti penggunaan *sprinkler* atau sistem busa pemadam untuk gudang dan tangki berisi pelarut yang mudah menyala.

Selain NFPA 30, NFPA 15 (*standard for water spray fixed systems*) juga sangat relevan bagi industri oleokimia. NFPA 15 mengatur desain dan instalasi sistem *water spray* tetap (misalnya sistem *deluge*) untuk proteksi kebakaran. Sistem *water spray* ini umumnya diterapkan pada *hazard* khusus yang membutuhkan penanganan cepat, misalnya untuk mendinginkan peralatan proses yang terpapar panas tinggi atau mengendalikan api yang menyebar cepat di area terbuka. Menurut NFPA 15, sistem semprot air dilokasikan untuk melindungi peralatan seperti reaktor, tangki penyimpanan, kolom distilasi, dan konveyor, dengan tujuan menahan laju penyebaran api serta mendinginkan struktur agar tidak mengalami kegagalan akibat panas. Implementasi sistem *deluge*/*water spray* ini penting di pabrik oleokimia, contohnya pada tangki penyimpanan metanol atau minyak, dimana jika terjadi kebakaran, semprotan air otomatis dapat mencegah ledakan tangki dengan menjaga suhu tangki tetap rendah.

Standar NFPA lainnya yang kerap dijadikan acuan mencakup NFPA 13 (instalasi *sprinkler* otomatis di bangunan industri), NFPA 11 (sistem busa pemadam untuk cairan mudah terbakar), serta NFPA 25 (inspeksi dan pemeliharaan sistem proteksi kebakaran berbasis air). Bagi fasilitas oleokimia yang melakukan ekstraksi minyak dengan pelarut, NFPA 36 (*standard for solvent extraction plants*) juga relevan karena memberikan persyaratan khusus untuk mencegah kebakaran dan ledakan di unit ekstraksi *solvent* (misalnya penggunaan *hexane* pada pabrik ekstraksi minyak nabati). Penerapan standar-standar ini secara terpadu memastikan bahwa sistem pemadam kebakaran aktif (seperti *sprinkler*, *hydrant*, dan alat pemadam api ringan) maupun pasif (seperti dinding tahan api dan sistem ventilasi ledakan) telah sesuai *best practice*, sehingga tingkat risiko kebakaran dapat diminimalkan dan kepatuhan terhadap regulasi terjamin.

Metode

1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2. Alur Tahapan Perancangan Sistem

Diagram alir pada perencanaan sistem proteksi kebakaran ini menggambarkan alur sistematis yang dimulai dari identifikasi permasalahan hingga perhitungan teknis dan rekomendasi desain. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa *fire system* yang dirancang sesuai dengan kondisi aktual, memenuhi standar keselamatan industri seperti NFPA dan API, serta dapat diandalkan saat terjadi kebakaran.

Tahapan dimulai dengan identifikasi masalah dan analisis kondisi lapangan, dilanjutkan dengan pengumpulan data teknis tangki. Kemudian dilakukan perhitungan area yang perlu diproteksi, kebutuhan minimum air pemadam, jumlah dan tipe *nozzle*, ukuran pipa, serta sistem *foam* (termasuk volume larutan busa dan konsentratnya). Seluruh tahapan ini dirancang untuk menghasilkan sistem pemadam kebakaran yang efektif, efisien, dan sesuai dengan regulasi yang berlaku.

3. Tahap Identifikasi Masalah

Penerapan *fire system* pada tangki di PT Multimas Nabati Sulawesi menghadapi beberapa tantangan yang perlu diidentifikasi untuk memastikan efektivitas dan kepatuhan terhadap standar keselamatan seperti NFPA dan API. Tantangan utama meliputi kesesuaian desain sistem dengan standar yang berlaku, ketersediaan dan kapasitas *fire water supply*, serta efektivitas *foam system* dalam menangani kebakaran minyak. Selain itu, perlu dipastikan bahwa ukuran dan distribusi pipa, jumlah serta posisi *nozzle* dan *hydrant*, serta integrasi dengan sistem deteksi kebakaran sudah optimal agar sistem dapat berfungsi dengan baik. Dengan mengatasi tantangan ini, sistem

 ISSN 2987-677x

proteksi kebakaran dapat berjalan optimal, melindungi aset perusahaan, dan memastikan keselamatan pekerja.

4. Analisis

Pada tahap ini perlu diketahui apakah *design* yang sudah diperhitungan sudah sesuai dengan kondisi di lapangan serta kebutuhan yang ada. Hal ini dimaksudkan agar desain dapat tepat guna dan dapat diandalkan ketika terjadi kejadian kebakaran.

Hasil Kerja

1. Pengumpulan Data untuk Tangki T-35001 dan T-35002

Pada PT Multimas Nabati Sulawesi tipe tangki yang digunakan untuk tangki T-35001 dan T-35002 adalah tangki dengan sistem *covered floating roof closed*. Kedua tangki ini memiliki kapasitas 5.000 kiloliter (KL), sehingga mampu menampung volume yang cukup besar untuk keperluan industri. Dengan diameter 19,26 meter dan tinggi 19,5 meter, tangki ini menawarkan ruang yang optimal untuk menjaga kestabilan dan kualitas bahan yang disimpan. Desain *covered floating roof closed* berfungsi untuk meminimalkan penguapan serta melindungi isi tangki dari kontaminasi eksternal, sehingga meningkatkan efisiensi operasional dan aspek keselamatan dalam penggunaannya.

2. Perhitungan Luas Area yang Diproteksi

Perhitungan area yang diproteksi bertujuan untuk menentukan kebutuhan air yang akan digunakan untuk pemadaman apabila terjadi kebakaran di area tersebut. Dengan memahami total area yang diproteksi, desain *fire water system* dapat dibuat lebih akurat dan efektif. Dari data yang telah dikumpulkan berdasarkan tipe dan dimensi dari tangka T-35001 dan T-35002, maka dapat dilakukan perhitungan area yang diproteksi dengan cara menambahkan *shell area* tank dan *cone roof tank*.

Perhitungan *shell area tank* dapat dilakukan menggunakan rumus berikut.

$$A_S = \pi \times D \times H$$

Dimana:

A_S : *Area shell* (m^2)
D : Diameter tank (m)
H : Tinggi tank (m)

Sehingga didapatkan nilai *area shell* sebagai berikut:

$A_S = \pi \times 19{,}26\ m \times 19{,}5\ m$
$A_S = 1.180{,}36\ m^2$

Lalu untuk perhitungan *cone roof area* dapat dilakukan menggunakan rumus berikut.

$$A_R = 0{,}25 \times \pi \times D^2$$

Dimana:

A_R : Area *roof* (m^2)
D : Diameter *tank* (m)

Sehingga didapatkan nilai *sroof area* sebagai berikut:

$A_R = 0{,}25 \times \pi \times (19{,}26\ m)^2$
$A_R = 291{,}46\ m^2$

Berdasarkan hasil perhitungan *area shell* dan *roof*, untuk tangki T-35001 dan T-35002, maka didapatkan nilai area yang diproteksi sebagai berikut.

$A = A_S + A_R$
$A = 1.180{,}36\ m^2 + 291{,}46\ m^2$
$A = 1.471{,}82\ m^2$

Hasil perhitungan di atas menunjukkan bahwa total area yang diproteksi untuk satu buah tangki yaitu sebesar $1.471{,}82\ m^2$. Oleh karena itu, hasil di atas dapat dijadikan acuan untuk menghitung nilai kebutuhan minimum *fire water* tangki T-35001 dan T-35002.

3. Perhitungan Kebutuhan Minimum *Fire Water*

Kebakaran di tangki penyimpanan terutama bahan yang mudah terbakar dapat berlangsung lama dan membutuhkan jumlah yang besar agar tidak terjadi *escalation fire*. Perhitungan kebutuhan minimum *fire water* memastikan bahwa *supply* air tidak akan habis sebelum kebakaran terkendali. Perhitungan kebutuhan minimum *fire water* dapat dilakukan dengan mengetahui *design application rate* yaitu sebesar 10,2 lpm/m^2 berdasarkan *standard* NFPA untuk *fire water spray* (pendinginan tangki), sehingga dapat dihitung kebutuhan minimum *fire water* baik untuk *shell* dan *cone roof*.

$$Q_{min,S} = A_S \times q$$
$$Q_{min,R} = A_R \times q$$

Dimana:

$Q_{min,S}$: Kebutuhan minimum *fire water* untuk *shell area* (m^3/hr)
$Q_{min,R}$: Kebutuhan minimum *fire water* untuk *roof area* (m^3/hr
A_S : Area *shell* (m^2)
A_R : Area *roof* (m^2)
q : *Design Application Rate* (10,2 lpm/m^2 = 0,612 m^3/hr/m^2)

Sehingga didapatkan nilai kebutuhan minimum *fire water* untuk *shell area* dan *roof area* sebagai berikut.

$Q_{min,S} = 1.180{,}36\ m^2 \times 0{,}612\ m^3/hr/m^2$
$Q_{min,S} = 722{,}38\ m^3/hr$
$Q_{min,R} = 291{,}46\ m^2 \times 0{,}612\ m^3/hr/m^2$
$Q_{min,R} = 178{,}37\ m^3/hr$

Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan minimum *fire water shell* dan *roof* untuk tangki T-35001 dan T-35002, maka didapatkan nilai total minimum *fire water* untuk total areas sebagai berikut.

$Q = Q_{min,S} + Q_{min,R}$
$Q = 722.{,}38\ m^3/hr + 178{,}37\ m^3/hr$
$Q = 900{,}75\ m^3/hr$

Hasil perhitungan di atas menunjukkan bahwa total kebutuhan minimum *fire water* untuk satu buah tangki yaitu sebesar $900{,}75\ m^2$. Sehingga, hasil di atas dapat dijadikan acuan untuk menghitung jumlah kebutuhan *spray nozzle* dan *pipe size* untuk masing-masing tangki.

4. Perhitungan *Spray Nozzle* dan *Pipe Size*

Perhitungan kebutuhan *spray nozzle* dilakukan untuk memastikan distribusi air yang efektif, dengan penempatan *nozzle* yang tepat serta *pipe size* yang sesuai maka air dapat dialirkan sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan tampat menyebabkan kehilangan tekanan. *Nozzle* dengan *type* D3 (*brass & stainless steel*) dipilih karena ketahanannya terhadap korosi dan lingkungan yang esktrem, sehingga *lifetime* dari *nozzle* akan lebih lama dan mengurangi biaya operasional dengan *orifice size* no. 64. Perhitungan jumlah *spray nozzle* dapat dilakukan menggunakan rumus berikut.

$$N_S = Q_{min,S} / Q_N$$
$$N_R = Q_{min,R} / Q_N$$

 ISSN 2987-677x

Dimana:
N_S : Jumlah minimum *nozzle shell*
N_R : Jumlah minimum *nozzle roof*
$Q_{min,\ S}$: Kebutuhan minimum *fire water* untuk *shell area* (m^3/hr)
$Q_{min,\ R}$: Kebutuhan minimum *fire water* untuk *roof area* (m^3/hr)
Q_N : *Nozzle flowrate* (6 m^3/hr)

Sehingga didapatkan jumlah kebutuhan *nozzle* untuk masing-masing area sebagai berikut.
N_S = 722,38 m^3/hr / 6 m^3/hr
N_S = 120 *nozzles*
N_R = 178,37 m^3/hr / 6 m^3/hr
N_R = 31 *nozzles*

Sedangkan untuk perhitungan *pipe size* untuk *fire water* dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$d = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times v}}$$

Dimana:
d : *Pipe size* (m)
Q : Kebutuhan minimum *fire water* (m^3/hr)
V : Kecepatan air dalam pipa (6 m/s)
Sehingga didapatkan *size pipe* untuk *fire water* sebesar.

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 900{,}75}{\pi \times 6}}$$

d = 0.23 m
d = 9.22 inch

Dari perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa jumlah kebutuhan *nozzle* untuk masing-masing area yaitu 120 untuk *area shell* dan 31 untuk *area roof*. Sedangkan untuk *size* minimum pipa yang dibutuhkan yaitu sebesar 9.22 inch.

5. Perhitungan *Foam Concentrate* & *Water Requirement*

Berdasarkan NFPA *Section* 3-2.4.3 dan Tabel 5.9.2.4, *design application rate* untuk *foam system* yaitu 4.1 LPM/ft^2 dengan *dischare time* 55 min. Perhitungan kebutuhan *foam concentrate* dan *water* dapat dilakukan menggunakan tahapan perhitungan sebagai berikut.

$$Q_F = q_F \times A_R$$

Dimana:
Q_F : Foam *solution flowrate* (m^3/hr)
q_F : Design *application rate* (4.1 LPM/ft^2 = 2.65 m^3/hr/m^2)
A_R : Area *roof* (m^2)
Sehingga didapatkan kebutuhan *foam solution flowrate* yaitu sebesar:
Q_F = 2,65 m^3/hr/m^2 x 291,46 m^2
Q_F = 771,66 m^3/hr

Berdasarkan NFPA 11, kebutuhan *foam concentrate* dalam *solution* yaitu sebesar 3%.

$$Q_C = 3\% \times Q_F$$

Dimana:
Q_C : *Foam concentrate flowrate* (m^3/hr)
Q_F : *Foam solution flowrate* (m^3/hr)
Sehingga didapatkan kebutuhan *foam concentrate flowrate* sebesar.
Q_C = 3% x 771.66 m^3/hr
Q_C = 23,15 m^3/hr

Kebutuhan air untuk *foam solution* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$Q_W = Q_F - Q_C$$
Q_W = 771,66 m^3/hr - 23,15 m^3/hr
Q_W = 748,51 m^3/hr

Total kebutuhan *foam concentrate* dan air selama *discharge time* yaitu:

$$V_C = Q_C \times 55/60 \text{ hr}$$
$$V_W = Q_W \times 55/60 \text{ hr}$$

Dimana:
V_C : Volume *foam concentrate* (m^3/hr)
V_W : Volume *water* (m^3/hr)
Sehingga didapatkan kebutuhan *foam concentrate* dan air sebesar.
V_C = 23,15 m^3/hr x 55/60 hr
V_C = 21,2 m^3
V_W = 748,51 m^3/hr x 55/60 hr
V_W = 686,13 m^3

Dari perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa jumlah kebutuhan *foam solution* untuk melindungi tangki T-35001 dan T-35002 ysaitu sebesar 771,66 m^3/hr dengan kebutuhan *foam concentrate* dan air yang digunakan untuk *discharge time* selama 55 menit yaitu 21,2 m^3 dan 686,13 m^3.

Kesimpulan

Perencanaan *fire system* pada tangki T-35001 dan T-35002 di PT Multimas Nabati Sulawesi memastikan proteksi kebakaran yang optimal sesuai standar NFPA dan API. Dengan kapasitas 5.000 KL, sistem *fire water spray* dirancang untuk pendinginan dengan kebutuhan air 900,75 m^3/jam, menggunakan 120 *nozzle* untuk *shell* dan 31 *nozzle* untuk *roof*, serta pipa 9,22 inch. Untuk kebakaran cairan mudah terbakar, *sistem foam* memerlukan 771,66 m^3/jam *foam solution*, termasuk 21,2 m^3 *foam concentrate* dan 686,13 m^3 air selama 55 menit. Kombinasi *fire water* dan *foam system* ini dirancang untuk respons cepat, melindungi aset, serta memenuhi standar keselamatan industri.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala bantuan yang telah diberikan, kepada:
1. Rektor Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengikuti program profesi insinyur di UKWMS;
2. Dra. Ir. Adriana Anteng Anggorowati, M.Si., IPU., ASEAN Eng. selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan masukan dan meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan artikel ini;
3. Dr. Ir. Suratno Lourentius, MS., IPM. selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran terhadap penilaian profesi insinyur bagi penulis;
4. Bapak Liew Teik Wei selaku atasan penulis di PT Wilmar International Limited atas kesempatan dan dukungan yang diberikan untuk menyelesaikan program profesi insinyur ini;
5. Rekan-rekan lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penyusunan karya ilmiah ini.

 ISSN 2987-677x

Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk karya tulis ini dan berharap karya tulis ini dapat bermanfaat bagi setiap orang yang membutuhkan.

Referensi

Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. (2020). *Peta jalan SDGs Indonesia: Tujuan pembangunan berkelanjutan (Sustainable Development Goals/SDGs) Indonesia 2020–2030*. Bappenas. https://sdgs.bappenas.go.id/website/wp-content/uploads/2021/02/Roadmap_Bahasa-Indonesia_File-Upload.pdf.

ChemAnalyst. (2023, March 14). *Fire at Emery Oleochemicals successfully contained after explosion*. https://www.chemanalyst.com/NewsAndDeals/NewsDetails/fire-at-emery-oleochemicals-successfully-contained-after-explosion-16628.

Febriyanti, F., & Sa'adah, S. (2021). Evaluation of fire mitigation and fire protection in a cooking oil processing company. *Indonesian Journal of Occupational Safety and Health, 10*(1), 43–55. https://doi.org/10.20473/ijosh.v10i1.2021.43-55.

Impact Fire Services. (2024, October 16). *The top 6 NFPA standards you should know*. https://resources.impactfireservices.com/top-six-nfpa-standards.

International Finance Corporation. (2007). *Environmental, health, and safety guidelines for oleochemicals manufacturing*. World Bank Group. https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2000/2007-oleochemicals-manufacturing-ehs-guidelines-en.pdf

National Fire Protection Association. (2022). *NFPA 15: Standard for water spray fixed systems for fire protection* (2022 ed.). NFPA. https://www.edufire.ir/storage/Library/ETFA-ABI/NFPA/NFPA%2015-2022.pdf

Smallwood, N. J. (2015). *Use of spent bleaching earth for economic and environmental benefit*. Lipid Library. https://lipidlibrary.aocs.org/resource-materials/use-of-spent-bleaching-earth-for-economic-and-environmental-benefit

Tech Services NJ. (2022, August 17). *Protecting lives and property with fire protection systems*. https://techservicesnj.com/protecting-lives-and-property-with-fire-protection-systems/

ISSN 2987-677x

Analisis Tingkat Kekritisan Asset di *Paper Machine* Menggunakan *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) untuk Menentukan Fokus *Preventive Maintenance* di PT XYZ

Robertus Herodian Sitanggang[1] Adriana Anteng Anggorowati[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ gordyan12@gmail.com

SDGs yang diluncurkan PBB yang bertujuan menjadi pilar terjadinya pembangunan yang berkelanjutan. Agenda SDGs berisi 17 tujuan/goals yang tersebar ke dalam empat pilar pembangunan berkelanjutan, yaitu pilar pembangunan sosial, pilar pembangunan ekonomi, pilar pembangunan lingkungan, dan pilar hukum dan tata kelola. Pada setiap *goal* terdapat 1 (satu) atau lebih target (total terdapat 169 target), dan pada setiap target, terdapat 1 (satu) atau lebih indikator. Di urutan kesembilan terdapat industri, inovasi, dan infrastruktur. Industrialisasi berkelanjutan melibatkan peningkatan kontribusi sektor industri terhadap PDB sambil meminimalkan dampak lingkungan. Terdapat berbagai industri yang bergerak di Indonesia, salah satunya *industry pulp* dan kertas. Industri pulp dan kertas merupakan salah satu industri yang dapat menunjang perekonomian nasional. PT XYZ yang bergerak di industri pulp dan kertas berkontribusi dengan tujuan SDGs tersebut. Sehingga, dilakukan analisis terkait dengan fokus *preventive maintenance* pada salah satu *paper machine*. Dilakukan analisis terhadap 500 data *functional location* yang terdapat pada *paper machine* di PT XYZ menggunakan FMEA. Hal ini untuk menentukan fokus *preventive maintenance*. Sehingga dengan demikian, dapat mencegah atau mengurangi *downtime* maupun tidak tercapainya kualitas dari kertas. Hasil analisis tersebut dibagi menjadi 3 kategori, yakni A (tertinggi), B (menengah), dan C (rendah).

Kata kunci: SDGs, *downtime*, *FMEA*, *preventive maintenance*, kategori ABC

Pendahuluan

Pembangunan berkelanjutan sudah diperkenalkan sejak Konferensi Lingkungan di Stockholm tahun 1972. Namun demikian, konsep dan cara pembangunan berkelanjutan memerlukan waktu lama untuk dapat diterima oleh pelaku di luar bidang lingkungan. Baru-baru ini dengan lahirnya deklarasi tentang tujuan pembangunan berkelanjutan atau *sustainable development goals* (SDGs) pada tahun 2015, masyarakat di semua negara mulai memandang penting pembangunan berkelanjutan untuk diimplementasikan (Alisjahbana & Murniningtyas, 2018). Pada tahun 2015, PBB mengeluarkan *Sustainable Development Goals* (SDGs). Di urutan kesembilan terdapat industri, inovasi dan infrastruktur. Agenda SDGs berisi 17 tujuan/*goals* yang tersebar ke dalam empat pilar pembangunan berkelanjutan, yaitu pilar pembangunan sosial, pilar pembangunan ekonomi, pilar pembangunan lingkungan, serta pilar hukum dan tata kelola.

Pada setiap *goal* terdapat 1 (satu) atau lebih target (total terdapat 169 target), dan pada setiap target, terdapat 1 (satu) atau lebih indikator (per April 2022 terdapat total 248 indikator) (BPKRI, 2021). Industri, inovasi, dan infrastruktur adalah pendorong utama pertumbuhan ekonomi dan pembangunan berkelanjutan. Mereka menyediakan dasar untuk meningkatkan standar hidup, menciptakan lapangan kerja, dan mendorong kemajuan teknologi. Infrastruktur yang tangguh mendukung sistem transportasi, energi, dan komunikasi, yang penting untuk fungsi masyarakat dan ekonomi (SDGs Center Universitas Sumatera Utara, 2024).

Industrialisasi berkelanjutan melibatkan peningkatan kontribusi sektor industri terhadap PDB sambil meminimalkan dampak lingkungan. Terdapat berbagai instustri yang bergerak di Indonesia salah satunya industri pulp dan kertas. Industri pulp dan kertas merupakan salah satu industri yang dapat menunjang perekonomian nasional. Industri pulp dan kertas merupakan industri dengan perkembangan yang baik, dilihat dari masih terbuka luas tingkat konsumsi kertas perkapita penduduk Indonesia (Wulandari, 2007). Kegiatan utama dalam industri pulp dan kertas adalah proses *pulping* (proses pembuatan bubur kertas), proses *bleaching* (proses pemutihan bubur kertas), dan mengubah bubur kertas menjadi kertas (Fitriyanti, 2016).

PT XYZ yang bergerak di industri pulp dan kertas juga berkontribusi dalam pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan 2030 memiliki beberapa *paper machine*. Dalam rangka mencapai industri yang berkelanjutan, PT XYZ sangat memperhatikan kualitas dari setiap proses produksi hingga hasil dari proses produksi. *Paper machine* terbagi menjadi menjadi beberapa bagian yakni *headbox, forming, press section, pre-dryer, sizer, after dryer, calender,* dan *reel*. Bahan baku yang masuk ke *headbox* merupakan bubur kertas yang nantinya akan menjadi kertas berkualitas setelah sampai di *reel*.

Salah satu cara yang terbaik untuk mencapai kesuksesan pada sebuah perusahaan dapat dilakukan dengan cara mengimplementasi sistem *Enterprise Resource Planning* (ERP) yang merupakan solusi aplikasi multi modul dengan pengemasan bisnis yang dapat mengintegrasikan proses

 ISSN 2987-677x

bisnis dan kinerja perusahaan, pendistribusian data umum, pengengelolaan sumber daya, serta perusahaan mampu mengotomatiskan proses bisnis yang ada dalam perusahaan tersebut. Dengan menggunakan sistem ERP, seluruh departemen pada perusahaan akan terintegrasi dalam satu sistem yang berfungsi meningkatkan efektivitas dan efisiensi perusahaan (Rahman, 2018).

SAP merupakan *system* ERP yang sangat banyak digunakan di industri. Terdapat banyak modul yang saling terintegrasi satu sama lainnya, seperti *material management, plant maintenance, project system, sales and distribution, project system,* dan lain sebagainya. Modul *plant maintenance* terdapat *functional location* yang berfungsi untuk mengkodekan semua aset di lapangan. *Function location* merepresentasikan sitem objek atau aset yang terpasang di area.

Dalam rangka menjaga *runability paper machine* PT XYZ memperhatikan berbagai aspek seperti *downtime* mesin. *Downtime* di *paper machine* adalah waktu saat mesin tidak dapat menghasilkan kertas yang siap dipasarkan. Sehingga, perlu dilakukan analisis tingkat kekritisan peralatan/aset untuk menentukan fokus pemeliharaan rutin. Maka, perlu dipastikan bahwa setiap tindakan *preventive maintenance* dilakukan pada *equipment* yang memiliki tingkat kekritisan tinggi. Analisis kekritisan sangat diperlukan untuk menentukan tingkat kekritisan suatu *asset* maupun mengindentifikasi *asset* terpenting pada pabrik. Saat mesin tidak bekerja dengan baik, maka akan terjadi kerugian produksi.

Metode

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah sebuah teknik rekayasa yang digunakan untuk menetapkan, mengidentifikasi, dan untuk menghilangkan kegagalan yang diketahui, permasalahan, error, dan sejenisnya dari sebuah sistem, desain, proses, dan atau jasa sebelum mencapai konsumen (Stamatis, 1995). Dalam FMEA, setiap kemungkinan kegagalan yang terjadi dikuantifikasi untuk dibuat prioritas penanganan. Bentuk kegiatan FMEA tidaklah baku. Setiap perusahan memiliki bentuk masing masing untuk mencerminkan kepentingan organisasi dan permasalahan pada pelanggan. Arahan kriteria nilai setiap perusahaan mencerminkan kepentingan organisasi, proses, produk dan kebutuhan pelanggan (Andiyanto et al., 2016).

Hasil Kerja

Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan menggunakan aplikasi SAP perusahaan PT XYZ. Data *functional location* tersebut akan diurutkan sesuai dengan *section* di *paper machine* yaitu dari *headbox* hingga *reel*. *Functional location* tersebut merupakan representasi dari aset dan peraltan yang terpasang di lapangan. Berikut ini merupakan gambaran data *functional location* yang telah dikumpulkan seperti terlihat dalam Tabel 1.

Tabel 1 Data *Functional Location* pada *Paper Machine* di PT XYZ

	Section	*Functional location*	Deskripsi
1	*Headbox*	803-6903-533-PM3-FOR-533E014	*Loading unit*
2	*Headbox*	803-6903-533-PM3-FOR-533E021	*Save all (disc filter) bttm wire*
499	*Reel*	803-6903-533-PM3-REL-533E480	*Spreader roll*
500	*Reel*	803-6903-533-PM3-REL-533E481	*Tension measuring roll*

Analisis Kekritisan Menggunakan FMEA

Dalam melakukan analisis terhadap tingkat kekritisan aset di *paper machine* dibuatkan data acuan untuk menentukan nilai indeks sesuai dengan dampak dari kegagalan terserbut. Berikut ini merupakan dampak kegagalan, bobot hingga nilai dari setiap kriteria kegagalan. Berikut ini merupakan beberapa potensi menyebabkan terjadinya *downtime* dan tidak tercapatinya kualitas kertas di PT XYZ antara lain:

1. *Flow transmitter* tidak berfungsi dengan baik sehingga aliran fluida tidak dapat dikontrol dengan baik;
2. *Control valve* dan on/off valve tidak dapat dikontrol dari *control system*;
3. Pengukuran linear sensor tidak akurat sehingga kualitas kertas tidak sesuai dengan yang diharapkan;
4. *Offtrack* sensor tidak berfungsi dengan baik sehingga mesin breakdown;
5. *Weighting system* tidak berfungsi dengan baik sehingga permukaan roll tidak rata sehingga mesin *breakdown*.

Dari beberapa skenario kegagalan di *paper machine* tersebut, dibuatkan data dampak dan bobot dari kegagalannya. Beberapa hal-hal yang perlu diperhatikan untuk menentukan tingkat kekritisan suatu aset di industri pulp dan kertas (Maki, 2015):

1. Kerugian produksi, dapat dikategorikan menjadi *downtime* peralatan di unit proses maupun kerugian produksi pada unit utama produksi.
2. Kesehatan, keselamatan kerja dan lingkungan hidup.
3. Biaya pemeliharaan, termasuk pengadaan sparepart dan jasa.
4. MTBF (*mean time between failure*), rata-rata waktu antara kegagalan pada mesin.

Faktor–faktor dampak setiap kegagalan di atas. Berikut ini merupakan tabel data untuk bobot dan nilai dari setiap dampak dari kegagalan aset di *paper machine*. Dalam menentukan nilai dari setiap kriteria dari item keselamatan perlu dilakukan analisis lagi. Misalnya, ketika suatu kegagalan di *paper machine* memiliki konsekuensi keselamatan yang serius dan itu sangat mungkin terjadi maka kriteria keselamatannya V dengan nilai 16.

Tabel 2 Data *Functional Location* pada *Paper Machine* di PT XYZ

Faktor	Bobot	Kriteria	Nilai
Efek kerugian produksi (*downtime* peralatan di unit proses)	40	Tidak ada kerugian produksi	0
		Kerugian produksi di bawah 2 Jam	1
		Kerugian produksi 2 - 8 Jam	2

 ISSN 2987-677x

		Kerugian produksi 8 - 24 Jam	3
		Kerugian produksi di atas 24 Jam	4
Dampak kehilangan produksi pada unit utama produksi	30	Tidak berdampak pada mesin utama	0
		Mesin akan berhenti setelah 8 jam	4
		Mesin akan berhenti setelah dalam waktu 0- 8 jam	8
		Mesin akan langsung berhenti	16
Dampak lingkungan	10	Tidak berdampak pada lingkungan	0
		Berdampak di dalam pabrik	1
		Konsekuensi eksternal	2
		Melebihi standar lingkungan	8
Kesehatan dan kelesamatan kerja (K3)	10	I	1
		II	2
		III	4
		IV	8
		V	16
MTBF	30	MTBF lebih dari 10 tahun	1
		MTBF antara 5 - 10 tahun	2
		MTBF antara 2 - 5 tahun	4
		MTBF 6 bulan - 2 tahun	6
		MTBF dibawah 6 hulan	8
Dampak biaya pemeliharaan (*spareparts* dan tenaga kerja)	30	Biaya pemeliharaan kurang dari Rp. 20.000.000	0
		Biaya pemeliharaan antara Rp. 20.000.000 - Rp. 200.000.000	1
		Biaya pemeliharaan antara Rp. 200.000.000 – Rp. 400.000.000	2
		Biaya pemeliharaan antara Rp. 400.000.0000 – Rp. 1.000.000.000	4
		Biaya pemeliharaan lebih dari Rp.1.000.000.000	8

Tabel 3 Data Penentuan Kriteria K3

I		Kemungkinan terjadi		
Konseku.		Tidak mungkin	Mungkin	Sangat mungkin
	Tidak ada konsekuensi	I	II	III
	Ringan	II	III	IV
	Serius	III	IV	V

Penentuan indeks kekritisan aset berdasarkan nilai dari perkalian kriteria dan bobot dari setiap faktor. Lalu nilai setiap *factor* dijumlahkan dan menjadi nilai indeks kekritisan aset tersebut. Berikut ini merupakan penjelasan dari perhitungan indeks kekritisan dari suatu *functional location*:

Tabel 4 Cara Perhitungan Indeks Kekritisan *Functional Location*

Functional location	Deskripsi	Tipe Kegagalan	
			Efek kerugian produksi (*downtime* peralatan di unit proses) (Bobot : 40)
	Guiding	*Guiding failure*	2 Kerugian produksi 2 - 8 jam
			Dampak kehilangan produksi pada unit utama produksi (Bobot : 30)
			16 Mesin akan langsung berhenti
			Dampak lingkungan (Bobot : 10)
			0 Tidak berdampak pada lingkungan
			Dampak K3 (Bobot : 10)
			1 -
			MTBF (Bobot 30)
			8 MTBF lebih dari 10 tahun
1			Biaya pemeliharaan (Bobot 30)
1			0 Biaya pemeliharaan antara Rp. 400.000.0000 – Rp. 1.000.000.000
Indeks kekritisan	= (2 x 40) + (16 x 30 + (0 x 10) + (1 x 10) + (8 x 30) + (0 x 30) = 810		

Hasil Analisis

Indeks kekritisan suatu aset dapat dikategorikan menjadi 3, yaitu A (tinggi), B (menengah), dan C (rendah). Kategori ABC bervariasi tergantung dari proses dan hasilnya akan berbeda untuk setiap *paper machine*. Secara umum Ketiga tingkatan tersebut digolongkan sesuai dengan indeks kekritisannya. Aset dengan tingkat kekritisan tertinggi haruslah yang terkecil, sekitar 20% pada industri pulp dan kertas. Tingkat kekritisan kedua memiliki porsi yang terbesar

 ISSN 2987-677x

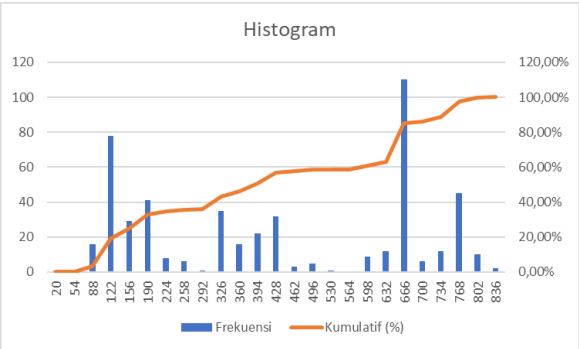
sekitar 50 % dan lainnya merupakan kategori C. Hasil analisis terhadap 500 data *functional location* yang dilakukan didapatkan nilai indeks kekritisan aset seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 5 Hasil Analisis Kekritisan Aset pada *Paper Machine* di PT XYZ

Indeks Kekritisan	Frekuensi	Kumulatif
20	1	0,20%
54	0	0,20%
88	16	3,40%
122	78	19,00%
156	29	24,80%
190	41	33,00%
224	8	34,60%
258	6	35,80%
292	1	36,00%
326	35	43,00%
360	16	46,20%
394	22	50,60%
428	32	57,00%
462	3	57,60%
496	5	58,60%
530	1	58,80%
564	0	58,80%
598	9	60,60%
632	12	63,00%
666	110	85,00%
700	6	86,20%
734	12	88,60%
768	45	97,60%
810	10	99,60%
836	2	100%

Data hasil analisis kekritisan aset pada *paper machine* dari Tabel 5 jika dibuat grafik, terlihat seperti pada Gamber 1. Hasil pengujian dari berbagai skenario kegagalan terhadap 500 *functional location* didapati rentang indeks kekritisan antara 20 sampai 836. Sehingga tingkat kekritisan aset tersebut dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Kategori A memiliki indeks kekritisan 836-666
2. Kategoti B memiliki indeks keritisan 632-190
3. Kategori C memiliki indeks kekritisan 156-20



Gambar 1 Hasil Analisis Kekritisan Aset pada *Paper Machine* di PT XYZ

Indeks kekritisan terendah menunjukkan bahwa aset tersebut tidak terlalu penting sehingga tidak terlalu dibutuhkan *preventive maintenance* pada aset tersebut. Indeks kekritisan yang tinggi mengidentifikasikan bahwa aset/bagian yang sangat penting di *paper machine*. Sehingga harapannya dilakukan pemeliharaan yang rutin.

Kesimpulan

Hasil pengujian terhadap 500 data *functional location* pada salah satu *paper machine* yang terdapat di PT XYZ didapatkan nilai indeks kekritisan dari 20-836. Hasil nilai indeks kekritisan tersebut dibagi menjadi 3 kategori yaitu A, B, dan C. Kategori A mengindikasikan *asset* tersebut memiliki tingkat kekritisan yang tinggi dengan nilai 666 -836. Dengan kata lain, *asset* tersebut sangat penting pada *paper machine* tersebut. Kategori B merupakan tingkat kekritisan menengah dengan nilai 190-632. Kategori C memiliki tingkat kekritisan rendah dengan nilai 20-156. Saran dari hasil penentuan tingkat kekritisan *asset* dari 500 data yang termasuk ke kategori Av didaftarkan *maintenance plan* di SAP. Sehingga, sistem akan otomatis mengeluarkan *maintenance order* untuk mengingatkan melakukan tindakan pemeliharaan rutin.

Ucapan Terima Kasih

Dalam kesempatan ini diucapkan terima kasih kepada orang tua yang telah memberikan *support*, Ibu Adriana Anteng Anggorowati selaku dosen pembimbing yang membantu memeriksa dan memberikan masukan untuk perbaikan artikel, Fransiska Fitri Sari Lumban Tobing dan Fanny Rohadatul Aisy yang membantu bertukar pendapat dalam penulisan artikel ini, serta Wellyarto yang telah meminjamkan laptop untuk dipergunakan dalam perkuliahan.

Referensi

Alisjahbana, S. A., & Murniningtyas, E. (2018). *Tujuan pembangunan berkelanjutan di Indonesia: Konsep, target, dan strategi implementasi*. Bandung: UNPAD Press.

Badan Pengawasan Keuangan Republik Indonesia. (2016). *Peran Badan Pemeriksa Keuangan Republik Indonesia dalam Sustainable Development Goals*. Jakarta: BPKRI.

Eerik. (2024, April 30). *Criticality analysis A/B/C category definition Riau Paper*. Makalah disajikan dalam RAK. Pangkalan Kerinci: APRIL.

Fitriyanti, R. (2016). *Penerapan produksi bersih pada industri pulp dan kertas*. *Jurnal Redoks*, *1*(2), 16–25. https://doi.org/10.31851/redoks.v1i2.2025.

Hanif, M., Sukma, R., & Susanty, A. (2015). Perbaikan kualitas produk keraton luxury di PT. X dengan menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA). *Jurnal Jurnal Online Teknik Industri Itenas*, 3(3), 137–146. https://ejurnal.itenas.ac.id/index.php/rekaintegra/article/view/879/1113.

Maki, K. (2025, Juli 23). *Valmet criticality tool guidelines*. Makalah disajikan dalam rapat di RAK. Pangkalan Kerinci: APRIL.

ISSN 2987-677x

Rahman, F. (2018). Evaluasi penerapan enterprise resources planning (ERP) terhadap penyajian laporan keuangan (studi kasus di PT. Surya Citra Televisi). *Jurnal KREATIF: Pemasaran, Sumberdaya Manusia dan Keuangan*, *6*(3), 109–126.

Stamatis, D. H. (1995). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. Milwaukee, WI: ASQC Quality Press.

Universitas Sumatera Utara. (2024). *Tujuan pembangunan berkelanjutan (TPB): Sustainable Development Goals (SDGs)*. Medan: SDGs Center Sumatera Utara.

Wulandari, A. (2007). Struktur dan kinerja industri kertas dan pulp di Indonesia: Sebelum dan pascakrisis. *Jurnal Ekonomi Pembangunan*, *12*(2), 210–225.

ISSN 2987-677x

Penggunaan Dua Sumber Pasokan Gas Alam untuk Kebutuhan Sumber Energi di PT Mayora Indah Tbk Plant Cibitung, Bekasi

Ardian Umbara[1] Adriana Anteng Anggorowati[2]

[1,2] Program Studi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[1] Factory Manager, Divisi M1, PT Mayora Indah Tbk

✉ ardian.umbara@gmail.com

Gas alam adalah salah satu sumber energi utama yang dipergunakan PT Mayora Indah Tbk Plant Cibitung. Penggunaan gas alam yang dipasok oleh PT PGN (Perusahaan Gas Negara) dipergunakan untuk menunjang kegiatan operasionalnya. *Gas boiler, gas engine, absorption chiller*, dan *oven* produksi membutuhkan gas alam sebagai bahan bakar utamanya. Namun, dikarenakan pasokan gas alam dari PT PGN mengalami penurunan dan kemudian PT PGN berupaya untuk memaksimalkan sumber gas yang berada di wilayah kepulauan lain, membutuhkan proses pendistribusian yang berbeda, yang sebelumnya menggunakan pipa gas bertekanan tinggi menjadi proses *liquified natural gas* (LNG). Proses ini memerlukan teknologi yang berbiaya tinggi, karena harus mengubah bentuk gas itu sendiri, dari wujud gas menjadi wujud cair. Kemudian setelah diangkut dengan kapal khusus, gas yang berwujud cair tersebut kembali diubah menjadi wujud gas. Hal ini membuat harga gas alam dari PT PGN mengalami penyesuaian yang cukup signifikan. Atas dasar harga yang mengalami kenaikan maka PT Mayora Indah Tbk Plant Cibitung harus berinisiatif mencari cara agar operasional dapat tetap berjalan dengan lancar (*sustainable*) dan tetap efisien. Salah satu cara yang dilakukan adalah mencari pemasok gas alam lain. Pemasok gas alam ini haruslah memiliki sumber gas yang berbeda, pola distribusi yang berbeda dan harga yang lebih rendah dibanding harga PT PGN. Permasalahan yang kemudian muncul adalah gas alam yang didistribusikan oleh pemasok baru memiliki kualitas gas yang berbeda (*gross heating value*). Ditambah lagi dengan langkah yang harus diambil dalam menyalurkan gas alam dari dua pemasok ke dalam fasilitas PT Mayora Indah Tbk Plant Cibitung.

Kata kunci: gas alam, *liquified natural gas, sustainable*, efisien, *gross heating value*

Pendahuluan

SDGs dibangun berdasarkan lintasan historis yang telah dirintis oleh negara-negara dan PBB, termasuk *The Economic and Social Council* (ECOSOC) yang merupakan salah satu organisasi bagian dari PBB. Agenda SDGs berisi 17 tujuan/*goals* yang tersebar ke dalam empat pilar pembangunan berkelanjutan, yaitu pilar pembangunan sosial, pilar pembangunan ekonomi, pilar pembangunan lingkungan, serta pilar hukum dan tata kelola. Penelitian ini mendukung salah satu tujuan yaitu tujuan nomor 9 (sembilan), industri, inovasi, dan infrastruktur (*industry, innovation, and infrastructure*). Dalam penelitian ini, dibangun penggunaan dua sumber pasokan gas alam untuk kebutuhan sumber energi di PT Mayora Indah Tbk Plant Cibitung, untuk membangun infrastruktur yang kokoh, meningkatkan industrialisasi inklusif dan berkelanjutan, serta mendorong perkembangan inovasi.

PT Mayora Indah Tbk Plant Cibitung adalah salah satu pabrik makanan yang bernaung di bawah Mayora Group dan beroperasi di Kawasan Industri MM2100, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat sejak tahun 1996. PT Mayora Indah Tbk Plant Cibitung memproduksi produk biskuit dan produk permen. Distribusi penjualannya hampir ke seluruh wilayah nusantara hingga ke beberapa mancanegara. Tenaga kerja yang berkarya mencapai 3.000 orang dan 100% adalah putra putri Indonesia. PT Mayora Indah Tbk Plant Cibitung, menggunakan gas alam (*natural gas*) sebagai salah satu sumber energi dalam kegiatan usahanya. Pemanfaatan energi gas alam tersebut digunakan untuk mengoperasikan mesin-mesin pemanggang (*oven*), *gas boiler*, *absorption chiller*, dan *gas engine*. Sumber utama pasokan gas alam tersebut dipasok dari pemasok tunggal yaitu PT PGN.

PT PGN mendistribusikan gas alamnya melalui pipa dan bersumber langsung dari sumur-sumur gas alam dari wilayah Pulau Sumatera. Gas alam tersebut kemudian didistribusikan melalui pipa gas bertekanan tinggi menuju Pulau Jawa, khususnya Provinsi Jawa Barat. Pada pertengahan tahun 2023, PT PGN memberikan informasi mengenai adanya kenaikan harga jual gas alam ke PT Mayora Indah Tbk Plant Cibitung. Dimana harga gas yang dibeli dari PT PGN yang sebelumnya adalah USD 9.16 per MMBtu melonjak menjadi USD 11.99 per MMBtu pada pertengahan tahun 2023, atau mengalami kenaikan mencapai 30,89%. Pada kwartal pertama di tahun 2024, PT PGN kembali mengumumkan penyesuaian harga gas alamnya, hingga mencapai USD 13.88 per MMBtu, atau mengalami penyesuaian hingga 15,76%. Penyesuaian

ISSN 2987-677x

ini masih belum selesai, sebab pada bulan Desember 2024, PT PGN kembali mengumumkan kenaikan harga gas untuk bulan Januari Tahun 2025, menjadi USD 16.77 per MMBtu. Ini artinya, dalam kurun waktu kurang dari dua tahun, kenaikan harga gas alam PT PGN sudah mencapai 83,07%. Penyebab dari penyesuaian harga jual gas alam tersebut, seperti yang diinformasikan langsung oleh *Area Head* Bekasi adalah disebabkan terjadinya kondisi *unbalance* penyaluran gas, akibat adanya *natural decline* pada sumber-sumber pasokan gas, sehingga PT PGN merasa perlu segera mengatur atau mengendalikan penuh pasokan gas alam ke semua pelanggannya.

Atas situasi dan kondisi seperti ini, PT PGN menjalin kerja sama dengan *sub-holding* BUMN lain, yaitu PT PGN LNG dan PT NG untuk memasok gas alam ke jalur distribusinya. PT PGN LNG dan PT NG dalam mendistribusikan gas alamnya melalui metode proses *liquified natural gas* (LNG). Proses distribusi ini berbeda dengan PT PGN yang berjalan saat ini, yaitu melalui distribusi pipa gas. Dengan proses *liquified natural gas* (LNG) ini sangat memungkinkan untuk menjangkau sumber gas alam dari wilayah kepulauan lain, selain Pulau Sumatera. Hal ini dikarenakan pengangkutan atau distribusinya melalui *liquified natural gas carrier* (LNGC), atau biasa juga disebut kapal pengangkut LNG. Sehingga secara akumulasi kapasitas gas, dapat menjadi tercukupi. Tetapi permasalahan yang muncul adalah dengan pengadaan gas melalui proses LNG ini memerlukan biaya proses dan biaya distribusi yang sangat besar. Karena teknologi yang digunakan untuk mendinginkan gas alam, mengubah bentuk gas menjadi cair, agar mudah diangkut oleh kapal LNG sangatlah mahal. Hal ini masih harus ditambah dengan proses regasifikasi, yaitu proses dari bentuk cair menjadi bentuk gas.

Penyesuaian harga gas dari PT PGN tentunya berdampak langsung bagi operasional PT Mayora Indah Tbk Plant Cibitung. Dampak yang dirasakan ada pada komponen biaya *overhead* pabrik atau *factory overhead* (FOH). Dengan adanya kenaikan *factory overhead*, maka akan berdampak langsung juga pada biaya harga pokok produksi. Namun sebaliknya, atas kenaikan harga ini, perusahaan tidak serta merta ikut menaikkan harga jual ke konsumen. Karena untuk menyesuaikan harga ke konsumen harus melalui mekanisme yang menyeluruh. Dalam menanggapi situasi ini, PT Mayora Indah Tbk Plant Cibitung memutuskan untuk mengambil langkah – langkah yang dianggap perlu. Salah satu langkah besar yang ditempuh adalah mencari pemasok gas alam lain selain dari PT PGN. Dengan tujuan dan harapan agar *factory overhead* dapat dikendalikan serta keberlangsungan (*sustainability*) pasokan gas alam dapat tetap terjaga.

Metode

Metode penyelesaian masalah yang digunakan dalam *project* ini yaitu:

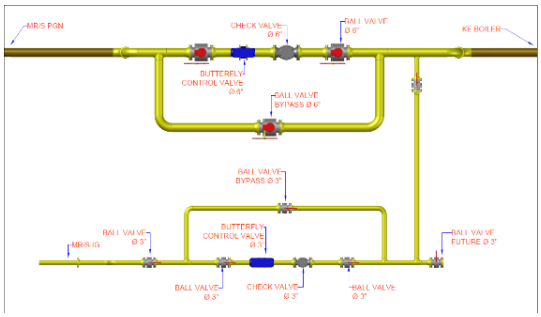
1. Wawancara
   1.1. Wawancara dengan calon pemasok PT IU
   1.2. Wawancara dengan sub-kontraktor PT IU
   1.3. Wawancara dengan tim *project* MG
   1.4. Wawancara dengan *machine maker* dan vendor peralatan kerja
   1.5. Wawancara dengan pelanggan PT IU
2. Studi komparatif antara PT PGN dan PT IU
   2.1. Komparasi mengenai sumber gas dan cara distribusinya
   2.2. Komparasi mengenai kualitas gas alam yang dipasok
   2.3. Komparasi mengenai harga jual
   2.4. Komparasi *metering regulator station*, termasuk didalamnya *Turbine Gas Flow Meter*
3. Analisis dokumen
   3.1. Analisa spesifikasi gas dari PT IU
   3.2. Analisa keberterimaan oven produksi
   3.3. Analisa keberterimaan gas *engine*
   3.4. Analisa keberterimaan gas *boiler*
   3.5. Analisa keberterimaan *absorption chiller*
   3.6. Analisa rencana kerja PT IU
   3.7. Analisa MRS PT IU
   3.8. Analisa sistem keamanan pada instalasi
   3.9. Analisa sistem interkoneksi pipa gas
   3.10. Analisa rencana anggaran biaya (RAB)
4. Survei dan observasi
   4.1. Survei dan observasi ke *control station* PT IU
   4.2. Survei dan observasi ke PT Fmr
   4.3. Survei dan observasi ke PT KI
   4.4. Survei dan observasi ke PT TES

Hasil Kerja

Instalasi *Metering Regulator Station*

Metering regulator station merupakan instalasi untuk mengatur tekanan dan volume gas yang masuk ke fasilitas pabrik. Sehingga faktor keamanan juga menjadi perhatian tersendiri.

Gambar 1 Instalasi MRS PT IU



Gambar 2 Skema Isometrik MRS

 ISSN 2987-677x

Gambar 3 *Gas Safety Valve*

Gambar 4 *Cathodic Protection*

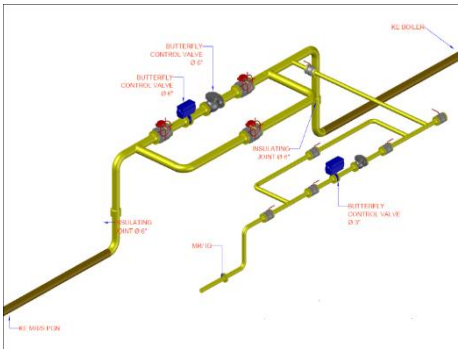
Gambar 5 Turbine Gas Flow Meter G250

Hasil aliran gas alam dari MRS PT IU adalah sebagai berikut:
1. *Pressure* = 2 bar.
2. Kapasitas aliran gas: Maks. 395 MMBtu m^3/jam.

Gambar 6 *Pressure*: 2 bar

Instalasi *Interconnection Gas Pipe System*

Instalasi yang sudah dilakukan adalah sebagai berikut:

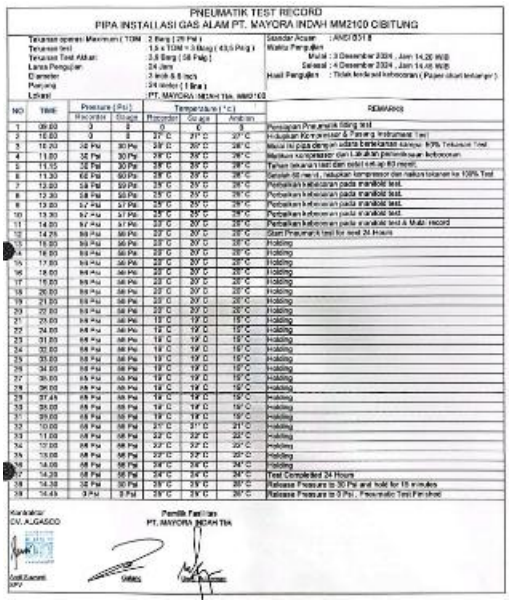


Gambar 7 Gambar Isometric Interkoneksi Pipa Gas

Gambar 8 Instalasi Interkoneksi Pipa Gas

Hasil Pengujian Instalasi

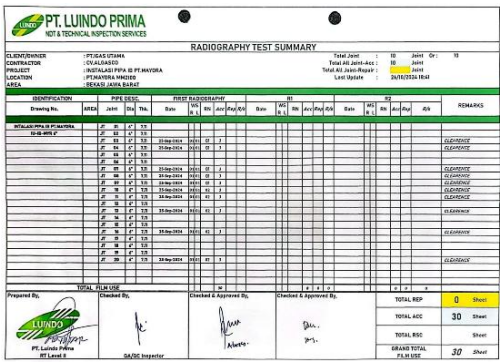
1. *Penumatic test* dilakukan selama 24 jam *non-stop*. Pipa dialiri gas dengan tekanan hingga 4 bar. Hasil dari pengujian ini menyatakan tidak ada kebocoran pada seluruh instalasi pipa gas.



PNEUMATIK TEST RECORD
PIPA INSTALLASI GAS ALAM PT. MAYORA INDAH MM2100 CIBITUNG

Gambar 9 Hasil Uji *Pneumatic Test*

2. Uji radiografi (*radiography test*) adalah metode uji tak rusak (*Non-Destructive Test* - NDT) yang menggunakan radiasi untuk memeriksa struktur internal benda tanpa merusak benda tersebut. Proses pengujian radiografi ini melibatkan pemaparan benda uji dengan sinar-X atau sinar gamma, kemudian merekam radiasi yang menembus melalui benda uji tersebut pada film atau detektor. Hasil uji menyatakan tidak ada permasalahan pada struktur internal pada pipa dan sambungan.



PT. LUINDO PRIMA
NDT & TECHNICAL INSPECTION SERVICES
RADIOGRAPHY TEST SUMMARY

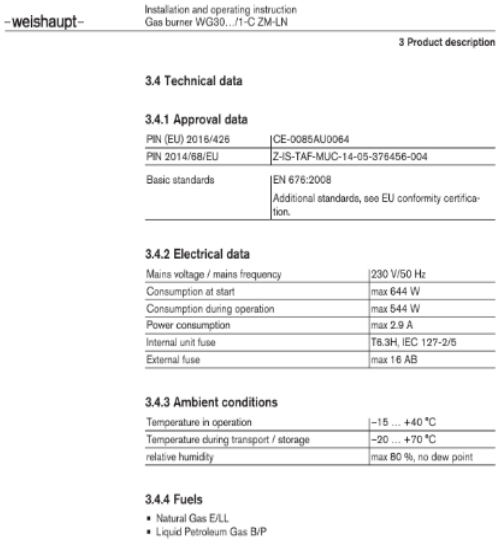
Gambar 10 Hasil Uji *Radiography Test*

 ISSN 2987-677x

Hasil Keberterimaan pada Peralatan / Mesin Produksi.

Setelah semua instalasi terpasang dan semua pengujian dilakukan, maka langkah selanjutnya memulai menyalurkan gas alam dari dua sumber gas ke fasilitas pabrik. Gas alam dari dari PT PGN dan PT IU dialirkan melalui instalasi interkoneksi pipa gas secara bersamaan.

1. *Oven* produksi
   Burner pada oven produksi yang digunakan mensyaratkan dapat beroperasi pada dua tipe gas, yaitu tipe *natural gas* dan *liquid petroleum gas*. Sehingga dengan adanya keterangan ini pada spesifikasi *burner*, maka gas dari PT IU dapat dipergunakan pada semua oven produksi di perusahaan.



-weishaupt- Installation and operating instruction
Gas burner WG30.../1-C ZM-LN

3 Product description

3.4 Technical data

3.4.1 Approval data

PIN (EU) 2016/426	CE-0085AU0064
PIN 2014/68/EU	Z-IS-TAF-MUC-14-05-376456-004
Basic standards	EN 676:2008 Additional standards, see EU conformity certification.

3.4.2 Electrical data

Mains voltage / mains frequency	230 V/50 Hz
Consumption at start	max 644 W
Consumption during operation	max 544 W
Power consumption	max 2.9 A
Internal unit fuse	T6.3H, IEC 127-2/5
External fuse	max 16 AB

3.4.3 Ambient conditions

Temperature in operation	–15 ... +40 °C
Temperature during transport / storage	–20 ... +70 °C
relative humidity	max 80 %, no dew point

3.4.4 Fuels

- Natural Gas E/LL
- Liquid Petroleum Gas B/P

Gambar 11 Spesifikasi *Burner* pada Oven

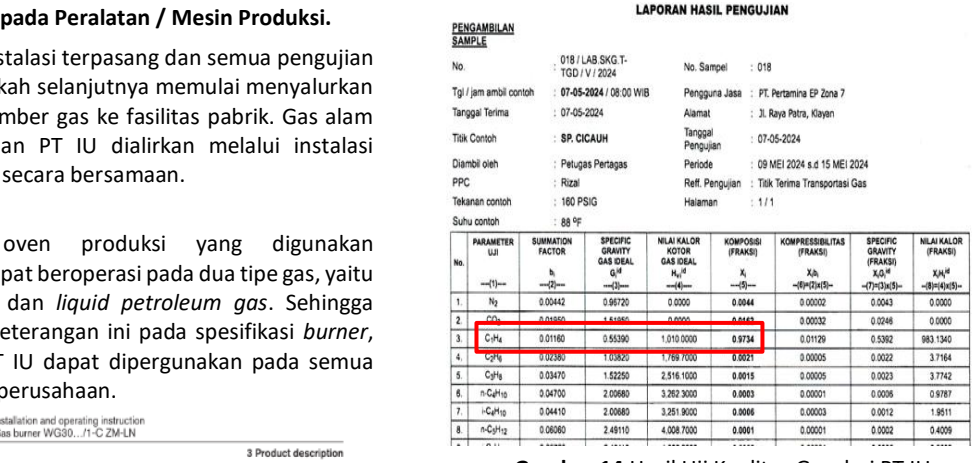
Gambar 12 Oven Produksi

2. *Gas Boiler*
   Gas boiler yang digunakan perusahaan mensyaratkan kandungan Methane 97,2 %

Type of natural gas		High-methane E type	Nitrified L_r type
Composition	Unit		
Methane content	% V/V	97.2	71.0
Ethane, popane and butane content	% V/V	1.0	1.0
Nitrogen content	% V/V	1.0	27.0
Carbon dioxide and residual content	% V/V	0.2	1.0
Combustion heat	MJ/m^3	40.0 (no less than 34.0)	27.9 (no less than 26.0)

Gambar 13 Spesifikasi NG yang Dibutuhkan *Boiler*

Kandungan *methane* dari gas alam yang dipasok PT IG adalah 97.6%. Seperti pada hasil pengujian berikut:



LAPORAN HASIL PENGUJIAN

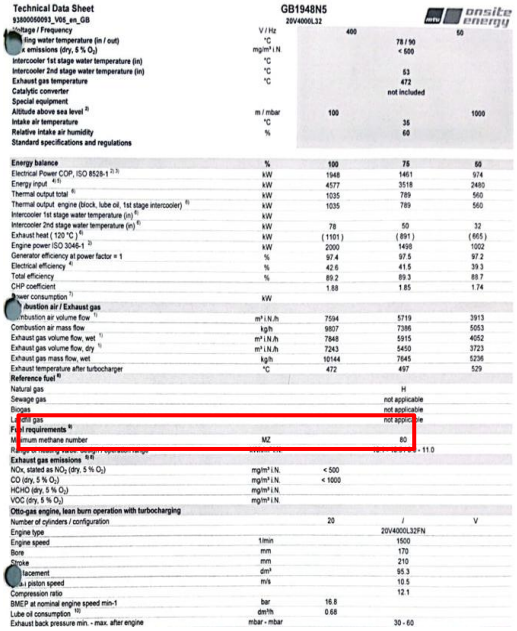
PENGAMBILAN SAMPLE

No.	: 018 / LAB.SKG.T-TGD / V / 2024	No. Sampel	: 018
Tgl / jam ambil contoh	: **07-05-2024** / 08:00 WIB	Pengguna Jasa	: PT. Pertamina EP Zona 7
Tanggal Terima	: 07-05-2024	Alamat	: Jl. Raya Patra, Klayan
Titik Contoh	: **SP. CICAUH**	Tanggal Pengujian	: 07-05-2024
Diambil oleh	: Petugas Pertagas	Periode	: 09 MEI 2024 s.d 15 MEI 2024
PPC	: Rizal	Reff. Pengujian	: Titik Terima Transportasi Gas
Tekanan contoh	: 160 PSIG	Halaman	: 1 / 1
Suhu contoh	: 88 °F		

No.	PARAMETER UJI	SUMMATION FACTOR	SPECIFIC GRAVITY GAS IDEAL	NILAI KALOR KOTOR GAS IDEAL	KOMPOSISI (FRAKSI)	KOMPRESSIBILITAS (FRAKSI)	SPECIFIC GRAVITY (FRAKSI)	NILAI KALOR (FRAKSI)
	---(1)---	h_i ---(2)---	G_i^{id} ---(3)---	H_{hi}^{id} ---(4)---	X_i ---(5)---	$X_i.h_i$ --(6)=(2)x(5)--	$X_i.G_i^{id}$ --(7)=(3)x(5)--	$X_i.H_i^{id}$ --(8)=(4)x(5)--
1.	N_2	0.00442	0.96720	0.0000	**0.0044**	0.00002	0.0043	0.0000
2.	CO_2	0.01850	1.51960	0.0000	**0.0463**	0.00032	0.0248	0.0000
3.	C_1H_4	0.01160	0.55390	1.010.0000	**0.9734**	0.01129	0.5392	983.1340
4.	C_2H_6	0.02360	1.03820	1.769.7000	**0.0021**	0.00005	0.0022	3.7164
5.	C_3H_8	0.03470	1.52250	2.516.1000	**0.0015**	0.00005	0.0023	3.7742
6.	$n\text{-}C_4H_{10}$	0.04700	2.00680	3.262.3000	**0.0003**	0.00001	0.0006	0.9787
7.	$i\text{-}C_4H_{10}$	0.04410	2.00680	3.251.9000	**0.0006**	0.00003	0.0012	1.9511
8.	$n\text{-}C_5H_{12}$	0.06060	2.49110	4.008.7000	**0.0001**	0.00001	0.0002	0.4009

Gambar 14 Hasil Uji Kualitas Gas dari PT IU

3. *Gas Engine*
   Gas engine yang digunakan perusahaan mensyaratkan kandungan *methane* pada gas alam minimal 80%. Spesifikasi teknis terlihat dalam Gambar 15.

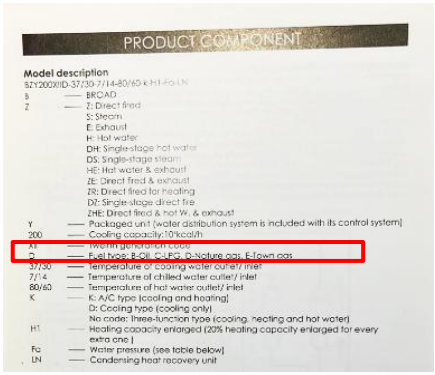


Technical Data Sheet GB1948N5
20V4000L32

Voltage / Frequency	V / Hz		400	50
Cooling water temperature (in / out)	°C			78 / 90
NOx emissions (dry, 5 % O_2)	mg/m³ i.N.			< 500
Intercooler 1st stage water temperature (in)	°C			
Intercooler 2nd stage water temperature (in)	°C			53
Exhaust gas temperature	°C			472
Catalytic converter				not included
Special equipment				
Altitude above sea level [2]	m / mbar		100	1000
Intake air temperature	°C			36
Relative intake air humidity	%			60
Standard specifications and regulations				
Energy balance	%		100	75 / 50
Electrical Power COP, ISO 8528-1 [2,3]	kW		1948	1461 / 974
Energy input [4,5]	kW		4577	3518 / 2480
Thermal output total [6]	kW		1035	789 / 560
Thermal output engine (block, lube oil, 1st stage intercooler) [6]	kW		1035	789 / 560
Intercooler 1st stage water temperature (in) [6]	kW			
Intercooler 2nd stage water temperature (in) [6]	kW		78	50 / 32
Exhaust heat (120 °C) [6]	kW		(1101)	(891) / (665)
Engine power ISO 3046-1 [3]	kW		2000	1498 / 1002
Generator efficiency at power factor = 1	%		97.4	97.5 / 97.2
Electrical efficiency [4]	%		42.6	41.5 / 39.3
Total efficiency	%		89.2	89.3 / 88.7
CHP coefficient			1.88	1.85 / 1.74
Power consumption [7]	kW			
Combustion air / Exhaust gas				
Combustion air volume flow [1]	m³ i.N./h		7594	5719 / 3913
Combustion air mass flow	kg/h		9807	7386 / 5053
Exhaust gas volume flow, wet [1]	m³ i.N./h		7848	5915 / 4052
Exhaust gas volume flow, dry [1]	m³ i.N./h		7243	5450 / 3723
Exhaust gas mass flow, wet	kg/h		10144	7645 / 5236
Exhaust temperature after turbocharger	°C		472	497 / 529
Reference fuel [8]				
Natural gas				H
Sewage gas				not applicable
Biogas				not applicable
Landfill gas				not applicable
Fuel requirements [8]				
Minimum methane number	MZ			80
Range of heating value (lower) operation range				- 11.0
Exhaust gas emissions [9,10]				
NOx, stated as NO_2 (dry, 5 % O_2)	mg/m³ i.N.		< 500	
CO (dry, 5 % O_2)	mg/m³ i.N.		< 1000	
HCHO (dry, 5 % O_2)	mg/m³ i.N.			
VOC (dry, 5 % O_2)	mg/m³ i.N.			
Otto-gas engine, lean burn operation with turbocharging				
Number of cylinders / configuration			20	/ V
Engine type				20V4000L32FN
Engine speed	1/min			1500
Bore	mm			170
Stroke	mm			210
Displacement	dm³			95.3
Mean piston speed	m/s			10.5
Compression ratio				12:1
BMEP at nominal engine speed min-1	bar		16.8	
Lube oil consumption [10]	gm/h		0.68	
Exhaust back pressure min. - max. after engine	mbar - mbar			30 - 60

Gambar 15 Spesifikasi Teknis pada Gas *Engine*

4. *Absorption Chiller*
   Absorption chiller yang digunakan perusahaan mensyaratkan dapat menggunakan *natural gas* sebagai sumber energinya. Spesifikasi teknis disajikan dalam Gambar 16.

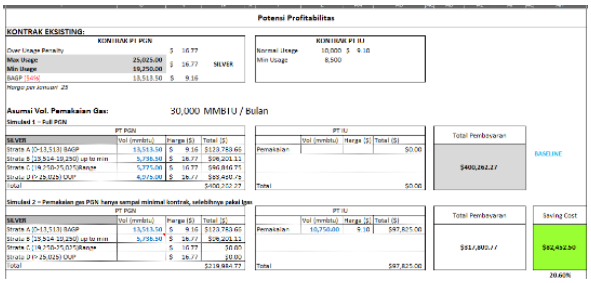


Gambar 16 Spesifikasi Teknis pada *Absorption Chiller*

 ISSN 2987-677x

Biaya yang Dikeluarkan Setelah Penggunaan Dua Sumber Pasokan Gas Alam

Analisa biaya yang dikeluarkan untuk pembelian gas alam dari PT PGN ditambah dengan PT IU dan dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan apabila hanya mengandalkan satu sumber dari PT PGN saja, dapat berpotensi penghematan yang mencapai USD 82.000 per bulan atau setara dengan RP. 1,3 milyar per bulan.



Gambar 17 Potensial Penghematan

Kesimpulan

Pemanfaatan dua sumber gas dengan kualitas gas yang berbeda dapat diterima dengan baik pada mesin – mesin produksi. Hal ini dapat dibuktikan dengan tidak adanya kendala operasional yang berarti. Selain itu dengan memiliki dua pemasok gas alam untuk kegiatan operasionalnya, PT Mayora Indah Tbk Plant Cibitung mendapat keuntungan akan keberlangsungan (*sustainability*) pada pasokan gasnya. Perusahaan juga dapat mempertahankan laba usaha ditengah tingginya kenaikan harga gas alam sebagai sumber energi, sehingga dapat memberikan kemaslahatan bagi karyawan dan keluarganya serta masyarakat yang tinggal di lingkungan sekitar perusahaan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada:

1. Bapak Henry Atmadja, Supply Chain and Operational Director Mayora Group;
2. Bapak Ir. Nurdin Lesmana, Manufacturing Group Head M1 M4 NBR PT Mayora Indah Tbk;
3. Bapak Wiropo Indra ST, Manufacturing Division Head M1 PT Mayora Indah Tbk;
4. Bapak Tommy Djoko Utomo, IRGA Dept. Head PT Mayora Indah Tbk;
5. Bapak Dr. Ir. Ivan Gunawan, S.T., M.MT., CSCM., IPM., ASEAN Eng., Ketua Program Studi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik UKWMS;
6. Ibu Dra. Ir. Adriana Anteng Anggorowati, M.Si., IPU., ASEAN Eng, dosen pembimbing PSPI UKWMS;
7. Bapak dan Ibu dosen Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya;
8. Bpk. Usep Sulaeman Utility Department Head PT Mayora Indah Tbk Plant Cibitung, beserta segenap anggotanya.

Refersensi

Broad Air Conditioning. (2019). *Broad absorption chiller*.

CV Alg. (2024). *Laporan penyelesaian project interkoneksi gas di PT Mayora Indah Tbk, Plant Cibitung*.

Hamakers, A., & Visseren, R. (2020). *The 18th sustainable development goal*. The Netherlands: Earth System Governance.

Itron. (2024, November 2). *Turbine gas meter G100*. https://distributorflowmeters.com/product/itron-turbine-gas-meter-3-inch-g100/.

PT IU. (2024). *Perjanjian jual beli gas dengan PT Mayora Indah Tbk*.

Pertamina Hulu Energi EP 7. (2024). *Laporan hasil pengujian gas*.

Wikipedia. (2025, Mei 13). *Overhead (usaha)*. https://id.wikipedia.org/wiki/Overhead_(usaha).

ISSN 2987-677x

Homogenisasi *Regrind High Density Polyethylene* (HDPE) dengan *Filter Nozzle* pada Proses *Injection Molding* untuk Meningkatkan Kualitas Produk

Ahmad Firdo Ramadhan[1] Adriana Anteng Anggorowati[2]

[1,2] Program Studi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya 60112, Indonesia

[1] PT Tirta Fresindo Jaya (Mayora Group)

✉ firdo.ramadhan90@gmail.com

Optimasi proses injeksi plastik memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas produk. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *filter*, temperatur, *regrind*, serta interaksinya terhadap tekanan injeksi dan tingkat cacat produk. Pendekatan yang digunakan mencakup analisis deskriptif dan uji statistik non-parametrik, seperti *Mann-Whitney* dan *Kruskal-Wallis*, untuk mengatasi data yang tidak terdistribusi normal. Hasil menunjukkan bahwa penerapan *filter* secara signifikan meningkatkan tekanan injeksi dengan rata-rata 113,17 ± 0,74 dibandingkan kondisi tanpa *filter* sebesar 102,68 ± 1,1. Variasi temperatur antara 210°C hingga 220°C tidak memberikan dampak signifikan terhadap tekanan injeksi, tetapi interaksi antara *filter* dan temperatur menghasilkan perbedaan signifikan, dimana kombinasi tertentu mampu meningkatkan performa tekanan injeksi. Penggunaan *regrind* hingga 3% tidak berdampak signifikan terhadap tekanan injeksi, meskipun interaksinya dengan *filter* menunjukkan pengaruh signifikan. Dalam aspek tingkat cacat produk, penggunaan *filter* dan pengaturan temperatur menunjukkan pengaruh signifikan, dengan temperatur 220°C menghasilkan tingkat cacat terendah. Penggunaan *filter* terbukti menjadi elemen penting dalam menstabilkan proses dan mengurangi tingkat cacat produk. Pengaturan temperatur dan rasio *regrind* tertentu memberikan potensi peningkatan efisiensi dan kualitas produk. Analisis residual yang menunjukkan ketidaknormalan dan ketidakseragaman variansi data mengindikasikan perlunya pengembangan model analisis yang lebih kokoh. Temuan ini memberikan dasar yang kuat bagi pengembangan strategi pengendalian kualitas dan optimasi proses produksi di industri plastik..

Kata kunci: homogenisasi HDPE, *filter nozzle*, injeksi plastik

Pendahuluan

Sustainable Development Goals (SDG's) atau tujuan pembangunan berkelanjutan telah menjadi peta jalan global untuk menghadapi berbagai tantangan utama, mulai dari pengentasan kemiskinan hingga perlindungan lingkungan. Dengan 17 (tujuh belas) tujuan global yang mencakup pembangunan sosial, ekonomi, lingkungan, dan kemitraan, Indonesia terus menggerakkan semua sektor untuk mencapai target SDGs pada tahun 2030. Penelitian Homogenisasi *Regrind High Density Polyethylene* (HDPE) sangat relevan dengan tujuan SDG's nomor 9 (sembilan) yaitu membangun infrastruktur yang tangguh, mempromosikan industrialisasi yang inklusif dan berkelanjutan, serta mendorong inovasi. Dengan melakukan penggilingan ulang plastik HDPE, maka diharapakan kualitas produk meningkat dan dapat mengurangi cacat produksi. Dengan fokus pada pengembangan *nozzle barrel* yang dilengkapi *filter homogenizer*, penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pencapaian *zero waste* plastik serta mendukung efektivitas dan efisiensi produksi dalam industri plastik [1].

Plastik telah menjadi bagian integral dari kehidupan modern sejak ditemukan pada tahun 1907, dengan penggunaan yang terus meningkat seiring perkembangan teknologi, industri, dan populasi global. Di Indonesia, kebutuhan plastik terus meningkat hingga mencapai 12 ton per hari [2]. Namun, masalah utama yang muncul adalah pengelolaan limbah plastik yang kurang optimal, sehingga menimbulkan dampak serius terhadap lingkungan. Pemerintah Indonesia, melalui Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan [3] telah menetapkan target ambisius berupa pengurangan sampah sebesar 30% dan penanganan sampah hingga 70%. Salah satu kebijakan progresif adalah pelarangan penggunaan plastik sekali pakai, seperti kantung belanja dan sedotan plastik.

Dari perspektif industri, pengurangan limbah plastik menjadi tantangan besar, khususnya dalam industri barang konsumen cepat saji (FMCG) yang sangat bergantung pada kemasan plastik. Proses produksi, seperti injeksi plastik untuk tutup botol, kerap menghasilkan produk cacat atau *reject* dengan rata-rata mencapai 1% dari total penggunaan bahan resin. Hal ini tidak hanya menimbulkan kerugian finansial yang signifikan, tetapi juga berdampak pada keberlanjutan industri. Untuk mengatasi masalah ini, inovasi teknologi seperti penggunaan *filter homogenizer* pada *nozzle barrel* diharapkan dapat meningkatkan kualitas produk dan mengurangi cacat produksi. Penelitian ini bertujuan untuk meminimalisasi produk cacat dengan menganalisis parameter proses injeksi, seperti temperatur leleh, tekanan injeksi, dan waktu pendinginan, yang memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas produk [4]. Dengan

 ISSN 2987-677x

fokus pada pengembangan *nozzle barrel* yang dilengkapi *filter homogenizer*, penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pencapaian *zero waste* plastik serta mendukung efektivitas dan efisiensi produksi dalam industri plastik.

Metode

Penelitian ini dilakukan menggunakan mesin injeksi plastik berkapasitas 100 ton, dengan resin polipropilen (PP) yang memiliki *melt flow index* (MFI) sebesar 10 g/10 menit. Material yang digunakan terdiri dari resin murni dan campuran *regrind* plastik dengan proporsi 0%, 1%, 2%, dan 3% dari berat total resin. Mesin injeksi dilengkapi dengan *filter* homogenizer yang dipasang pada *nozzle barrel* untuk meningkatkan kualitas aliran material plastik selama proses injeksi. Proses injeksi dilakukan pada tiga suhu yang berbeda, yaitu 210°C, 215°C, dan 220°C. Pengaturan suhu ini dipilih untuk menilai pengaruh variasi temperatur terhadap tekanan injeksi dan tingkat cacat produk. Desain eksperimen yang digunakan adalah desain faktorial 3x3x4, yang melibatkan tiga faktor utama: (1) *filter*, dengan dua level perlakuan (dengan *filter* dan tanpa *filter*), (2) temperatur dengan tiga level (210°C, 215°C, dan 220°C), dan (3) kadar *regrind*, dengan empat level (0%, 1%, 2%, dan 3%). Setiap kombinasi perlakuan diuji sebanyak tiga kali untuk memperoleh data yang lebih representatif dan mengurangi potensi bias. Seluruh percobaan dilakukan pada mesin injeksi yang telah dikalibrasi dengan ketelitian suhu dan tekanan yang tinggi.

Pengukuran tekanan injeksi dilakukan dengan menggunakan sensor tekanan yang terpasang langsung pada sistem injeksi untuk memperoleh data tekanan selama proses injeksi. Data tekanan injeksi yang tercatat berupa rata-rata tekanan dan deviasi standar yang dihitung dari tiga ulangan eksperimen untuk setiap perlakuan. Selain itu, tingkat cacat produk dihitung dengan cara menghitung jumlah produk cacat yang tidak memenuhi standar kualitas, seperti cacat dimensi atau cacat lain yang dapat diidentifikasi setelah produk keluar dari mesin injeksi.

Analisis data dilakukan dengan menggunakan uji statistik non-parametrik. Uji *Mann-Whitney* digunakan untuk membandingkan dua kelompok independen, misalnya perbandingan antara kondisi dengan dan tanpa *filter*. Uji *Kruskal-Wallis* digunakan untuk menguji perbedaan antara tiga atau lebih kelompok independen, seperti perbandingan antara variasi temperatur dan kadar *regrind*. Pengujian ini dipilih karena data yang diperoleh tidak terdistribusi normal, sehingga uji non-parametrik lebih sesuai. Selanjutnya, analisis residual dilakukan untuk memeriksa ketidaknormalan dan ketidakseragaman variansi data, yang memungkinkan pengembangan model analisis yang lebih stabil.

Perangkat lunak statistik seperti SPSS atau Minitab digunakan untuk memproses dan menganalisis data yang diperoleh. Hasil dari uji statistik akan memberikan wawasan tentang pengaruh faktor-faktor yang diuji terhadap tekanan injeksi dan tingkat cacat produk. Dengan demikian, temuan penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi untuk mengoptimalkan proses injeksi plastik melalui pengaturan *filter*, temperatur, dan kadar *regrind* yang lebih efisien, serta mengurangi tingkat cacat produk.

Hasil Kerja

Pengujian ini membahas perbandingan tekanan injeksi yang dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai variabel seperti jenis *filter*, suhu (temperatur), dan penggunaan *regrind HDPE*. Selain itu, pengujian juga mencakup analisis interaksi antara *filter* dengan temperatur, temperatur dengan *regrind*, *filter* dengan *regrind*, serta kombinasi ketiganya (*filter,* temperatur, dan *regrind).* Hasil dari pengujian ini memberikan wawasan tentang bagaimana masing-masing faktor dan interaksinya mempengaruhi tekanan injeksi, yang berkontribusi pada kualitas dan efisiensi proses produksi plastik.

Pengaruh *Filter Nozzle* terhadap Tekanan Injeksi

Penerapan *filter nozzle* memberikan peningkatan tekanan injeksi yang signifikan dibandingkan dengan kondisi tanpa *filter*. Rata-rata tekanan injeksi pada kondisi dengan *filter* adalah 113,17 ± 0,74, sedangkan pada kondisi tanpa *filter* adalah 102,68 ± 1,1. Uji statistik menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$), yang menunjukkan bahwa penggunaan *filter* mampu meningkatkan aliran material dengan mengurangi kontaminasi dan partikel besar, serta meningkatkan kestabilan proses injeksi.

Penerapan *filter nozzle* dalam proses injeksi plastik telah menunjukkan peningkatan tekanan injeksi yang signifikan, dengan rata-rata tekanan injeksi pada kondisi dengan *filter* mencapai 113,17 ± 0,74, sementara pada kondisi tanpa *filter* hanya 102,68 ± 1,1. Uji statistik yang menunjukkan perbedaan signifikan ($p < 0,05$) mengindikasikan bahwa *filter nozzle* berperan penting dalam memperbaiki aliran material. Salah satu faktor utama yang menyebabkan peningkatan tekanan ini adalah kemampuannya dalam mengurangi hambatan yang disebabkan oleh kontaminasi dan partikel besar dalam material [5]. Tanpa *filter*, partikel besar atau kotoran dalam material dapat menyebabkan hambatan dalam aliran, yang menuntut tekanan injeksi lebih tinggi untuk mengatasi gangguan tersebut.

Berdasarkan hasil yang disajikan, rata-rata tekanan injeksi dengan *filter nozzle* adalah 113,17 ± 0,74 MPa, sedangkan tanpa *filter* adalah 102,68 ± 1,1 MPa. Selisih rata-rata tekanan injeksi antara kedua kondisi ini mencapai 10,49 MPa, menunjukkan adanya peningkatan signifikan pada kondisi dengan *filter*. Analisis koefisien variasi (CV) dilakukan untuk menilai konsistensi tekanan injeksi. CV pada kondisi dengan *filter* adalah 0,65%, sedangkan pada kondisi tanpa *filter* adalah 1,07%, yang menunjukkan bahwa tekanan injeksi lebih stabil ketika menggunakan *filter nozzle*. Uji statistik menunjukkan nilai $p < 0,05$, yang mengindikasikan bahwa peningkatan tekanan injeksi akibat penggunaan *filter nozzle* signifikan.

Filter nozzle berfungsi menyaring partikel besar atau kontaminan yang dapat menghambat aliran material, sehingga membantu memperlancar proses injeksi dan mengurangi gesekan. Selain meningkatkan tekanan injeksi, *filter nozzle* juga berkontribusi pada kualitas produk akhir dengan mengurangi cacat yang diakibatkan oleh partikel asing. Dengan fluktuasi tekanan yang berkurang, kestabilan proses injeksi menjadi lebih baik, mendukung produksi yang konsisten dan efisien. Kesimpulan ini didukung oleh penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa *filter nozzle* meningkatkan efisiensi proses dan kualitas produk dengan mencegah terjadinya cacat material. Tabel 1

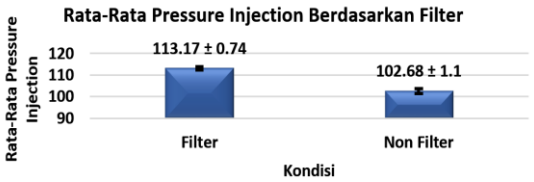
 ISSN 2987-677x

merangkum perbandingan data tekanan injeksi pada kondisi dengan dan tanpa *filter nozzle*.

Tabel 1 Hasil Pengaruh *Filter Nozzle* terhadap Injeksi

Kondisi	Rata-rata Tekanan Injeksi (MPa)	Standar Deviasi (MPa)	Koefisien Variasi (%)
Dengan *Filter*	113,17	0,74	0,65
Tanpa *Filter*	102,68	1,1	1,07

Berdasarkan Tabel 1, jika disajikan dalam bentuk diagram batang, terlihat seperti dalam Gambar 1.



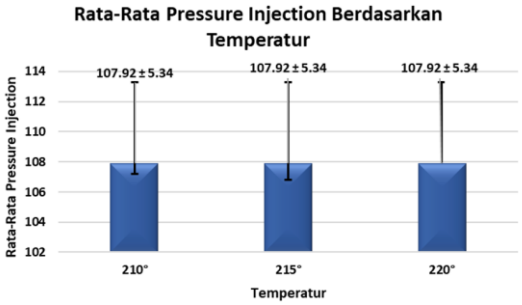
Gambar 1 Hasil Pengaruh *Filter Nozzle* terhadap Injeksi

Filter nozzle berfungsi menyaring partikel-partikel tersebut, yang membantu memperlancar aliran dan mengurangi gesekan, sehingga menghasilkan tekanan injeksi yang lebih optimal. Selain itu, *filter nozzle* juga berkontribusi pada peningkatan kualitas produk dengan mengurangi kontaminasi yang bisa menyebabkan cacat pada produk akhir, seperti permukaan yang tidak rata atau cacat struktural. Sebagaimana ditunjukkan oleh penelitian lain, *filter nozzle* meningkatkan homogenitas material, mencegah terjadinya cacat produk yang dapat disebabkan oleh partikel asing yang tidak ter*filter* [6].

Dalam hal ini, *filter nozzle* tidak hanya mempengaruhi tekanan injeksi tetapi juga menjaga kualitas material yang diproses. Kestabilan proses injeksi juga merupakan aspek penting yang diperbaiki oleh penerapan *filter nozzle*. Fluktuasi tekanan yang dapat terjadi akibat gangguan dalam aliran material dapat menyebabkan ketidakkonsistenan dalam produk akhir. Dengan menyaring partikel besar, *filter nozzle* membantu menjaga kestabilan proses injeksi, yang tercermin dalam peningkatan tekanan yang lebih konsisten selama proses tersebut. Hal ini mendukung temuan penelitian bahwa penggunaan *filter nozzle* membantu menjaga aliran material tetap stabil dan efisien, menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih baik dan mengurangi variabilitas dalam produksi. Penelitian ini sejalan dengan penelitian [7] yang menunjukkan bahwa *filter nozzle* dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas produk. Namun, penggunaan *filter* harus disesuaikan dengan jenis material yang digunakan, karena desain *filter* yang tidak tepat dapat menghambat aliran material secara berlebihan.

Oleh karena itu, pemilihan jenis dan ukuran *filter* yang sesuai sangat penting agar proses injeksi tetap berjalan dengan lancar dan efisien. Penelitian ini membuka peluang untuk pengembangan *filter nozzle* yang lebih efisien dan disesuaikan dengan berbagai jenis material, serta untuk penelitian lebih lanjut mengenai desain *filter* yang optimal dalam berbagai kondisi proses injeksi. Berdasarkan temuan tersebut, penggunaan *filter nozzle* dalam proses injeksi plastik tidak hanya meningkatkan tekanan injeksi, tetapi juga meningkatkan kualitas produk dan kestabilan proses secara keseluruhan. Implikasi dari penelitian ini sangat relevan bagi industri plastik, yang mempertimbangkan penggunaan *filter nozzle* untuk meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi cacat produk. Ke depan, penelitian lanjutan mengenai desain *filter* yang lebih optimal dan disesuaikan dengan berbagai parameter proses injeksi akan lebih memperkuat penerapan *filter nozzle* dalam industri plastik.

Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Tekanan Injeksi



Gambar 2 Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Tekanan Injeksi

Variasi temperatur antara 210°C hingga 220°C tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap tekanan injeksi. Pada rentang temperatur ini, tekanan injeksi tetap relatif stabil, dengan nilai rata-rata yang hampir serupa di kedua kondisi (210°C dan 220°C). Namun, hasil uji interaksi menunjukkan bahwa kombinasi *filter* dan temperatur menghasilkan perbedaan signifikan pada tekanan injeksi, dimana kombinasi *filter* pada temperatur tertentu meningkatkan performa injeksi dibandingkan dengan kondisi tanpa *filter*.

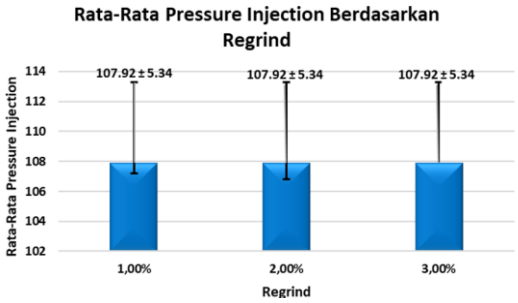
Variasi temperatur antara 210°C hingga 220°C dalam proses injeksi plastik tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap tekanan injeksi, dengan nilai rata-rata yang hampir serupa di kedua kondisi temperatur tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa rentang temperatur tersebut mungkin tidak cukup luas atau signifikan untuk mempengaruhi secara langsung tekanan injeksi, yang dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti viskositas material atau karakteristik aliran material yang lebih dominan pada rentang temperatur tersebut. Dalam hal ini, suhu yang berada dalam rentang tersebut tampaknya tidak cukup mempengaruhi performa injeksi secara langsung, dan tekanan injeksi tetap stabil. Meskipun, temperatur itu sendiri tidak memberikan dampak signifikan, hasil uji interaksi menunjukkan bahwa kombinasi antara *filter nozzle* dan temperatur menghasilkan perbedaan yang signifikan pada tekanan injeksi [8].

Hal ini menunjukkan bahwa *filter nozzle* memiliki peran penting dalam mengoptimalkan aliran material, yang memungkinkan proses injeksi berjalan lebih efisien pada temperatur tertentu. Interaksi antara *filter* dan temperatur meningkatkan performa injeksi dengan cara mengurangi hambatan dalam aliran material, seperti partikel-partikel besar yang mungkin mengganggu

 ISSN 2987-677x

proses injeksi. Kombinasi *filter* dengan temperatur tertentu mampu memperbaiki aliran dan stabilitas material, sehingga meningkatkan tekanan injeksi dibandingkan dengan kondisi tanpa *filter* [9]. Penelitian ini menjelaskan variasi temperatur dalam rentang 210°C hingga 220°C tidak memberikan dampak signifikan secara langsung terhadap tekanan injeksi, kombinasi temperatur dan *filter nozzle* dapat menghasilkan hasil yang lebih baik dalam hal tekanan injeksi. Ini menggarisbawahi pentingnya interaksi antar faktor dalam proses injeksi, yang perlu dipertimbangkan secara cermat untuk mencapai efisiensi produksi yang optimal. Dalam hal ini, *filter nozzle* berperan untuk memaksimalkan aliran material dan meningkatkan kestabilan proses, yang dapat berujung pada produk dengan kualitas yang lebih tinggi dan pengurangan cacat produk. Oleh karena itu, penelitian ini menyarankan untuk lebih memperhatikan kombinasi parameter proses, terutama *filter* dan temperatur, dalam mengoptimalkan proses injeksi plastik.

Pengaruh Penggunaan *Regrind* terhadap Tekanan Injeksi



Gambar 3 Rata-Rata *Pressure Injection* Berdasarkan *Regrind*

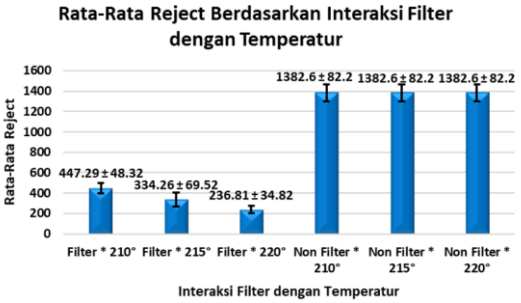
Penggunaan *regrind* hingga 3% tidak menunjukkan pengaruh signifikan terhadap tekanan injeksi. Ini menunjukkan bahwa kadar *regrind* dalam batas tersebut tidak cukup untuk mengubah viskositas atau sifat aliran material secara signifikan. Namun, analisis interaksi antara *filter* dan *regrind* menunjukkan pengaruh signifikan, dimana kombinasi penggunaan *filter* dengan *regrind* meningkatkan tekanan injeksi dibandingkan dengan kondisi tanpa *filter* atau dengan *regrind* yang lebih tinggi. Penggunaan *regrind* hingga 3% dalam penelitian ini tidak menunjukkan pengaruh signifikan terhadap tekanan injeksi, yang menunjukkan bahwa penambahan *regrind* dalam kadar tersebut tidak cukup untuk mempengaruhi viskositas material secara drastis atau mengubah sifat aliran material. Hal ini sejalan dengan temuan penelitian sebelumnya, seperti yang diungkapkan oleh [10] yang menyatakan bahwa penggunaan *regrind* dalam jumlah kecil (hingga 5%) tidak menyebabkan perubahan signifikan pada viskositas atau aliran material.

Dalam kisaran *regrind* yang relatif rendah ini, sifat material mungkin masih dalam rentang yang memungkinkan aliran lancar dan tidak mengganggu proses injeksi. *Regrind* pada kadar rendah tidak cukup memberikan dampak signifikan terhadap tekanan injeksi, karena viskositas HDPE yang terkontaminasi dengan *regrind* tersebut masih berada dalam kisaran yang dapat diproses dengan baik oleh mesin injeksi. Namun, analisis interaksi antara *filter* dan *regrind* menunjukkan adanya pengaruh signifikan terhadap tekanan injeksi. Kombinasi penggunaan *filter* dengan *regrind* memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan kondisi tanpa *filter* atau penggunaan *regrind* yang lebih tinggi [11].

Hasil ini dapat dipahami dalam konteks pengaruh *filter nozzle* yang meningkatkan kualitas aliran material dengan menyaring kontaminan atau partikel besar, sementara pada saat yang sama, penambahan *regrind* dalam kadar rendah memberikan efek minimal terhadap viskositas material. Kombinasi antara *filter* yang berfungsi untuk mengoptimalkan aliran material dan *regrind* yang memberikan efek ringan terhadap komposisi material menghasilkan peningkatan tekanan injeksi yang lebih baik. Menurut teori statistik, uji interaksi dapat memberikan wawasan yang lebih dalam tentang bagaimana faktor-faktor yang berbeda berinteraksi dan mempengaruhi hasil yang diperoleh.

Pengujian statistik yang digunakan dalam penelitian ini, seperti uji *Kruskal-Wallis* dan uji *Mann-Whitney*, menunjukkan bahwa interaksi antara *filter* dan *regrind* memberikan perbedaan yang signifikan dalam tekanan injeksi. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun *regrind* itu sendiri tidak memberikan dampak signifikan, faktor pengaruh dari *filter nozzle* yang mengurangi partikel besar dan menjaga aliran material yang lebih stabil memainkan peran utama dalam meningkatkan performa injeksi pada kondisi dengan *regrind* [12]. Penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh [13], menunjukkan bahwa penggunaan *filter* dapat membantu mengurangi pengaruh negatif dari kontaminasi dalam material, yang umumnya terjadi pada penggunaan *regrind*. Interaksi antara *filter* dan *regrind* memungkinkan pemurnian aliran material, mengurangi ketidakstabilan dalam proses injeksi, dan pada akhirnya meningkatkan tekanan injeksi yang diperlukan untuk proses produksi. Secara keseluruhan, temuan ini menggarisbawahi pentingnya mempertimbangkan kombinasi optimal dari faktor-faktor dalam proses injeksi plastik, di mana penggunaan *filter* dapat mengkompensasi efek dari penggunaan *regrind*, sehingga meningkatkan kualitas dan efisiensi proses produksi.

Pengaruh *Filter Nozzle* dan Temperatur terhadap Tingkat Cacat Produk



Gambar 4 Pengaruh *Filter Nozzle* dan Temperatur terhadap Tingkat Cacat Produk

Penggunaan *filter nozzle* dan pengaturan temperatur terbukti memiliki pengaruh signifikan terhadap tingkat cacat produk dalam penelitian ini. Pengaturan temperatur 220°C menghasilkan tingkat cacat yang lebih rendah dibandingkan dengan temperatur 210°C, dengan perbedaan signifikan ($p < 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa temperatur yang lebih

 ISSN 2987-677x

tinggi memiliki peran penting dalam meningkatkan kualitas produk plastik yang dihasilkan, yang sejalan dengan temuan penelitian sebelumnya tentang pengaruh temperatur terhadap kualitas hasil injeksi. Temperatur yang lebih tinggi cenderung meningkatkan fluiditas material, yang memungkinkan proses pengisian cetakan yang lebih optimal dan mengurangi kemungkinan terjadinya cacat akibat ketegangan atau pengendapan material.

Penurunan tingkat cacat pada temperatur 220°C dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme. Pertama, temperatur yang lebih tinggi membantu material mencapai viskositas yang lebih rendah, meningkatkan kemampuannya untuk mengalir dengan lancar dan mengisi cetakan secara lebih merata. Dengan mengurangi ketegangan internal dalam material, proses injeksi dapat berlangsung lebih stabil, mengurangi kemungkinan terjadinya cacat seperti gelembung udara, porositas, atau kekurangan material (*short shot*). Kedua, temperatur yang lebih tinggi dapat mengurangi fenomena kristalisasi yang tidak merata, yang sering kali menyebabkan cacat pada produk akhir, terutama pada material seperti HDPE yang sangat sensitif terhadap perubahan temperatur.

Penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh [14] menunjukkan bahwa pengaturan temperatur yang lebih tinggi dapat meningkatkan laju aliran material dan mengurangi tingkat cacat produk, terutama dalam proses injeksi plastik. Mereka mencatat bahwa temperatur yang lebih tinggi memungkinkan material mengalir lebih baik ke dalam cetakan, mengurangi ketegangan sisa dan cacat pasca-pemrosesan. Selain itu, penelitian oleh [15] juga menemukan bahwa pemrosesan pada temperatur lebih tinggi meningkatkan distribusi temperatur yang lebih seragam dalam material, yang mengarah pada produk dengan tingkat cacat yang lebih rendah. Temperatur yang lebih tinggi dapat meningkatkan kualitas produk, perlu diperhatikan bahwa pengaturan temperatur yang berlebihan juga berisiko menyebabkan degradasi material atau perubahan sifat fisik material.

Oleh karena itu, sangat penting untuk menemukan keseimbangan yang tepat dalam pengaturan temperatur untuk memaksimalkan efisiensi proses sambil mempertahankan kualitas produk yang tinggi. Secara keseluruhan, temuan ini menggarisbawahi pentingnya pengaturan temperatur yang tepat dalam proses injeksi plastik, yang dapat digunakan untuk mengurangi tingkat cacat dan meningkatkan kualitas produk. Kombinasi pengaturan temperatur 220°C dengan penggunaan *filter nozzle* yang optimal dapat memberikan hasil terbaik dalam meningkatkan performa proses dan kualitas produk akhir, serta menunjukkan bahwa kontrol temperatur yang tepat memainkan peran vital dalam mengoptimalkan hasil produksi plastik.

Pengaruh Interaksi antara *Filter*, Temperatur, dan *Regrind* terhadap Tingkat Cacat

Analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa interaksi antara *filter nozzle* dan penggunaan *regrind* pada kadar 3% menghasilkan tingkat cacat yang lebih rendah dibandingkan dengan kadar *regrind* 2%. Temuan ini memberikan indikasi penting bahwa meskipun *regrind* pada kadar tersebut tidak memberikan pengaruh signifikan secara langsung terhadap kualitas hasil injeksi, interaksinya dengan *filter nozzle* dapat memengaruhi kualitas produk akhir. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun *regrind* dapat dianggap sebagai bahan yang telah digunakan kembali dan tidak selalu diharapkan untuk memberikan performa yang optimal, kombinasi penggunaannya dengan *filter nozzle* dapat berkontribusi pada peningkatan kualitas produk plastik yang dihasilkan. Penurunan tingkat cacat pada kadar *regrind* 3% dapat dijelaskan dengan pengaruh sinergis antara *filter* dan *regrind*.

Penggunaan *filter nozzle* membantu menyaring partikel atau kontaminan yang mungkin ada dalam *regrind*, sehingga mengurangi risiko terjadinya cacat seperti gelembung udara atau porositas dalam produk akhir. *Filter nozzle* mampu menstabilkan aliran material dan mengurangi ketegangan yang dapat muncul akibat partikel besar atau kontaminasi, yang berpotensi menyebabkan cacat dalam proses injeksi. Pada kadar *regrind* 3%, kombinasi penggunaan *filter* dengan kadar *regrind* yang sedikit lebih tinggi tampaknya memberikan efek yang lebih baik dalam mengurangi cacat produk dibandingkan dengan kadar *regrind* yang lebih rendah. Meskipun *regrind* pada kadar 2% tidak memberikan efek signifikan secara langsung terhadap tingkat cacat, interaksi dengan *filter nozzle* menunjukkan pentingnya kontrol yang lebih ketat terhadap penggunaan *regrind* dalam proses produksi plastik. Sejumlah penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh [16] menunjukkan bahwa penggunaan *regrind* dapat memengaruhi viskositas dan aliran material dalam proses injeksi.

Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan bagaimana kombinasi *filter* dengan *regrind* dapat meningkatkan performa injeksi dan mengurangi tingkat cacat. Selain itu, meskipun *regrind* dapat menurunkan kualitas material baru karena adanya potensi kontaminasi atau perubahan sifat fisik, pengaturan yang tepat dalam pemrosesan dan penggunaan *filter nozzle* dapat mengurangi dampak negatif tersebut. Penelitian oleh [17] menunjukkan bahwa penggunaan *filter* pada proses injeksi dapat mengurangi pengaruh negatif dari *regrind* dengan menyaring partikel besar dan meningkatkan kestabilan aliran material.

Secara keseluruhan, temuan ini menggarisbawahi pentingnya kontrol yang ketat terhadap penggunaan *regrind*, serta perlunya optimasi interaksi antara bahan dan komponen proses seperti *filter nozzle*. Hal ini dapat mempengaruhi kualitas hasil injeksi dan mengurangi tingkat cacat produk plastik. Penggunaan *regrind* hingga 3% dapat menjadi pilihan yang lebih efisien dalam produksi plastik, asalkan dikombinasikan dengan teknologi yang tepat, seperti *filter nozzle*, untuk memaksimalkan hasil yang diperoleh.

Analisis Residual

Analisis residual menunjukkan ketidaknormalan dan ketidakseragaman variansi data, yang mengindikasikan adanya penyimpangan dalam distribusi residual. Ketidaknormalan ini memperlihatkan perlunya pengembangan model analisis yang lebih robust yang dapat menangani ketidakseragaman variansi ini, serta meningkatkan akurasi prediksi hasil. Analisis residual yang menunjukkan ketidaknormalan dan ketidakseragaman variansi data mengindikasikan adanya penyimpangan dalam distribusi residual, yang menandakan bahwa model analisis yang digunakan tidak sepenuhnya memadai untuk menangani kompleksitas data yang ada. Ketidaknormalan

 ISSN 2987-677x

distribusi residual menunjukkan bahwa sebaran residual tidak mengikuti pola distribusi normal yang diharapkan dalam analisis regresi atau model analitik lainnya.

Hal ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti model yang tidak sesuai, data yang tidak terstandarisasi, atau adanya outlier yang memengaruhi hasil analisis. Selain itu, ketidakseragaman variansi atau heteroskedastisitas menunjukkan bahwa variansi residual tidak konstan di seluruh rentang nilai prediktor, yang seharusnya menjadi harapan pada model dengan asumsi homoskedastisitas. Variansi yang tidak seragam ini berpotensi menyebabkan ketidaktepatan dalam estimasi parameter model dan memengaruhi ketelitian prediksi yang dihasilkan, terutama pada data ekstrem atau titik data dengan distribusi residual yang lebih bervariasi.

Untuk mengatasi masalah ini, pengembangan model analisis yang lebih robust diperlukan. Beberapa pendekatan yang dapat digunakan meliputi transformasi data, seperti logaritma atau akar kuadrat, untuk menormalkan distribusi residual atau mengurangi heteroskedastisitas. Selain itu, model regresi robust, seperti regresi M-estimators atau weighted least squares (WLS), dapat mengatasi masalah ketidaknormalan dan heteroskedastisitas lebih baik dibandingkan metode regresi biasa. Pendekatan lain seperti generalized least squares (GLS) dapat digunakan jika ketidakseragaman variansi residual dapat diprediksi berdasarkan model tertentu. Selain itu, metode non-parametrik seperti regresi kernel atau analisis spline dan model berbasis machine learning seperti pohon keputusan, random forests, atau neural networks dapat diadaptasi untuk menangani data dengan distribusi dan variansi yang tidak seragam. Dengan mempertimbangkan pendekatan-pendekatan ini, pengembangan model yang lebih robust dapat dilakukan untuk meningkatkan akurasi prediksi hasil. Evaluasi model secara berulang melalui pengujian diagnostik residual juga sangat penting untuk memastikan bahwa model yang dikembangkan memenuhi asumsi dan memberikan prediksi yang lebih andal.

Berdasarkan analisis yang dilakukan, penggunaan *filter* dalam proses injeksi plastik terbukti memberikan pengaruh signifikan terhadap tekanan injeksi yang dihasilkan. Data menunjukkan bahwa mesin yang dilengkapi dengan *filter* memiliki tekanan injeksi rata-rata yang lebih tinggi (113.17 ± 0.74) dibandingkan dengan mesin tanpa *filter* (102.68 ± 1.1). Peningkatan tekanan ini dapat dijelaskan oleh fungsi *filter* yang menyaring partikel kasar dalam aliran material, sehingga menciptakan aliran yang lebih homogen dan stabil. Proses ini mengurangi fluktuasi tekanan yang sering terjadi tanpa *filter*, yang pada gilirannya meningkatkan kualitas cetakan dan efisiensi proses produksi. Hasil ini sejalan dengan temuan sebelumnya oleh [18] yang menegaskan pentingnya *filter* dalam menjaga kestabilan aliran material.

Di sisi lain, variasi temperatur dalam rentang 210°C hingga 220°C tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap tekanan injeksi. Rata-rata tekanan injeksi tetap stabil di angka 107.92 ± 5.34, menunjukkan bahwa perubahan viskositas material akibat variasi temperatur dalam batas ini tidak cukup besar untuk mempengaruhi tekanan injeksi secara signifikan. Hal ini konsisten dengan temuan oleh [19] yang menyatakan bahwa temperatur dalam rentang tersebut tidak memengaruhi proses injeksi secara signifikan. Selain temperatur, penggunaan *regrind* HDPE hingga 3% juga tidak mempengaruhi tekanan injeksi secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pada tingkat persentase *regrind* yang diuji, kualitas proses injeksi tetap terjaga, karena homogenitas campuran *regrind* dengan material virgin terjaga dengan baik. Ini mengindikasikan bahwa *regrind*, jika diproses dengan benar, tidak menurunkan performa proses injeksi.

Penting untuk dicatat bahwa interaksi antara *filter* dan temperatur menunjukkan bahwa penggunaan *filter* selalu menghasilkan tekanan injeksi yang lebih tinggi, terlepas dari variasi temperatur. Hal yang sama juga berlaku untuk interaksi antara *filter* dan *regrind*, di mana *filter* dapat mengatasi potensi dampak negatif dari penggunaan *regrind*. Ini menunjukkan bahwa *filter* memiliki peran dominan dalam mengendalikan tekanan injeksi, yang tidak terpengaruh oleh perubahan temperatur atau persentase *regrind*. Namun, analisis pengujian normalitas residual menunjukkan adanya ketidaknormalan distribusi residual ($p < 0.010$), yang menunjukkan bahwa model statistik yang digunakan mungkin tidak sepenuhnya sesuai dengan asumsi normalitas residual. Hal ini mengindikasikan bahwa interaksi kompleks antar variabel yang tidak dapat ditangkap oleh model linier sederhana mempengaruhi hasil analisis.

Oleh karena itu, pendekatan analisis yang lebih robust, seperti regresi non-parametrik, mungkin diperlukan untuk memperoleh hasil yang lebih akurat. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *filter* dalam proses injeksi plastik merupakan faktor yang paling signifikan dalam meningkatkan tekanan injeksi. Variasi temperatur dan penggunaan *regrind* dalam rentang yang diuji tidak memberikan dampak signifikan pada tekanan injeksi. Namun, penting untuk memperhatikan model statistik yang digunakan, mengingat adanya ketidaknormalan residual yang menunjukkan perlunya pendekatan analisis yang lebih kompleks.

Kesimpulan

Penerapan berbagai variabel dalam proses injeksi plastik, seperti penggunaan *filter nozzle*, variasi temperatur, dan penggunaan *regrind* HDPE, memiliki pengaruh signifikan terhadap tekanan injeksi dan kualitas produk. Penggunaan *filter nozzle* terbukti meningkatkan tekanan injeksi secara signifikan dengan mengurangi hambatan aliran material akibat kontaminasi dan partikel besar, serta meningkatkan kestabilan proses injeksi. *Filter nozzle* tidak hanya berperan dalam meningkatkan tekanan injeksi, tetapi juga memperbaiki kualitas produk dengan mengurangi cacat dan menjaga aliran material tetap stabil. Sementara itu, variasi temperatur antara 210°C hingga 220°C tidak menunjukkan pengaruh signifikan terhadap tekanan injeksi secara langsung. Namun, interaksi antara *filter nozzle* dan temperatur tertentu meningkatkan performa injeksi, dengan *filter nozzle* berperan penting dalam mengoptimalkan aliran material dan meningkatkan kestabilan proses pada temperatur tertentu.

Penggunaan *regrind* HDPE dalam kadar 3% tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap tekanan injeksi, namun kombinasi penggunaan *filter nozzle* dan *regrind* menunjukkan peningkatan tekanan injeksi yang signifikan. *Filter nozzle* mampu memaksimalkan aliran material meskipun *regrind* dalam kadar rendah memiliki efek minimal terhadap viskositas material. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa pengaturan temperatur yang lebih tinggi (220°C) dapat menurunkan tingkat cacat produk

 ISSN 2987-677x

secara signifikan, dengan temperatur yang lebih tinggi meningkatkan fluiditas material dan mengurangi ketegangan dalam material.

Hal ini berkontribusi pada kualitas produk yang lebih baik, dengan mengurangi cacat seperti porositas atau kekurangan material. Interaksi antara *filter nozzle*, temperatur, dan penggunaan *regrind* HDPE dapat mempengaruhi efisiensi dan kualitas proses injeksi plastik. *Filter nozzle* memainkan peran kunci dalam mengoptimalkan aliran material dan meningkatkan kestabilan proses, sedangkan pengaturan temperatur yang tepat dan penggunaan *regrind* dalam kadar tertentu dapat memberikan manfaat lebih dalam meningkatkan kualitas produk akhir. Oleh karena itu, penelitian ini menyarankan pentingnya mempertimbangkan kombinasi optimal dari faktor-faktor tersebut dalam meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi cacat produk dalam industri plastik.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada:

1. PT Tirta Fresindo Jaya sebagai parusahaan tempat penulis bekerja;
2. Bapak Hery Soesanto selaku Corp.HR &GA yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk berkuliah di Prodi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya;
3. Bapak Hariyadikanta selaku Manufacturing Division Head yang telah memerikan *support* dalam penelitian dan penyelesaian tugas ini;
4. Ibu Dra. Ir. Adriana Anteng Anggorowati, M.Si.,IPU., ASEAN Eng, selaku dosen pembimbing yang dengan sabar membimbing penulis selama proses perkuliahan sampai akhir;
5. Orang tua, Istri, anak penulis yang selalu mendampingi dan memberikan dukungan penulis dalam kondisi apapun selama proses perkuliahan ini;
6. Serta seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan prosiding seminar ini, mulai dari para Bpk/Ibu Dosen pemateri yang telah memberikan materi yang berkualitas, *reviewer* yang telah memberikan masukan yang berharga, hingga materi artikel ini dapat tersusun dengan baik dan dapat selesai tepat pada waktunya.

Referensi

[1] Küfeoğlu, S. (2022). *SDG-9: Industry, innovation and infrastructure* (pp. 349–369). https://doi.org/10.1007/978-3-031-07127-0_11.

[2] Bouhamed, A., Jrad, H., Mars, J., Wali, M., Gamaoun, F., & Dammak, F. (2019). Homogenization of elasto-plastic functionally graded material based on representative volume element: Application to incremental forming process. *International Journal of Mechanical Sciences, 160*. https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2019.07.005.

[3] Quiroz-Flores, J. C., & Vega-Alvites, M. L. (2022). Review lean manufacturing model of production management under the preventive maintenance approach to improve efficiency in plastics industry SMEs: A case study. *South African Journal of Industrial Engineering, 33*(2). https://doi.org/10.7166/33-2-2711.

[4] Ghosh, S., Lee, K., & Moorthy, S. (1996). Two scale analysis of heterogeneous elastic-plastic materials with asymptotic homogenization and Voronoi cell finite element model. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 132*(1–2), 63–116. https://doi.org/10.1016/0045-7825(95)00974-4.

[5] de Jong, A. M., & Mellquist, A. C. (2021). The potential of plastic reuse for manufacturing: A case study into circular business models for an on-line marketplace. *Sustainability (Switzerland), 13*(4). https://doi.org/10.3390/su13042007.

[6] Mourya, A., Nanda, A., Parashar, K., Sushant, Kumar, R. (2023). An explanatory study on defects in plastic molding parts caused by machine parameters in injection molding process. *Materials Today: Proceedings*. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.12.070.

[7] Tabassum, T., & Bheemasetti, T. V. (2024). Effects of geometry and forms of recycled plastics on strength properties of silty soils. *Geotechnical Testing Journal, 47*(1). https://doi.org/10.1520/GTJ20220261.

[8] Hunt, E. R. (2020). Phenotypic plasticity provides a bioinspiration framework for minimal field swarm robotics. *Frontiers in Robotics and AI, 7*. https://doi.org/10.3389/frobt.2020.00023.

[9] Widiastuti, H., Surbakti, S. E., Restu, F., Albana, M. H., & Saputra, I. (2019). Identifikasi cacat produk dan kerusakan mold pada proses plastic injection molding. *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan (JATRA), 1*(2), 72–80. https://doi.org/10.30871/jatra.v1i2.1805.

[10] Naili, C., & Doghri, I. (2023). Combined mean-field and full-field homogenization of porous elasto-plastic materials and composites under arbitrary stress triaxialities. *Mechanics of Materials, 187*. https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2023.104818.

[11] Doghri, I., & Ouaar, A. (2003). Homogenization of two-phase elasto-plastic composite materials and structures study of tangent operators, cyclic plasticity and numerical algorithms. *International Journal of Solids and Structures, 40*(7), 1681–1712. https://doi.org/10.1016/S0020-7683(03)00013-1.

[12] Silano, V., et al. (2018). Safety assessment of the process 'Morssinkhof Plastics', used to recycle high-density polyethylene and polypropylene crates for use as food contact materials. *EFSA Journal, 16*(1), e05117. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5117.

[13] Cavalcante, M. A. A., Khatam, H., & Pindera, M. J. (2011). Homogenization of elastic-plastic periodic materials by FVDAM and FEM approaches – An assessment. *Composites Part B: Engineering, 42*(6), 1516–1525. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.03.006.

ISSN 2987-677x

[14] Calvillo Guevara, J. M., Pérez Domínguez, L., & Garcia Villalba, L. A. (2019). Evaluation of the plastic injection machine maintenance system through the TOPSIS method. *Respuestas, 24*(1), 54–62. https://doi.org/10.22463/0122820x.1794.

[15] Lu, C. H., & Tsai, C. C. (2001). Adaptive decoupling predictive temperature control for an extrusion barrel in a plastic injection molding process. *IEEE Transactions on Industrial Electronics, 48*(5), 1054–1061. https://doi.org/10.1109/41.954561.

[16] Mori, K. I., & Abe, Y. (2018). A review on mechanical joining of aluminium and high strength steel sheets by plastic deformation. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*. https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2018.02.002.

[17] Alfian, A. (2021). Molding design of Padang State Polytechnic logo souvenir molding on pressed plastic injection molding machine 1,960 kg/cm². *Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa, 16*(2), 72–77. https://doi.org/10.30630/jipr.16.2.197.

[18] Oussai, A., Bártfai, Z., Kátai, L., & Szalkai, I. (2019). Development of a small-scale plastic recycling technology and a special filament product for 3D printing. *International Journal of Engineering and Management Sciences, 4*(1), 369–374. https://doi.org/10.21791/ijems.2019.1.45.

[19] Pivovarov, D., Mergheim, J., Willner, K., & Steinmann, P. (2022). Stochastic local FEM for computational homogenization of heterogeneous materials exhibiting large plastic deformations. *Computational Mechanics, 69*(2), 447–469. https://doi.org/10.1007/s00466-021-02099-x.

ISSN 2987-677x

Komposting untuk Menekan Sampah Daun dari Lanskap Gedung Mayora HQ

Andreas[1], Adriana Anteng Anggorowati[2]

[1,2] Program Studi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya 60112, Indonesia
[2] PT. SIP (Mayora Group) Divisi Building Management

✉ andreaswhk@gmail.com

Sampah daun dari area lanskap gedung Mayora HQ yang mempunyai area lanskap yang dibagi menjadi 2 area, yaitu area gedung utama seluas 17.149 m² dan area kantin seluas 26.626 m² merupakan salah satu sumber limbah organik yang volumenya signifikan dan sering kali terabaikan dalam sistem pengelolaan sampah. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas metode komposting dalam mengurangi volume sampah daun dari lanskap gedung serta potensi pemanfaatannya kembali sebagai pupuk organik. Komposting dilakukan menggunakan metode aerobik sederhana dengan bahan dasar daun kering dan potongan rumput. Hasil menunjukkan bahwa komposting mampu mengurangi volume sampah daun hingga 25% dan menghasilkan kompos yang layak digunakan untuk pemeliharaan taman gedung. Temuan ini menunjukkan bahwa komposting adalah solusi praktis dan ramah lingkungan dalam sistem manajemen fasilitas gedung berkelanjutan.

Kata kunci: komposting, sampah daun, pengelolaan sampah organik, bangunan hijau.

Pendahuluan

Dalam penelitian ini, yang berfokus pada proses komposting untuk menekan sampah daun dari lanskap Gedung Mayora HQ sejalan dengan program *sustainable development goals* (SDG's) nomor 12, yaitu konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab. SDGs nomor 12 memilki tujuan untuk memastikan pola konsumsi dan produksi yang berkelanjutan secara global, dengan fokus pada efisiensi sumber daya, pengurangan limbah, dan promosi praktik-produksi yang ramah lingkungan. Hal ini sesuai dengan arah kebijakan pemerintah yaitu penguatan upaya pengurangan, penanganan, dan pemanfaatan sampah. Proses komposting yang dilakukan dalam penelitian secara tidak langsung memperkuat penguasaan teknologi bersih untuk mendukung pengurangan produksi sampah dan termasuk optimisasi pengelolaan sampah secara khusus.

Dalam sistem pengelolaan gedung di Gedung Mayora HQ , dengan luas area lanskap yang dibagi menjadi 2 area, yaitu gedung utama seluas 17.149 m^2 dan area kantin seluas 26.626 m^2, perhatian terhadap aspek lingkungan semakin menjadi prioritas. Salah satu permasalahan yang kerap muncul adalah akumulasi sampah organik dari lanskap yang secara kubikasi dalam sebulan mencapai 50 m^3, khususnya daun kering. Sampah daun dalam jumlah besar tidak hanya mengganggu estetika, tetapi juga berkontribusi terhadap beban volume sampah yang dikirim ke TPA.

Pengomposan termasuk proses pembuatan pupuk organik dengan mengonversikan bahan-bahan organik menjadi bahan yang lebih sederhana dengan bantuan aktivitas mikroorganisme. Proses komposting adalah penguraian bahan organik menjadi pupuk alami. Proses ini menawarkan solusi berkelanjutan terhadap masalah sampah berupa penumpukan daun kering dan ranting. Dengan menerapkan komposting secara sistematis di lingkungan gedung, volume sampah daun dapat ditekan secara signifikan, serta menghasilkan manfaat tambahan berupa kompos yang berguna bagi pemeliharaan lanskap.

Selama proses pengomposan di dalam komposter, bahan organik akan mengalami proses sebagai berikut:

a. Tahap mesofilik, yaitu suatu proses penguraian tahap awal yang terjadi kurang lebih satu minggu. Pada tahap ini, karbohidrat sederhana dalam bahan baku dimetabolisme secara cepat dan biasanya mengeluarkan panas antara 15 hingga 45°C;
b. Tahap termofilik berdasarkan penelitian, berlangsung kurang lebih dua minggu dan suhu meningkat menjadi sekitar 75°C, maka akibatnya mikroorganisme yang pathogen bagi makhluk hidup akan mati. Peningkatan suhu ini disebabkan terjadi degradasi protein, lemak dan senyawa karbohidrat kompleks, seperti selulosa dan hemiselulosa;
c. Tahap pendinginan dan maturase, pada tahap ini aktivitas mikroorganisme akan mengalami penurunan hingga 50%, namun diversitas taksonomi dan metabolitnya akan meningkat. Tahapan maturase akan terjadi degradasi senyawa resistan dan mengubahnya menjadi humus.

Metode

1. Pemilihan Tempat

Ditentukan area di halaman yang akan digunakan untuk membuat kompos. Pemilian lokasi ini dipastikan pada suatu tempat yang tidak terkena sinar matahari secara langsung dan memiliki akses yang mudah. Dalam penelitian ini dipilih lokasinya ada di area *nursey* yang agak rimbun seperti tampak dalam Gambar 1.

Gambar 1 Lokasi di Area Nursery di Bawah Pohon Teduh

 ISSN 2987-677x

2. Pemilihan Wadah

Memilih wadah dan material yang sesuai untuk tempat pengomposan, seperti tong, bak beton, atau plastik. Yang terpenting adalah dipastikan wadah yang akan dipergunakan memiliki lubang-lubang kecil untuk ventilasi udara seperti dalam Gambar 2.

Gambar 2 Wadah Dibuat dari Bak Beton

3. Pengumpulan Bahan Organik

Pengambilan bahan organik seperti daun kering, rumput yang dipotong, atau serbuk gergaji kayu, kemudian dimasukkan ke dalam mesin cacah kompos untuk digiling agar tekstur lebih halus dan mudah terurai di tanah. Yang perlu dihindari adalah bahan-bahan seperti daging, tulang, atau produk susu, karena dapat menarik hewan pengganggu. Propses ini terlihat dalam Gambar 3.

Gambar 3 Pencacahan Daun dan Ranting

4. Menyusun bahan baku secara berlapis

Bahan organik yang sudah diperkecil ukurannya disusun secara bergantian dengan daun kering atau ranting. Bahan baku yang tersusun dipastikan setiap lapisan tidak terlalu tebal agar udara dapat bersirkulasi dengan baik dan untuk mempercepat pembusukan. Tahap penyusunan bahan baku ini dapat ditunjukkan dalam Gambar 4.

Gambar 4 Penyusunan Bahan Organik ke Dalam Bak Kompos

5. Menjaga kelembaban

Supaya kompos tetap lembab, maka diperlukan air yang dialirkan secara teratur dan ditambahkan molase EM4 sebagai bakteri pengurai agar kompos cepat matang dan bisa cepat terurai 1 kali/bulan. Jika terlalu kering tambahkan air lagi dan jika terlalu basah tambahkan daun kering atau serbuk gergaji kayu. Kemudian dibiarkan organisme di dalam kompos bekerja supaya terjadi proses penguraian bahan baku selama beberapa bulan. Campuran dalam komposter ini dapat diaduk dengan alat pengaduk kompos sekali dalam seminggu dengan tujuan agar aerasi udara terus terjadi sehingga mempercepat proses penguraian bahan baku, seperti tampak dalam Gambar 5.

Gambar 5 Penambahan Molase EM4

6. Proses Pemanenan
   a. Box kompos terdapat 3 partisi, yaitu bagian 1, 2, dan 3;
   b. Setiap box akan dipanen tiga kali per bulan dan setiap periode panen bergilir dari tiap box tampungan untuk melihat tingkat kematangan kompos yang sudah siap panen;
   c. Pada fase pemanenan, kompos diambil dari tumpukan paling bawah dalam box karena proses pembusukan berproses dimulai dari bagian dasar tumpukan bahan baku, dapat ditunjukkan dalam Gambar 6.

Gambar 6 Pemanenan Kompos

   d. Langkah selanjutnya memasukkan kompos yang sudah matang ke dalam karung untuk dipergunakan menyuburkan tanaman di area mayora, seperti terlihat dalam Gambar 7.

 ISSN 2987-677x

Gambar 7 Kompos yang Sudah Matang

Sumber mikroorganisme pengurai dalam pembuatan kompos ini menggunakan EM4. Cairan EM4 adalah larutan yang mengandung bakteri yang berfungsi untuk mengurai bahan organik secara alami. EM4 yang dipergunakan dalam pembuatan kompos terdiri dari berbagai kultur mikroorganisme (kultur campuran). Fungsi penambahan EM4 disamping mempercepat proses degradasi bahan baku kompos, juga dapat menyuburkan tanah. Dengan menggunakan EM4, kompos yang dihasilkan memiliki kualitas baik dan kaya unsur hara. Kompos yang dihasilkan juga ramah lingkungan dan tidak membahayakan tanaman. Komposisi EM4 dan bahan baku kompos yang dipergunakan sebagai berikut:

a. 1 liter EM4
b. 0,5 kg gula merah yang dilarutkan dalam 1 liter air
c. 100 liter air
d. 10% dedak halus dari total bahan
e. 1000 kg rumput, jerami, atau limbah pertanian

Berikut beberapa hal yang perlu diperhatikan saat membuat kompos dengan EM4:

a. Kadar air kompos sebaiknya berkisar antara 30% - 40% sebelum proses fermentasi. Ciri-ciri kadar air yang pas adalah saat dikepal bahan yang sudah disemprot EM4 tidak meneteskan air;
b. Bokashi (pengomposan) yang diperoleh dengan bantuan EM4 sudah dapat digunakan dalam waktu 7–14 hari.

Hasil dan Pembahasan

Pengurangan Volume Sampah

Selama 30 hari, volume sampah daun berkurang dari 50 m^3 menjadi ± 38 m^3 (sekitar 25%). Pengurangan ini signifikan dalam konteks operasional gedung, terutama yang menghasilkan sampah lanskap secara rutin. Hasil kompos selama tahun 2025, ditabelkan dalam Tabel 1. Berat kompos setiap karungnya rata-rata kurang lebih 12 kg. Berdasarkan literatur, unsur terbanyak yang terdapat dalam kompos adalah nitrogen, fosfor, kalium, dan terdapat unsur mikro yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman. Kompos termasuk salah satu pupuk organik yang ramah lingkungan.

Tabel 1 Hasil Pembuatan Kompos di Tahun 2025

Bulan	Jumlah (karung)	Berat (kg)
Januari	138	1.656
Februari	100	1.200
Maret	121	1.452
April	136	1.632
Mei	175	2.100

Spesifikasi Kompos yang Dihasilkan

Secara kualitatif diperoleh data sebagai berikut:

a. Warna cokelat gelap;
b. Tekstur remah;
c. Bau seperti tanah hutan.

Kompos ini dapat dipergunakan langsung pada taman gedung dan menunjukkan peningkatan kesuburan tanah.

Keuntungan Operasional

Dengan menerapkan composting, dengan membuat kompos secara mandiri, maka Mayora memperoleh keuntungan antara lain:

a. Biaya transportasi dan pembuangan sampah berkurang;
b. Tidak diperlukan pembelian pupuk kimia untuk lanskap;
c. Gedung dinilai lebih ramah lingkungan oleh tenan dan pengunjung.

Tantangan

Beberapa kendala yang ditemui dalam proses *composting* ini, yaitu:

a. Keterbatasan ruang kompos;
b. Pengawasan kelembaban yang belum konsisten.

Solusi yang diusulkan berupa penggunaan komposter vertikal dan dilakukan pelatihan secara berkala bagi tenaga kebersihan khususnya tenaga yang baru.

Kesimpulan

Komposting merupakan metode efektif untuk menekan volume sampah daun dari lanskap gedung. Selain mengurangi beban sampah, metode ini juga memberikan nilai tambah berupa pupuk alami yang mendukung pemeliharaan taman. Implementasi komposting skala kecil terbukti praktis dan dapat dijadikan bagian dari sistem manajemen fasilitas gedung berkelanjutan. Penerapan ini layak diperluas ke berbagai jenis gedung, khususnya di area perkotaan.

Ucapan Terima Kasih

Dalam penyelesaian artikel ini penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. PT. Semesta Indah Permata (Mayora Group) tempat penulis bekerja;
2. *Team Landscape* Gedung Mayora *Head Quarters*;
3. Dr. Ir. Ivan Gunawan ST., M.MT., CSCM., IPM., ASEAN Eng. selaku Ketua Prodi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya;
4. Dra Ir. Adriana Anteng Anggorowati M.Si., IPU., ASEAN Eng. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membantu dalam proses pembuatan artikel ini;
5. Keluarga, istri, dan anak - anak yang telah mendoakan dan memberikan *support* sehingga artikel ini dapat diselesaikan;
6. Teman-teman mahasiswa Prodi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya;
7. Semua pihak yang telah membantu penulis.

Referensi

Astuti, R. (2020). *Pengelolaan sampah organik di perkotaan*. Jakarta: Penerbit Lingkungan Hijau.

Hidayat, T. (2022). Penerapan kompos pada lanskap perkotaan. *Jurnal Hortikultura Tropis*, *9*(1), 22–30.

ISSN 2987-677x

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI. (2021). *Pedoman pengelolaan sampah organik dengan komposting*.

Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. (2017). *Peta jalan SDGs Indonesia menuju 2030*.

Sardjono, N. S., & Siagian, R. (2021, Maret 5). Jenis-jenis metode pembuatan kompos. Direktorat Jenderal Perkebunan. https://ditjenbun.pertanian.go.id/jenis-jenis-metode-pembuatan-kompos/.

Suwandi, S. (2018). Manajemen fasilitas dan lingkungan gedung. *Jurnal Teknologi Bangunan*, *12*(2), 45–52.

ISSN 2987-677x

Aplikasi Penggunaan *Waterproof Connector* untuk Instalasi Listrik Lapangan pada Proyek Konstruksi

Abdul Hakam[1] Adwiyah Asyifa[2] Adriana Anteng Anggorowati[3]

[1,3] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[2] Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Teknologi Yogyakarta

[3] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ doel_abdulhakam@yahoo.com.au

Aliran listrik tidak dapat dilepaskan dari kebutuhan hidup manusia. Hampir semua aktivitas hidup manusia membutuhkan energi dari aliran listrik, tidak terkecuali aktivitas pada proyek konstruksi, dimana aliran listrik dibutuhkan untuk menggerakkan alat bantu berpenggerak listrik dan penerangan. Namun, aliran listrik juga mengandung potensi bahaya jika tidak ditangani dengan benar yang menyebabkan risiko kebakaran, hingga yang paling berat risiko *fatality* atau kematian. Instalasi listrik pada proyek konstruksi, meliputi penyediaan sumber aliran listrik, perkabelan, dan panel *receptacle* yang dapat disambungkan ke peralatan bantu dan peralatan penerangan. Posisi peralatan bantu yang sering berada jauh dari sumber aliran listrik mengharuskan pemasangan kabel tambahan untuk menghubungkan peralatan tersebut dengan sumber listrik. Perbedaan jarak ini menyebabkan perlunya penyambungan kabel, baik antarkabel maupun antara kabel dengan peralatan bantu yang digunakan. Namun, masih sering dijumpai cara menyambung kabel yang tidak benar sehingga berisiko menimbulkan celaka. Sambungan kabel yang dipasang pada proyek konstruksi harus andal. Karena terpasang pada lingkungan terbuka yang terpapar sinar matahari dan air hujan, maka diperlukan *connector* yang tahan air atau *waterproof*. Dengan menggunakan *waterproof connector* diharapkan dapat mencegah terjadinya musibah akibat aliran listrik yang membahayakan keselamatan pekerja. Tipe *waterproof connector* dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan spesifik instalasi listrik setempat. Penggunaan *waterproof connector* juga memberikan kesan positif pada kerapihan dan estetika instalasi di lapangan. Selain itu, material *waterproof connector* dapat digunakan berulang pada saat dibutuhkan pemindahan instalasi listrik atau pemakaian pada kegiatan proyek konstruksi di kemudian hari.

Kata kunci: instalasi kabel listrik, *waterproof connector*.

Pendahuluan

Penelitian "Aplikasi Penggunaan *Waterproof Connector* untuk Instalasi Listrik Lapangan pada Proyek Konstruksi". mendukung keberhasilan target tujuan *sustainable development goals* (SDG's) nomor 9, yaitu membangun infrastruktur yang tangguh, meningkatkan industri inklusif dan berkelanjutan, serta mendorong inovasi. Dengan memanfaatkan material *waterproof connector* pada sambungan kabel yang dipasang pada proyek konstruksi, walaupun terpasang pada lingkungan terbuka yang terpapar sinar matahari dan air hujan, dijamin aman dan tidak membahayakan keselamatan pekerja karena dapat mencegah terjadinya musibah akibat aliran listrik. Hal ini selaras dengan salah satu target dari SDGs nomor 9 ini, yaitu mengembangkan infrastruktur yang berkualitas, andal, berkelanjutan dan tangguh, termasuk infrastruktur regional dan lintas batas, untuk mendukung pembangunan ekonomi dan kesejahteraan manusia, dengan fokus pada akses yang terjangkau dan merata bagi semua.

Proyek konstruksi merupakan kegiatan yang bertujuan untuk membangun, mengembangkan, atau memperbaiki infrastruktur, bangunan, atau fasilitas lainnya yang memerlukan perencanaan yang matang, pengelolaan yang efektif, dan pelaksanaan yang tepat untuk memastikan bahwa proyek selesai tepat waktu, dalam anggaran, dan dengan kualitas yang diharapkan. Dikarenakan kegiatan konstruksi melibatkan berbagai sumber daya manusia, bahan baku, dan peralatan, kegiatan proyek konstruksi tidak terlepas dari risiko-risiko yang tidak diinginkan, salah satunya adalah kecelakaan kerja.

Peradaban maju seperti sekarang dimana manusia tidak lepas dari ketergantungan akan listrik dalam kehidupan sehari-hari, kegiatan proyek konstruksi juga selalu melibatkan alat bantu yang ditenagai aliran listrik untuk menunjang kegiatan produksi, baik secara langsung maupun tidak langsung. Sebagaimana diketahui karakteristik aliran listrik yang digunakan sehari-hari juga menyimpan bahaya jika tidak ditangani dengan baik, yang sering kita kenal sebagai kecelakaan kerja akibat listrik.

Dalam lingkungan kegiatan proyek, sumber aliran listrik didistribusikan dengan jaringan listrik *temporary* melalui kabel ke seluruh spot lokasi kerja yang tersebar di lingkungan kerja. Dikarenakan jarak yang beragam antara sumber aliran listrik dan lokasi kerja, maka sering ditemui kabel-kabel distribusi yang disambung sampai lokasi tujuan. Kecelakaan kerja akibat listrik merupakan salah satu risiko signifikan dalam industri konstruksi, terutama pada instalasi

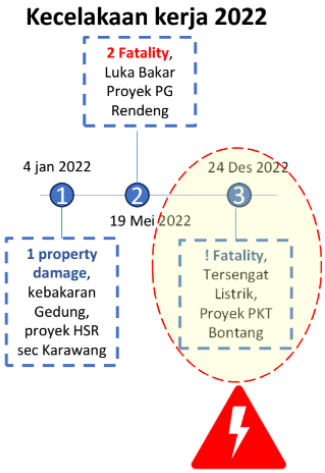
 ISSN 2987-677x

kabel yang sering terpapar kondisi lingkungan yang tidak terkontrol. Sambungan kabel listrik, sebagai titik kritis dalam sistem distribusi daya, menjadi sangat rentan terhadap kegagalan ketika terpapar air dan kelembaban, yang dapat memicu korsleting, sengatan listrik, bahkan kebakaran.

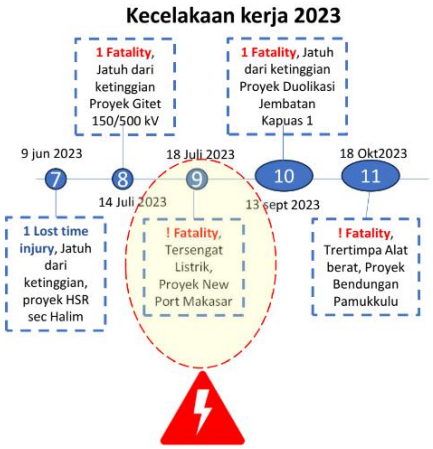
Gambar 1 Infografis Kejadian Kecelakaan Kerja Tahun 2022 (Sumber: Kani, 2013)

Kondisi ini mengancam keselamatan pekerja dan dapat menghambat progres proyek. Kejadian kecelakaan kerja yang terjadi akibat sengatan listrik pada dunia konstruksi mengkontribusi sampai 8% dari keseluruhan kecelakaan yang terjadi ditunjukkan sebagaimana infografis pada Gambar 1.

Sejak tahun 2022, dalam lingkungan operasi PT Wijaya Karya telah terjadi 2 (dua) kali kejadian kecelakaan kerja yang diakibatkan oleh sengatan arus listrik. Data dari peristiwa kecelakaan ini ditampilkan seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2 Data Kejadian Kecelakaan Kerja Tahun 2022 (Sumber: PT Wijaya Karya, 2023)



Gambar 3 Data Kejadian Kecelakaan Kerja Tahun 2023 (Sumber: PT Wijaya Karya, 2024)

Salah satu upaya untuk mencegah terjadinya kecelakaan kerja akibat aliran listrik adalah membuat sambungan kabel listrik yang andal dengan menggunakan *connector waterproof* (Gambar 4).

Gambar 4 *Connector Waterproof*

Metode

Pada mulanya, yang umum digunakan dalam menyambung kabel listrik adalah cara konvensional dengan menghubungkan masing-masing inti tembaga dari 2 kabel atau lebih yang disambungkan kemudian membungkus inti tembaga yang terhubung dengan selotip sebagai pelindung sebagaimana contoh pemasangan pada Gambar 5.

Gambar 5 Sambungan Kabel Konvensional dengan Menggunakan Selotip Sebagai Pelindung (Sumber: Putra Sinaga, 2024)

Cara di atas memiliki beberapa kelemahan diantaranya, yaitu tidak tahan terhadap suhu tinggi, tidak tahan air, terpengaruhi oleh kelembaban, kurang kuat secara mekanis, dan umur pemakaian yang singkat karena berkurangnya daya rekat. Dengan kelemahan-kelemahan di atas, penggunaan *connector waterproof* menjadi jawaban untuk mengatasinya karena memiliki kelebihan dalam membentuk segel yang rapat untuk

 ISSN 2987-677x

melindungi perangkat listrik dari kelembapan, hujan, salju, air asin, dan air bertekanan.

Cara menggunakan *connector waterproof*, yaitu dengan membuka ulir penutup, memasukkan kabel, menyambung kabel dalam terminal penghubung menggunakan obeng, dan menutup kembali ulir penutup. Setelah tersambung tidak diperlukan lagi perlakuan khusus karena bentuknya menyerupai untaian kabel pada umumnya seperti pada gambar 6 di bawah.

Gambar 6 Sambungan kabel dengan *Connector Waterproof* (Sumber: Putra Sinaga, 2024)

Hasil Kerja

Karakteristik material

Connector waterproof memiliki karakter spesifik tercantum dalam Tabel 1 dan Tabel 2 berikut:

Tabel 1 Parameter Teknis Material yang Umum di Pasaran

Technical Parameters	
Contact Resistance	10 mΩ max
Insulation Structure	500 MΩ at 500VDC
Operating Temperature	-40°C ~ +105°C
IP Class	IP67 (1m / 30min)
Mold Material	PA66
Contact/Terminal Material	Gold Plated Brass
Seal Material	Silicone

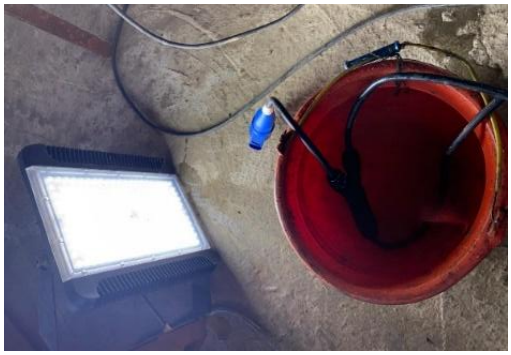
Tabel 2 Parameter Pemakaian Sesuai dengan Spesifikasi Material

Operation Parameters	
Voltage Rating	600VAC max
Current Rating	50A max
Min Wire Size OD	6.5mm ~ 10mm
Max Wire Size OD	10.5mm ~ 18mm
Max.Cable Cross Section Area	0.5mm2 ~ 6.0mm2

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2, dapat disimpulkan bahwa sambungan *connector waterproof* tersebut sesuai dengan *requirement* penyambungan listrik yang umum digunakan proyek konstruksi maupun pemakaian rumahan pada umumnya.

Pengujian material

Salah satu proyek konstruksi di PT Wijaya Karya yang telah menggunakan *waterproof connector* adalah Proyek Jaringan IPAL 1 dan 3 KIPP IKN. Dalam proyek ini, telah melakukan pengetesan dengan mengaliri listrik pada sambungan kabel dan merendamnya ke dalam air. Proses pemasangan ini tetap mengutamakan prinsip dasar K3LH (Keamanan, Keselamatan dan Kesehatan Lingkungan Hidup) yang bertujuan menciptakan keadaan aman, kondisi yang terlindungi secara fisik dan spiritual, keadaan terbebas, atau terhindar dari berbagai keadaan yang tidak diinginkan. Hasil sambungan kabel aman dan tidak ada kebocoran pada aliran listrik seperti pada Gambar 7.



Gambar 7 Percobaan Perendaman Sambungan *Waterproof Connector* Dalam Air. (Sumber: Putra Sinaga, Proyek JPAL 1 dan 3 KIPP IKN, 2024)

Hasil kerja juga didukung dan diperkuat oleh literatur-literatur yang tepat dan akurat. Bagian ini juga menjelaskan urgensi dari proyek ini dan kemanfaatan terutama berkaitan dengan profesi sebagai seorang insinyur.

Benefit penggunaan

Dari uraian di atas, didapatkan bahwa penggunaan *connector waterproof* memberikan benefit terjaminnya sambungan kabel yang aman, kuat, dan andal, yang tentu saja meminimalkan risiko kecelakaan kerja akibat aliran listrik. Dengan rincian benefit sebagai berikut:

1. Memastikan kualitas sambungan kabel listrik aman dan mencegah terjadinya cacat sambungan listik yang berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja listrik;
2. Teruji untuk pemakaian di lingkungan terbuka (*outdoor*) dengan cuaca ekstrem (hujan dan panas);
3. Tampilan sambungan kabel lebih rapi dan teratur (estetika instalasi listrik);
4. Potensi penggunaan berulang untuk instalasi jaringan listrik sementara dan minim perawatan.

Secara keseluruhan dapat disimpulkan dalam Tabel 3.

Tabel 3 Perbandingan Penggunaan Sambungan Konvensional dengan *Connector Waterproof*

Kriteria	Sambungan Kabel Isolasi Biasa/ Konvensional	*Waterproof Connector Wire*
Ketahanan terhadap faktor lingkungan (air	▪ Tidak tahan terhadap suhu tinggi, yang bisa	▪ Telah standar IP 67-68

 ISSN 2987-677x

hujan, kelembapan, suhu)	meleleh atau kerusakan pada isolasi ▪ Tidak dirancang untuk tahan air khususnya jika terendam air ▪ Terpengaruh oleh kelembaban, mengakibatkan korosi, dan kebocoran listrik	
Ketahanan terhadap faktor fisik dan kimiawi (tekanan, panas, gesekan, gigitan tikus, cairan berbahaya)	Kurang kuat secara mekanis, sehingga dapat mudah robek atau rusak saat terjadi gesekan atau tekanan dari luar	Lebih kuat
Umur pakai	Memiliki umur pakai yang lebih pendek (cenderung mengelupas)	Tahan hingga 10 tahun
Harga material dan install	± Rp 10.000/roll untuk *multiple use*	±Rp.20.000 /pcs

Kesimpulan

Penggunaan *connector waterproof* disarankan untuk semua kebutuhan penyambungan kabel listrik, baik jaringan permanen maupun sementara. Tidak hanya itu, disarankan juga untuk organisasi yang memiliki standar operasi, bisa mengimplementasikan dalam lingkup operasinya dengan membuatkan prosedur atau instruksi kerja yang berlaku.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih untuk PT Wijaya karya (Persero) Tbk atas dukungan dan komitmen menjaga kesehatan keselamatan kerja dan lingkungan, khususnya Proyek Jaringan IPAL 1 dan 3 KIPP IKN atas *pioneer* dan *knowledge management* yang menjadi standar baru implementasi jaringan listrik lapangan.

Referensi

Kani, B. R. (2013). *Keselematan dan kesehatan kerja*. Manado: Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi.

Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. (2017). *Peta jalan SDGs Indonesia menuju 2030*.

PT Wijaya Karya (Persero) Tbk. (2023). *Data kecelakaan kerja tahun 2022*.

PT Wijaya Karya (Persero) Tbk. (2024). *Data kecelakaan kerja tahun 2023*.

Sinaga, Putra. (2025, Januari 14). *Aplikasi penggunaan waterproof connector wire*. Makalah disajikan dalam Manajemen Review Divisi Infrastruktur 2, PT Wijaya Karya.

Standar Nasional Indonesia. (2011). *SNI 0225:2011 – Persyaratan umum instalasi listrik (PUIL 2011)*. Badan Standardisasi Nasional.

ISSN 2987-677x

Tantangan Pembangunan Infrastruktur di Area Pertambangan Batubara

Josep Krisdiandi Sibarani Sibarani[1], Tarsisius Dwi Wibawa Budianta [2], Lusia Permata Sari Hartanti [3]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[2] Dosen Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[3] Dosen Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ josepkriss@gmail.com
✉ tdwiwibawabudianta@ukwms.ac.id
✉ lusia.hartanti@ukwms.ac.id

Pembangunan infrastruktur di area pertambangan umumnya mempunyai rencana waktu penyelesaian dalam penjadwalannya yang ditetapkan berdasarkan dari sumber daya yang dimiliki. Masalah timbul ketika waktu realisasi aktual melebihi waktu perencanaan yang dapat menyebabkan keterlambatan. Analisis faktor penyebab keterlambatan dalam berbagai proyek pembangunan infrastruktur umumnya masih dilakukan dari satu sudut pandang saja. Pendekatan *Problem Identification and Corrective Action* (PICA) yang dikombinasikan dengan metode Pareto belum banyak diterapkan dalam upaya meminimalisir keterlambatan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor dominan penyebab keterlambatan proyek infrastruktur, khususnya di area pertambangan. Keterlambatan merupakan permasalahan umum dalam penyelesaian proyek konstruksi. Salah satu contoh kasus terjadi pada proyek pembangunan gudang (*warehouse*) di *site* Adaro Wara Indonesia, yang mengalami keterlambatan dalam proses pelaksanaannya. Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode Pareto, diperoleh tiga rekomendasi utama untuk mengurangi keterlambatan, yaitu: (1) penambahan tenaga kerja (manpower) yang disesuaikan dengan item pekerjaan, (2) perencanaan stok material yang sinkron dengan jadwal kebutuhan material, dan (3) perencanaan pendanaan proyek yang selaras dengan jadwal pelaksanaan pekerjaan.

Kata kunci: industri pertambangan, pertambangan batubara, analisis, metode pareto, pembangunan infrastruktur

Pendahuluan

Implementasi kaidah teknik pertambangan yang baik (*Good Mining Practice/*GMP) sudah harus dilakukan eksplorasi, pengolahan, pengangkutan, infrastruktur, sampai dengan tahap pasca tambang/reklamasi sehingga dapat meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, sosial dan ekonomi. Kebutuhan akan jasa infrastruktur sektor pertambangan di Indonesia meningkat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi *makro* dan *mikro* sehingga memberikan efek domino (*multiplier effect*) terhadap pembangunan nasional, khususnya disektor pertambangan. Dengan latar belakang tersebut, penulis ingin menganalisis faktor-faktor yang menyebabkan keterlambatan, agar bisa diketahui penyebabnya dan membuat jadwal percepatan penyelesaianya dalam pelaksanaan pembangunan infrastruktur, sehingga bisa menjadi evaluasi ke depan agar keterlambatan pembangunan infrastruktur bisa diminimalisir dan mengetahui dampak yang terjadi akibat keterlambatan pembangunan infrastruktur. Kendala dalam bidang manajemen, seperti kesalahan dalam melakukan estimasi waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek dalam tahap perencanaan atau bermacam kemungkinan misalnya disebabkan manajemen yang tidak tepat, masalah material, tenaga kerja, peralatan, keuangan, dan lingkungan yang tidak mendukung sehingga terhambatnya pelaksanaan di *site*. Dengan demikian, diharapkan dapat diketahui faktor yang paling mempengaruhi keterlambatan.

Tujuannya adalah mengidentifikasi faktor-faktor penyebab keterlambatan progres pekerjaan *warehouse* PT PPA. Analisis faktor keterlambatan progres pekerjaan pada presentasi ini menggunakan metode pareto untuk mengidentifikasi penyebab dominan terjadinya keterlambatan dan cara mengatasi penyebab keterlambatan tersebut. Manfaat dari metode diagram pareto sebagai berikut:

1) Untuk mencari faktor dominan dari suatu masalah keterlambatan;
2) Untuk mengidentifikasi prioritas masalah yang akan diselesaikan serta menunjukkan nilai aktual dari setiap parameter yang ditinjau;
3) Sebagai alat dalam menentukan frekuensi/ tingkat kepentingan relatif dari permasalahan dan menunjukan hasil perbaikan dari diagram pareto.

Untuk mengetahui dan mendapakatkan item pekerjaan yang terlambat, mencari faktor-faktor dasar penyebab keterlambatan serta menentukan waktu percepatan penyelesaian pembangunan setelah adanya keterlambatan dalam pelaksanaan infrastruktur pembangunan *warehouse*. Berdasarkan hasil dari analisis data yang dilakukan *supervisor* teknis, *site engineer* dan penanggung jawab operasional, mengidentifikasi faktor keterlambatan yang akan dijabarkan untuk pengambilan data faktor keterlambatan dengan menggunakan data sebagai berikut:

1) Laporan harian (*daily report*) yang dilaporkan secara rutin/teratur di WAG dan *meeting* mingguan (*weekly meeting*). Untuk rincian laporan harian terdiri dari waktu pekerjaan, curah hujan, jumlah *manpower*, rincian kegiatan, material *onsite*, material kerja, progres pekerjaan harian, dan rincian pekerjaan hari berikutnya dokumentasi pekerjaan;
2) *Minutes of meeting*/MoM *weekly report* yang rutin dilakukan setiap hari sabtu setiap minggunya. Yang menjelaskan pembahasan mengenai kemajuan pekerjaan, hambatan, masukkan solusi permasalahan dan tindakan perbaikkan dari hasil MoM dalam kurun waktu 1 minggu;
3) Jadwal waktu pelaksanaan pekerjaan (*Curva-S*) yang menjelaskan kemajuan pekerjaan (tahapan pekerjaan, bobot pekerjaan, dan deviasi progres pekerjaan.

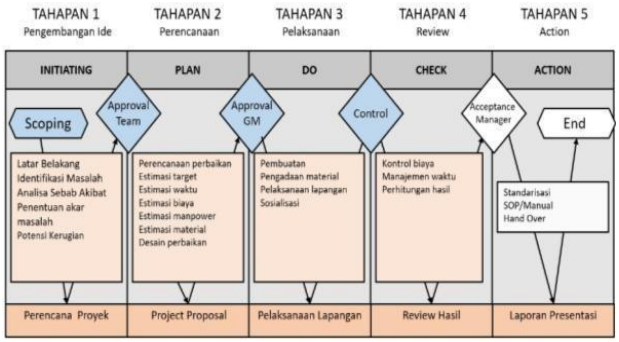
 ISSN 2987-677x

Metode

Membuat daftar *list* permasalahan pada lembar pengamatan dan menentukan skala pengukuran dampak/akibat terhadap keterlambatan.

1. Tahapan P.I.C.A. (*Problem Identification and Corrective Action*)

PICA adalah Alat Kontrol bagi setiap organisasi dalam mengamati proses P.D.C.A. (*plan do check action*) yang dijalankan sesuai dengan rencana atau masih banyak kendala yang dihadapi. PICA menjadi bagian dari proses cek dalam PDCA untuk tetap membuat P.D.C.A. berkelanjutan dan berkesinambungan. Tahapan P.I.C.A. sebagaimana Gambar 1.



Gambar 1 Tahapan *PICA* Proyek

2. Identifikasi Masalah/*Problem identification*

Cara untuk melihat atau menganalisis masalah yang menyebabkan rencana (*plan*) tidak dapat berjalan dengan baik atau menyimpang dan berpotensi mengakibatkan target dan tujuan tidak sesuai dengan yang diharapkan. Struktur identifikasi masalah terdapat pada Gambar 2.

Gambar 2 Struktur Identifikasi Masalah

3. Penentuan Akar Masalah

Masalah yang menjadi kendala dan menyebabkan target awal tidak tercapai, terurai dalam kategori masalah internal dan masalah eksternal. Berikut ada lima kendala yang mengakibatkan keterlambatan pembangunan infrastruktur dimuat di dalam Tabel 1, sebagai berikut:

Tabel 1 Faktor-Faktor Keterlambatan

No	Kendala	Keterangan
1	*Manpower*	Kekurangan *manpower*
2	Material	Kekurangan material
3	Peralatan	Kurangnya alat kerja
4	Lingkungan	Hujan/panas di lapangan
5	Administrasi	Izin administrasi banyak

Perbaikan yang akan dilakukan tidak akan menjadi masalah berulang dalam pencapaian target, kemudian target baru setelah adanya perbaikan sebelum mencapai target awal dengan memperhatikan metode yang digunakan, untuk batas waktu/*deadline* harus diperhatikan dan juga terakhir yaitu penanggung jawab/PIC.

Setelah diketahu akar masalah dominan disimpulkan ada 4 poin, yaitu :

a. Pemenuhan tenaga kerja/*manpower*
b. Pemenuhan material kerja dan *alt support*
c. Proses administrasi
d. Merevisi jadwal item pekerjaan

Dari ke 4 poin akan di*breakdown* lebih detail sebagai berikut:

a. *Why* (mengapa hal tersebut perlu dilakukan): Memenuhi standart kualitas pekerjaan, memenuhi progres pekerjaan, memperlancar waktu pekerjaan, memangkas waktu kerja.
b. *What* (langkah apa yang harus dilakukan): Melakukan rekrutmen *manpower*/tenaga kerja seritifikasi, pengadaan material yang dibutuhkan, mempersingkat waktu pemberian izin lintas, memfasilitasi penggunaan alat kerja.
c. *Where* (di mana dilaksanakan perbaikan): *Site*, *office*
d. *When* (kapan dilaksanakan perbaikan): Telah diproses, telah dalam pemesanan, segera
e. *Who* (siapa penanggung jawab/PIC): Tim *site*, tim HO/tim *office*
f. *How* (bagaimana cara perbaikan): Penjaringan lebih luas, mempercepat proses pengadaan
g. *How much* (berapa biaya perbaikan): Opsional

Hasil dan Pembahasan

Setelah melakukan tahapan PICA, maka diperoleh hasil sebagaimana pada Tabel 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 8 berikut.

Tabel 2 Pelaksanaan Perbaikan

Melakukan rekruitmen *manpower* sertifikasi	Rekrutmen *manpower* fabrikasi dan *erection* baja	Proses administrasi
Pengajuan material dan peralatan	Daftar pengadaan material alat dan material	Proses pengadaan *procrutment*
Pengendalian waktu dengan merubah kegiatan *di time schedule*	Proses revisi atau proses pengajuan	Proses pembuatan revisi kegiatan *time schedule*

Penyusunan dan pengisian lembar variabel serta skala penilaian keterlambatan progres pekerjaan dilakukan dengan mencantumkan daftar permasalahan pada lembar pengamatan. Selanjutnya, ditentukan skala pengukuran untuk menilai dampak atau akibat dari masing-masing permasalahan terhadap keterlambatan pekerjaan. Permasalahan tersebut dikategorikan ke dalam enam aspek utama sebagai berikut:

a. Kategori aspek perencanaan dan penjadwalan di *site*;
b. Kategori aspek dukungan keuangan dan pengambilan kebijakan/keputusan;
c. Kategori aspek peralatan dan material;
d. Kategori aspek alat berat/*support* A2B;
e. Kategori aspek lingkungan dan cuaca;
f. Kategori aspek faktor eksternal.

Dari enam faktor yang disebutkan di atas dapat dilihat di Tabel 3 untuk lebih detailnya.

 ISSN 2987-677x

Tabel 3 Data Variabel/Data Hasil Pengamatan

Kode	Faktor Keterlambatan	Total Nilai
A	**Keterlambatan disebabkan di*site***	
A.1	Kurangnya sumber daya manusia/SDM	75
A.2	Kesalahan metode kerja	20
A.3	Komunikasi/koordinasi kurang efektif	24
A.4	Monitoring tidak dilakukan maksimal	32
A.5	Staf *resign* tanpa pemberitahuan	31
A.6	Produktivitas *manpower* tidak maksimal	32
B	**Keterlambatan disebabkan manajemen**	
B.1	Pendanaan mengalami hambatan	53
B.2	Koordinasi kelapangan kurang	30
C	**Keterlambatan disebabkan material**	
C.1	Persetujuan material tidak tepat waktu	15
C.2	Jumlah material yang dikirim tidak tepat	45
C.3	Prioritas material yang tidak maksimal	54
C.4	Kenaikan harga material	43
D	**Keterlambatan disebabkan alat berat**	
D.1	Kurangnya *support* alat berat	30
E	**Keterlambatan disebabkan cuaca**	
E.1	Curah hujan	40
E.2	Kondisi site yang berlumpur	41
F	**Keterlambatan oleh faktor *eksternal***	
F.1	Izin regulasi administrasi banyak	45
F.2	Pemberhentian pekerjaan	21
F.3	Izin mobilisasi yang cukup lama	48

Tabel 4 Tabel Skala Penilaian/Skala Pengukuran

Skala	Penilaian/Keterangan
1	Tidak berpengaruh terhadap keterlambatan
2	Agak berpengaruh terhadap keterlambatan
3	Cukup berpengaruh terhadap keterlambatan
4	Tidak berpengaruh terhadap keterlambatan
5	Sangat berpengaruh terhadap keterlambatan

Mengidentifikasi Faktor Keterlambatan

Dari 18 faktor keterlambatan dilakukan perhitungan *mean* yang merupakan nilai yang mewakili faktor keterlambatan progres pekerjaan.

$$X = \frac{\text{Total}}{n}$$

Keterangan:

- X = *Mean* suatu sampel
- n = Banyak data variabel
- X1 = Jumlah faktor keterlambatan

Hasil perhitungan urutan nilai keterlambatan tercantum dalam Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Urutan Penilaian Faktor Keterlambatan

Kode	Faktor Terlambat	Total (X1)	Mean (X)	Hasil
A	*ONSITE*			
A.1	**SDM**	**75**	**4.17**	**1**
A.2	Metode kerja	20	1.11	17
A.3	Koordinasi	24	1.33	15
A.4	*Monitoring*	32	1.78	10
A.5	*Staff Resign*	31	1.72	12
A.6	Produk tidak maksimal	32	1.78	11
B	*OFFICE*			
B.1	**Pendanaan**	**53**	**2.94**	**3**
B.2	Koordinasi	30	1.67	13
C	MATERIAL			
C.1	Tidak *ontime*	15	0.83	18
C.2	Tidak tepat	45	2.50	5
C.3	**Tidak maksimal**	**54**	**3.00**	**2**
C.4	Kenaikan harga	43	2.39	7
D	ALAT BERAT			
D.1	Kurang *support*	30	1.67	14
E	CUACA			
E.1	Hujan	40	2.22	9
E.2	*Site* berlumpur	41	2.28	8
F	FAKTOR EKSTERNAL			
F.1	Administrasi	45	2.50	6
F.2	*Stop* pekerjaan	21	1.17	16
F.3	Izin mobilisasi	48	2.67	4

Analisis Faktor Dominan Keterlambatan

Faktor dominan penyebab keterlambatan dilakukan dengan menggunakan perhitungan diagram pareto. Analisis ini mengurutkan data berdasarkan peringkat tertinggi hingga terendah dan mengambil 20% sebagai permasalahan utama. Rumus perhitungan pareto (Gambar 3):

$$\text{Pareto} = \frac{\text{Jumlah Permasalahan (Mean)}}{\text{Jumlah Total Permasalahan}} = 100\ \%$$

Gambar 3 Rumus Pareto

Hasil perhitungan analisis faktor dominan keterlambatan, dapat dilihat Tabel 6.

Tabel 6 Tabel Perhitungan Pareto

Ranking	Kode	*Mean*	Perhitungan Pareto	Kumulatif Pareto
1	A.1	4,17	10,74%	10,74%
2	C.3	3,00	7,74%	18,48%
3	B.1	2,94	7,59%	26,07%
4	E.3	2,67	6,88%	32,95%
5	C.2	2,50	6,45%	39,40%
6	E.1	2,50	6,45%	45,85%
7	C.4	2,39	6,16%	52,01%
8	E.2	2,28	5,87%	57,88%
9	E.1	2,22	5,73%	63,61%
10	A.4	1,78	4,58%	68,19%
11	A.6	1,78	4,58%	72,78%
12	A.5	1,72	4,44%	77,22%
13	B.2	1,67	4,30%	81,52%
14	D.1	1,67	4,30%	85,82%
15	A.3	1,33	3,44%	89,26%
16	F.2	2,22	5,73%	94,99%
17	A.2	1,11	2,87%	97,85%
18	C.1	0,83	2,15%	100,00%
Total	***Mean***	38.78	100%	

Keterangan :

- *Mean* = 75 : 18 = 4.17

 ISSN 2987-677x

- Pareto = 4.17 $\frac{4.17}{38.78}$ x 100% = 10.74%
- Kumulatif = 7.74% + 10.74% = 18.48%

Dari Tabel 5 dan Tabel 6, diketahui ada 3 faktor dominan. Faktor dominan penyebab keterlambatan pada pembangunan infrastruktur terdiri dari:

1. (A.1) Kurangnya sumber daya manusia/SDM 10.74%
2. (C.3) Material yang tidak maksimal 7.74%
3. (B.1) Pendanaan mengalami hambatan 7.59%

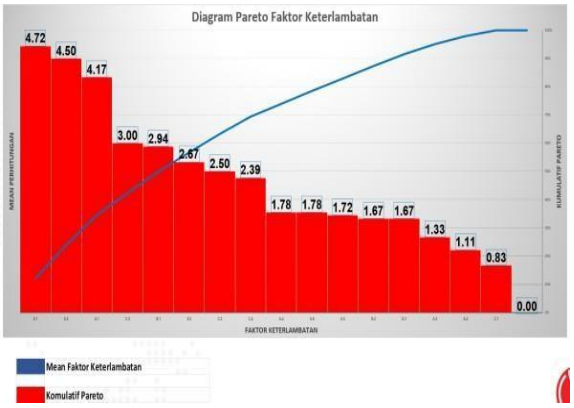
Tabel 7 Data Hasil Penilaian Faktor Keterlambatan

Kode	Faktor Keterlambatan	Total Nilai
A	**Keterlambatan disebabkan di*site***	
A.1	Kurangnya sumber daya manusia	30
A.2	Kesalahan metode kerja	20
A.3	Komunikasi/koordinasi kurang efektif	24
A.4	Monitoring tidak dilakukan maksimal	32
A.5	Staff resign tanpa pemberitahuan	31
A.6	Produktivitas *manpower* tidak maksimal	32
B	**Keterlambatan disebabkan manajemen**	
B.1	Pendanaan mengalami hambatan	15
B.2	Koordinasi kelapangan kurang	30
C	**Keterlambatan disebabkan material**	
C.1	Persetujuan material tidak ontime	15
C.2	Jumlah material yang dikirim tidak tepat	45
C.3	Prioritas material yang tidak maksimal	30
C.4	Kenaikan harga material	43
D	**Keterlambatan disebabkan alat berat**	
D.1	Kurangnya *support* alat berat	30
E	**Keterlambatan disebabkan cuaca**	
E.1	Curah hujan	40
E.2	Kondisi *site* yang berlumpur	41
F	**Keterlambatan oleh faktor eksternal**	
F.1	Izin regulasi administrasi banyak	45
F.2	Pemberhentian pekerjaan	21
F.3	Izin mobilisasi yang cukup lama	48

Tabel 8 Data Perhitungan Pareto Setelah Perbaikan

Ranking	Kode	*Mean*	Perhitungan Pareto	Kumulatif Pareto
1	A.1	1,67	5,08%	5,08%
2	C.3	1,67	5,08%	10,15%
3	B.1	0,83	2,54%	12,69%
4	E.3	2,67	8,12%	20,81%
5	C.2	2,50	7,61%	28,43%
6	E.1	2,50	7,61%	36,04%
7	C.4	2,39	7,28%	43,32%
8	E.2	2,28	6,94%	50,25%
9	E.1	2,22	6,77%	57,02%
10	A.4	1,78	5,41%	62,44%
11	A.6	1,78	5,41%	67,85%
12	A.5	1,72	5,25%	73,10%
13	B.2	1,67	5,08%	78,17%
14	D.1	1,67	5,08%	83,25%
15	A.3	1,33	4,06%	87,31%
16	F.2	2,22	6,77%	94,08%
17	A.2	1,11	3,38%	97,46%
18	C.1	0,83	2,54%	100,00%
Total	***Mean***	32.83	100%	

Setelah dianalisis menggunakan kumulatif pareto (Tabel 8 dan Gambar 5), maka didapat bahwa 20% permasalahan penyebab keterlambatan ada 3 faktor dominan, yaitu kurangnya sumber daya manusia, prioritas material yang tidak maksimal, dan pendanaan proyek mengalami hambatan.

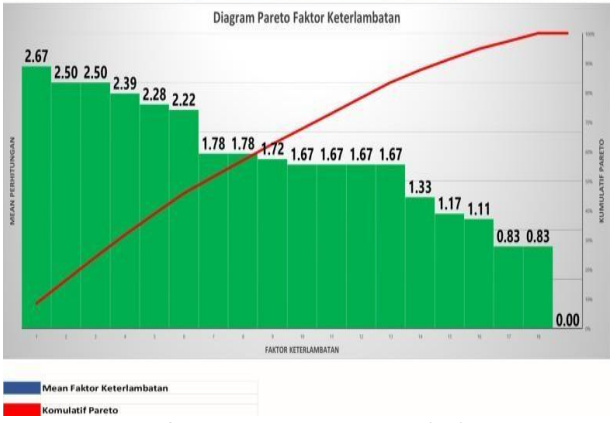


Gambar 5 Diagram Pareto Penyebab Faktor Keterlambatan

Berdasarkan grafik pareto (Gambar 5) di atas, ada beberapa cara untuk mengurangi keterlambatan progres pekerjaan dengan perbaikan (Gambar 6) dengan:

1. Penambahan *manpower* disesuaikan dengan penambahan item pekerjaan, nilainya 10.74%.
2. Merencanakan *stock* material yang disesuaikan dengan *time schedule* material, nilainya 7.74%.
3. Merencanaan pendanaan proyek disesuaikan dengan *schedule* pelaksanaan pekerja, nilainya 7.59%.

SESUDAH PERBAIKKAN



Gambar 6 Diagram Pareto Perbaikan

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa dapat diketahui 20% permasalahan penyebab keterlambatan ada 3 faktor dominan. Faktor dominan penyebab keterlambatan pada pembangunan infrastruktur terdiri dari:

1. Kurangnya sumber daya manusia dan SDM yang bersertifikasi sesuai dengan kebutuhan/pekerjaan;
2. Prioritas material yang tidak maksimal baik kurangnya koordinasi tim di *office* dengan tim di*site*;
3. Pendanaan proyek mengalami hambatan dari tim *finance*/manajemen.

Sudah diketahui seberapa besar keterlambatan progres pekerjaan yang dihadapi, dan telah dipilih strategi yang diperlukan untuk menyelesaikan keterlambatan progress yang ada. Adapun beberapa strategi untuk mengurangi

 ISSN 2987-677x

keterlambatan progress pekerjaan adalah sebagai berikut:

1. Penambahan tenaga kerja sampai lolos ditahap MCU dan pelatihan training untuk *minepermit* disesuaikan dengan penambahan item pekerjaan;
2. Melakukan *training*/sertifikasi kepada *manpower*/tenaga ahli yang sesuai dengan tingkat resiko/pekerjaannya untuk mewujudkan *zero accident*;
3. Merencanakan stok material yang disesuaikan dengan *schedule* material agar ketersediaan material terpenuhi di lapangan dan tidak terulang kasus yang sama;
4. Merencanakan pendanaan disesuaikan dengan *time schedule* pelaksanaan pekerja sehingga tidak terhambat progres pekerjaan tidak di*site*.

Ucapan Terima Kasih

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yesus, atas segala hikmat, karunia, dan pengertian yang memberikan kesempatan bagi penulis untuk menyelesaikan artikel ini. Penulis menyadari bahwa tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, maka penyusunan artikel ini tidak bisa berjalan dengan baik.

Maka, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ivan Gunawan., S.T., M.MT., IPM., ASEAN Eng. selaku Dekan PSPI UKWMS.
2. Ibunda tercinta, Roslina Panggabean, dan *patner* hidup, Ellysabet Silvia Tambunan, yang selalu mendukung, baik moril dan moral penulis dalam mengejar impian dan semangat dalam menyelesaikan pendidikan perkuliahan profesi insinyur di UKWMS.

Referensi

Adil Sulthoni, & Firmansyah, D. (2022). Klasifikasi lokasi usaha pertambangan batubara di Indonesia berdasarkan risiko bencana alam. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, *2*(2), 83–90. https://doi.org/10.29313/jrtp.v2i2.1139.

Brodny, J., & Tutak, M. (2022). Tantangan industri pertambangan batu bara Polandia dalam perjalanan menuju pembangunan yang inovatif dan berkelanjutan. *Journal of Cleaner Production, 375*, 134061. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134061.

Destemi Elsi, S. (2023). *Politik kebijakan publik di sektor pertambangan*. Publica Indonesia Utama. https://doi.org/10.55216/publica.142.

Kurnia Sari, C. F., & Supardi. (2022). Pareto diagrams study of gross regional domestic product exposure in certain sectors in a region. *Jurnal Umum Teknik Terapan, 9*(2). http://dx.doi.org/10.55377/jurutera.v9i02.6643.

Nurhidayat, T., Syawaludin, E., Arifin, M., & Oktariansyah, I. (2019). Analisis probabilitas kestabilan lereng tambang timah primer Blok Pemali, Bangka, Indonesia. *Prosiding Temu Profesi Tahunan PERHAPI, 1*(1), 463–474. https://doi.org/10.36986/ptptp.v1i1.89.

Republik Indonesia. (2009). *Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.

Republik Indonesia. (2010). *Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara*.

Rusdiana, R., & Rianti, L. (2020). Kajian teknis aktivitas dewatering di area penambangan IUP PT Duta Alam Sumatera periode bulan Maret tahun 2020. *Jurnal Teknik PatraAkademika, 11*(1), 64–74. https://doi.org/10.52506/jtpa.v11i01.107.

Sanaky, M. M. (2021). Analisis faktor-faktor keterlambatan pada proyek pembangunan gedung asrama MAN 1 Tulehu Maluku Tengah. *Jurnal Simetrik (Sipil, Mesin, Listrik)*, *11*(1). https://doi.org/10.31959/js.v11i1.615.

Sutri, D. E. (2023). *Politik kebijakan publik di sektor pertambangan*. Publica Indonesia Utama. https://doi.org/10.55216/publica.142.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2020 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara.

Wardani, H. K., Nursanto, E., & Amri, N. A. (2022). Penerapan sistem manajemen keselamatan pertambangan (SMKP) di perusahaan pertambangan guna meningkatkan kinerja keselamatan operasi dan kesehatan dan keselamatan kerja. *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia, 7*(4). https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v7i4.6678.

ISSN 2987-677x

Analisis Keselamatan, Kesehatan Kerja, dan Lingkungan Hidup Unit *Washing Plant Machine* Proses Bisnis Pencucian Bauxite PT Hasta Panca Mandiri Utama *Jobsite* KDA

Andre Yoris Ginting[1,2], Rasional Sitepu[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
[2] PT Hasta Panca Mandiri Utama Jobsite KDA

✉ yorisandre@gmail.com

Washing plant **adalah unit mesin pencucian yang merupakan tahapan untuk membersihkan material bauksit dari material pengotor. Tujuannya agar dapat meningkatkan *grade*/kualitas dari bauksit. Untuk itu, perlu adanya analisis manajemen terhadap keselamatan kesehatan kerja (K3) dan lingkungan hidup di area perusahan PT Hasta Panca Mandiri Utama sudah menerapkan manajemen keselamatan, kesehatan kerja, dan lingkungan hidup dengan metode *Job Safety Analysis* (JSA). Namun, penelitian kali ini menggunakan metode *Hazard Identification Risk Assessment and Control* (HIRAC). Tujuan penulis menggunakan metode HIRAC untuk membandingkan dan mengevaluasi standar operasional prosedur (SOP) sistem manajemen keselamatan, kesehatan kerja, dan lingkungan hidup (KPLH). *Hazard Identification Risk Assessment and Control* (HIRAC) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi bahaya, penilaian risiko, serta pengendalian risiko. Adapun hasil yang didapatkan berdasarkan kategori risiko, yaitu *substansial* (60%), *priority* 3 (20%), dan *acceptable* (20%). Untuk rekomendasi pengendalian risiko dapat dilakukan dengan cara eliminasi, subtitusi, administratif, pengendalian teknis, dan alat pelindung diri (APD). Dengan melakukan evaluasi dan upaya mengimplementasikan sistem manajemen keselamatan kerja akan memberikan dampak yang baik terhadap jaminan keselamatan mekanik dan juga *sustainable* bisnis yang positif bagi perusahaan.**

Kata kunci: *sustainability*, HIRAC, JSA, K3, tingkat risiko, pengendalian risiko, bisnis bauksit

Pendahuluan

Kegiatan seputar upaya dalam pelaksanaan keselamatan, kesehatan kerja, dan lingkungan hidup (K3LH) pada industri pertambangan memiliki kewajiban untuk mengimplementasikan kegiatan ini agar dapat meminimalisir terjadinya insiden baik *injury* maupun *fatality* dan terhindar dari risiko bahaya bagi setiap pelaku kegiatan pertambangan yang berdampak pada kegiatan produksi. Berbagai upaya harus dilakukan untuk mengurangi kemungkinan dan resiko bahaya dalam bekerja untuk membangun tempat kerja yang terlindungi dan menyenangkan. Dalam bisnis proses pertambangan bauksit salah satu hal utama yang cukup penting dalam kelancaran produksi adalah adanya unit pencucian yang berfungsi sebagai alat utama pencucian *Crude Bauxite* (CBx) atau bauksit kotor supaya menjadi *Washed Bauxite* (WBx) atau bauksit bersih yang sudah tercuci. Kegiatan ini merupakan salah satu kegiatan yang di anggap mempunyai risiko untuk terjadinya kecelakaan, karena dari proses kegiatan para pekerja langsung berinteraksi dengan alat-alat berat maupun mesin produksi yang dapat meningkatkan terjadinya risiko pada pekerja.

PT Hasta Panca Mandiri Utama merupakan perusahaan kontraktor yang bergerak di bidang jasa pertambangan mineral, baik nickel dan bauksit, salah satunya adalah di Jobsite KDA di Desa Karya Baru, Kecamatan Marau, Kabupaten Ketapang, Provinsi Kalimantan Barat. Sebagai perusahaan jasa kontraktor pertambangan, PT Hasta Panca Mandiri Utama tentu memiliki sistem manajemen keselamatan, kesehatan kerja, dan lingkungan hidup yang sering disebut dengan Panca Nirbhaya. Perusahaan ini sendiri mulai beroperasi sejak tahun 2009, dimana PT Hasta Panca Mandiri Utama sendiri sudah menerapkan sistem manajemen keselamatan pertambangan (KPLH) dengan baik dan konsisten menggunakan diantaranya JSA *(Job Safety Analisis)*, Instruksi Kerja (INK), Prosedur Tugas Berisiko Tinggi (PPT), Inspeksi Umum Terencana (IUT), dan Observasi Tugas Terencana (OTT).

Manajemen perusahaan disarankan untuk meninjau kembali *job safety analysis* dengan meninjau langsung lokasi, alat kerja, dan cara kerja serta melaksanakan pengendalian bahaya yang belum ada yaitu pengukuran kebisingan dan getaran tanah serta meningkatkan pelatihan dalam memakai alat pelindung diri. Identifikasi bahaya, penilaian risiko, dan pengendalian risiko pada proses blasting di PT Cibaliung Sumber Daya (Hazyiyah, 2014). JSA *(Job Safety Analysis)* adalah teknik manajemen keselamatan yang berfokus pada identifikasi bahaya dan pengendalian bahaya yang berhubungan dengan rangkaian pekerjaan atau tugas yang hendak dilakukan. JSA ini berfokus pada hubungan antara pekerja, tugas/pekerjaan, peralatan, dan lingkungan kerja. JSA melibatkan beberapa hal penting, yaitu langkah-langkah pekerjaan yang diidentifikasi secara spesifik, bahaya atau ancaman yang terdapat pada setiap langkah pekerjaan, dan pengendalian prosedur aman guna mengurangi maupun menghilangkan bahaya dan ancaman dalam tiap-tiap langkah pekerjaan. Identifikasi bahaya kesehatan dan

 ISSN 2987-677x

keselamatan kerja (K3) terhadap kegiatan *maintenance* menggunakan metode JSA (Doddy, 2023). Saya sebagai penulis berusaha untuk mengkaji manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja yang diterapkan PT Hasta Panca Mandiri Utama dengan menggunakan metode HIRAC *(Hazard Identification Risk Assessment and Control)* khususnya di area unit *washing plant*, sebagai perbandingan dalam mengkaji dan mengindentifikasi suatu risiko kecelakaan kerja yang mungkin dapat terjadi.

Gambar 1. Proses Operasional Area WP

HIRAC *(Hazard Identification Risk Assessment and Control)* merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam mengidentifikasi bahaya, penilaian risiko, serta pengendalian risiko. Tahapan dalam melakukan identifikasi potensi bahaya dan pengendalian risiko dengan metode HIRAC dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu identifikasi bahaya yang berpotensi akan muncul dari sebuah perkerjaan yang dilakukan, setelah mengetahui apa bahaya yang mungkin terjadi dari suatu pekerjaan maka di lakukanlah penilaian risiko yang akan diterima, yaitu dengan *likelihood, severity, dan exposure*, kemudian setelah mendapatkan nilai dari penilaian risiko maka dilakukan pengendalian risiko untuk menekan angka kemungkinan risiko terjadi dan menentukan risiko yang akan terjadi dapat di terima atau tidak.

Metode

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu kualitatif dengan tujuan untuk mengetahui serta menganalisis keselamatan pekerja dan potensi bahaya yangada. Metode HIRARC *(Hazard Identification Risk Assesment and Risk Control)* diawali dengan mengidentifikasi bahaya, kemudian menilai risiko untuk menentukan tingkat atau kriteria risiko, kemudian melakukan upaya penerapan pengendalian risiko yang sesuai untuk mendapatkan keseimbangan. Penerapan K3 Menggunakan HIRARC *(Hazard Identification Risk Assessment and Risk Control*) pada perusahaan Konstruksi di Cilegon (Lucky, 2024).

Tahapan Penelitian

a. Pengambilan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mengumpulkan infomasi terkait penelitian yang akan dilakukan. Data yang dikumpulkan terdiri dari 2 jenis data, yaitu data primer dan data sekunder.

Data Primer

Pengumpulan data primer dilakukan dengan dua cara yaitu, wawancara dan observasi/pengamatan langsung di lapangan, wawancara dilakuan kepada pekerja di bagian *washing plant* dengan jabatan sebagai berikut foreman produksi, operator *dump truck*, dan karyawan *washing plant*. Hasil observasi dan wawancara pada kegiatan *washing plant* yang berkaitan dengan alat yang ada pada kegiatan tersebut, sebagai berikut:

1. *Hopper*
   Pada alat hopper terdapat aktivitas yang dilakukan saat jam kerja berlangsung diantaranya:
   - Dumping material ore ke *hopper*.
   - Penyemprotan atau penyiraman ore.
   - Pengambilan *oversize* ore atau *boulder*.
2. *Trommel Baby*
   Aktivitas pada alat *trommel baby* pada saat jam kerja berlangsung di antaranya:
   - Menghidupkan dan mematikan *trommel baby* pada panel listrik.
   - Mengawasi aktivitas pencucian di *trommel baby*.
   - Membersihkan ore ke dalam *trommel baby.*
3. *Trommel Pimer/Screen*
   Pada alat trommel primer terdapat aktivitas antara lain:
   - Menghidupkan atau mematikan sumber energi *trommel screen* yaitu panel listrik dan *engine* WP.
   - Mengawasi aktivitas pencucian di *trommel primer*.

Gambar 2 Unit *Washing Plant Machine*

Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari sumber lain atau merupakan data yang tidak diambil secara langsung oleh peneliti. Data sekunder dari penelitian ini yaitu diperoleh dari PT Hasta Panca Mandiri Utama yang terdiri dari dokumen Standar Operasional Prosedur (SOP) Panca Nirbhaya dan juga JSA yang berlaku di area unit *Washing Plant*.

b. Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan dengan menggunakan metode observasi dan wawancara sebagai data kombinasi agar data yang didapatkan semakin baik dan akurat.

 ISSN 2987-677x

c. Analisis Data

1. Penilaian Risiko

Risk asesessement atau penilaian risiko adalah upaya untuk mencegah kecelakaan kerja dan metode yang digunakan untuk *risk asesessement* dalam penelitian ini adalah *Job Safety Analysis* (JSA) dan *Standard Operation Procedure* (SOP) sebagai tindak lanjutnya. Analisa Pengaruh *risk assesment* (penilaian risiko) terhadap kecelakaan tambang pada kegiatan penambangan batubara (Isnaeni, 2017). Langkah pertama yang harus dilakukan dalam penilaian risiko kerja yaitu melakukan pengamatan potensi apa saja yang dapat menimbulkan bahaya dan risiko kerja di lapangan. Penilaian risiko ini juga sangat penting dalam aspek tahap anaslisis data sehingga harus benar-benar dinilai dengan perspektif penilaian risiko dalam metode HIRAC. Terdapat 3 aspek yang digunakan dalam penilaian tingkat risiko kerja yaitu *severity* (tingkat keparahan), *exporsure* (tingkat paparan), dan *likelihood* (kemungkinan).

- *Severity* (Tingkat Keparahan)
  Adalah nilai tingkat keparahan yang dijadikan tolak ukur dari suatu tingkat potensi keparahan yang dapat ditimbulkan dari kecelakaan kerja.

Tabel 1 *Severity* (Keparahan) (AS/NZS 4360, 1999 dalam W.G.E. Triswandana, N.K.Armaeni, 2020)

Kategori	*Severity* (Keparahan) Deskripsi	Nilai
Catastrophe	Kerusakan yang fatal dan sangat parah, terhentinya aktivitas, dan terjadi kerusakan lingkungan yang sangat parah	100
Disaster	Kejadian yang berhubungan dengan kematian, serta kerusakan permanen yang kecil terhadap lingkungan	50
Very Serious	Cacat atau penyakit yang permanen dan kerusakan sementara terhadap lingkungan	25
Serious	Cidera yang serius tapi bukan penyakit parah yang permanen dan sedikit berakibat buruk bagi lingkungan	15
Important	Cidera yang membutuhkan penanganan medis, terjadi emisi buangan, di luar lokasi tetapi tidak menimbulkan kerusakan	5
Noticeable	Cidera atau penyakit ringan, memar bagian tubuh, kerusakan kecil, kerusakan ringan dan terhentinya proses kerja sementara waktu tetapi tidak menyebabkan pencemaran diluar lokasi	1

- *Exporsure* (Paparan)
  Adalah nilai frekuensi interaksi yang dapat menggambarkan kemungkinan apa saja yang dapat menimbulkan kecelakaan kerja. Interaksi yang dimaksud adalah interaksi yang ada pada cakupan wilayah kerja antara pekerja dan sumber risiko, sehingga dapat memprediksi efek yang akan ditimbulkan

Tabel 2 *Exporsure* (Paparan) (AS/NZS 4360, 1999 dalam W.G.E. Triswandana, N.K. Armaeni, 2020)

Kategori	*Exporsure* (Paparan) Deskripsi	Nilai
Continously	Terjadi secara terus-menerus setiap hari	10
Frequency	Terjadi sekali setiap hari	6
Occasionally	Terjadi sekali minggu sampai dengan sekali sebulan	3
Infrequent	Kejadian yang sangat kecil kemungkinanya untuk terjadi	2
Rare	Pernah terjadi tetapi jarang, diketahui kapan terjadinya	1
Very Rare	Sangat jarang, tidak diketahui kapan terjadinya	0,5

- *Likelihood* (Kemungkinan)
  Merupakan suatu nilai kemungkinan bahaya dan risiko apa saja yang akan diterima dari suatu kecelakaan kerja.

Tabel 3 *Likelihood* (Kemungkinan) (AS/NZS 4360, 1999 dalam W.G.E. Triswandana, N.K.Armaeni, 2020)

Kategori	*Likelihood* (Paparan) Deskripsi	Nilai
Almost Certain	Kejadian yang paling sering terjadi	10
Likely	Kemungkinan terjadi 0-50%	6
Unusually	Mungkin saja terjadi tetapi jarang	3
Remotely Possible	Kejadian yang sangat kecil kemungkinanya untuk terjadi	1
Conceivabel	Mungkin saja terjadi, tetapi tidak pernah terjadi meskipun dengan paparan yang bertahun-tahun	1
Practically Impossible	Tidak mungkin terjadi atau sangat tidak mungkin terjadi	0,5

Setelah mendapatkan nilai dari ketiga aspek, yaitu nlai aspek *severity* (keparahan), *exporsure* (paparan), dan *likelihood* (kemungkinan) dapat ditentukan nilai risiko yang akan di timbulkan dari kecelakaan kerja. Cara menghitung nilai tersebut ditentukan dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

Nilai Risiko = *Likelihood* × *Exporsure* × *Severity*

Tabel 4. Penilaian Tingkat Risiko Metode Analisis Semi Kuantitatif (AS/NZS 4360, 1999 dalam W.G.E. Triswandana, N.K. Armaeni, 2020)

Penilaian Risiko *(Risk Assessment)*		
Tingkat Risiko	Kategori	Tindakan
> 350	*Very high*	Aktivitas dihentikan sampai risiko bisa dikurangi hingga mencapai batas yang diperbolehkan atau diterima
180 - 350	*Priority 1*	Perlu pengendalian sesegera mungkin
70 - 180	*Substansial*	Mengharuskan adanya perbaikan secara teknis
20 - 70	*Priority 3*	Perlu diawasi dan diperhatikan secara berkesinambun
< 20	*Acceptable*	Intensitas yang menimbulkan risiko dikurangi seminimal mungkin

 ISSN 2987-677x

2. Pengendalian Risiko

Pengendalian risiko merupakan suatu tindakan yang dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat bahaya dan risiko yang dapat ditimbulkan dari kecelakaan kerja. Tujuan dari identifikasi tersebut merupakan untuk meminimalisir kerugian yang dapat ditimbulkan, kerugian tersebut dapat berupa kerugian moril maupun materil. Berdasarkan hal tersebut peneliti melakukan identifikasi bahaya dan risiko dengan standar yang berlaku sesuai dengan metode yang digunakan yang kemudian merekomendasikan hasil identifikasi tersebut.

Gambar 3 Situasi Pekerjaan Mekanik di Area WP

Hasil Kerja

Berdasarkan penelitian kali ini, dilakukan dengan cara observasi dan wawancara sebagai kombinasi agar data yang didapat lebih akurat. Observasi dilakukan dengan mengamati setiap aktivitas mekanik yang bekerja di area *washing plant*, sedangkan untuk wawancara dilakukan kepada pengawas yang bertanggung jawab dan berkompeten terhadap kegiatan di area *washing plant* tersebut.

Tabel 5 Identifikasi Potensi Bahaya dan Risiko pada Kegiatan *Washing Plant* (Hasil Analisis)

No	Komponen	Aktivitas Yang Diamati	Potensi	Risiko
1	*Hopper*	Proses dumping material ore ke hopper	Area loading licin Jarak penyemprotan ore di hopper terlalu dekat dengan pekerja	Dump truck tergelincir Mata terkena percikan material
2	*Trommel Primer*	Menghidupkan dan mematikan trommel primer pada panel listrik dan engine	Kabel terlepas/tersetrum arus pendek, dan terpapar panas engine	Kesetrum Terpapar panas
3	*Trommel Baby*	Membersihkan bolder material yang tersangkut	Terjatuh, Tersangkut material	Cidera dan terjatuh
4	*Engine*	Proses menghidupkan dan mematikan engine	Area panas, tersembur oli/fuel	Terpapar panas, Terjatuh
5	*Belt Conveyor*	Monitor material tersangkut	Licin, area berada di ketinggian	Terjatuh, Tergelincir

Pembahasan

Berdasarkan hasil identifikasi bahaya dan risiko, selanjutnya melakukan penilaian tingkat risiko pada setiap aktivitas di *washing plant*, pengambilan data yang dilakukan dengan metode observasi dan wawancara yang dimana dari kedua cara pengambilan data ini untuk kombinasi agar mendapatkan hasil yang baik dengan menggunakan analisis semi kuantitatif yang berdasarkan *risk management*: AS/NZS 4360:2004. Australian / New Zealand Risk Management Standard (AS/NZS 4360:2004) adalah metode mengidentifikasi risiko, melakukan penilaian, dan merekomendasikan upaya pengendalian risiko. Analisis manajemen risiko dengan Metode AS/NZS 4360:2004 (Estri, K 2022).

Tabel 6 Analisis Nilai Risiko Pada Kegiatan *Washing Plant* (Hasil Analisis)

No	Risiko	Komponen Penilaian			Total Nilai
		Kemungkinan	Paparan	Keparahan	
1	Dump truck tergelincir	3	1	50	150
2	Mata terkena percikan material	3	6	1	18
3	Mekanik Terjatuh akibat licin	3	1	25	75
4	Tersetrum	1	0.5	50	25
5	Terpapar panas	10	10	1	100

Tabel 7 Penilaian Tingkat Risiko Analisis Semi Kuantitatif pada Aktivitas *Washing Plant* (Hasil Analisis)

No	Risiko	Nilai Risiko	Tingkat Risiko	Kategori	Tindakan
1	Dump truck tergelincir	150	70 - 180	*Substansial*	Mengharuskan adanya perbaikan secara teknis
2	Mata terkena percikan material	18	< 20	*Acceptable*	Intensitas yang menimbulkan risiko dikurangi seminimal mungkin
3	Mekanik Terjatuh akibat licin	75	70 - 180	*Substansial*	Mengharuskan adanya perbaikan secara teknis
4	Tersetrum	25	20 - 70	*Priority 3*	Perlu diawasi dan diperhatikan secara berkesinambungan
5	Terpapar panas	100	70 - 180	*Substansial*	Mengharuskan adanya perbaikan secara teknis

Tabel 8 Persentase Tingkat Risiko pada Aktivitas Alat di *Washing Plant* (Hasil Analisis)

No	Tingkat Risiko	Jumlah	Persentase
1	*Very High*	*0*	*0%*
2	*Priority 1*	*0*	*0%*
3	*Substansial*	*3*	*60%*
4	*Priority 3*	*1*	*20%*
5	*Acceptable*	*1*	*20%*
	Total	5	100%

Persentase = n/N x 100%

Keterangan:
N = Jumlah keseluruhan risiko

 ISSN 2987-677x

Gambar 4. Diagram Penilaian Tingkat Risiko terkait Aktivitas Mekanik di Area *Washing Plant* (Hasil Analisis)

Upaya Pengendalian Risiko

Rekomendasi upaya pengendalian dilakukan untuk meminimalisir setiap kecelakaan yang terjadi oleh bahaya yang ditimbulkan. Dimana perusahaan telah melakukan upaya pengendalian risiko untuk mencegah serta menghindari bahaya dan risiko yang ada namun hal ini masih saja terjadi karena disebabkan oleh dua faktor yaitu faktor manusia dan faktor alam. Berdasarkan standar OHSAS 18001:2007 hirarki pengendalian risiko terdiri dari eliminasi, subtitusi, pengendalian teknis, administratif, dan APD.

Tabel 9. Rekomendasi Upaya Pengendalian Risiko di *Washing Plant* (Hasil Analisis)

No	Potensi	Risiko	Jenis Pengendalian	Rekomendasi Pengendalian
1	Area *loading* material licin	*Dump truck* tergelincir	Administratif	Melakukan maintenence terhadap area loading yang berpotensi menyebabkan dump truck tergelincir
2	Jarak penyemprotan *ore* di *hopper* terlalu dekat dengan mekanik yang bekerja	Mata terkena percikan materia	APD	Penggunaan APD lengkap seperti, *helm safety* , kacamata, masker, rompi, baju lengan panjang dan sepatu *safety*
3	Mekanik terjatuh akibat licin	Cidera ringan dan injury	Rekayasa *engineering*	Melakukan pemasangan pegangan tangga dan rambu disetiap area yang licin
4	Tersetrum	Cidera ringan dan berat	Rekayasa *engineering*	Melakukan inspeksi peralatan listrik secara rutin dan terencana Penggunaan APD lengkap,
5	Terpapar panas	Cidera ringan dan injury	APD, Rekayasa *engineering*	Pemasangan rambu Awas Panas, Pemasangan ram/pembatas antara bagian panas dengan area kerja

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan penelitian yang dilakukan didapatkan berdasarkan kategori risiko, yaitu substansial (60%), *priority 3* (20%), dan *acceptable* (20%). Untuk rekomendasi pengendalian risiko dapat dilakukan dengan cara administratif, rekayasa *engineering*, pengendalian teknis, dan alat pelindung diri (APD). Dengan melakukan evaluasi dan upaya dalam mengimplementasikan sistem manajemen keselamatan kerja, tentu akan memberikan dampak yang baik terhadap jaminan keselamatan mekanik dan juga *sustainable* bisnis yang positif bagi perusahaan.

Rekomendasi upaya pengendalian risiko yang dapat dilakukan pada penelitian ini berdasarkan *standard* OHSAS 18001:2007 antara lain adalah:

a. Eliminasi, seperti melakukan *maintenance* atau perawatan di area *washing plant*.
b. Pengendalian Teknis, pisahkan bahaya dari karyawan dengan memasang rambu di daerah berbahaya, pemasangan lampu pada *tower* dan lampu sorot di malam hari.
c. Administratif, seperti memberikan arahan, instruksi, serta informasi dalam melaksanakan pekerjaan.
d. Menggunakan alat pelindung diri (APD), seperti *safety helmet, safety gloves*, dan *ear plug* maupun *ear muff*.

Ucapan Terima kasih

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya dan juga PT Hasta Panca Mandiri Utama yang telah memberikan dukungan pada penulisan artikel ini.

Referensi

Doddy, R., Priyambada, L., & Pandu, P. (2023). Identifikasi bahaya kesehatan dan keselamatan kerja (K3) terhadap kegiatan maintenance menggunakan metode Job Safety Analysis (JSA) di Stasiun Loading Ramp. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM)*, *20*(63). https://jurnal.instiperjogja.ac.id/index.php/JOM/article/view/822/605.

Ghaisani, H., & Nawawinetu, E. D. (2023). Identifikasi bahaya, penilaian risiko dan pengendalian risiko pada proses blasting di PT Cibaliung Sumberdaya, Banten. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health, 3*(1), 107–116.

Isnaeni, K. M. A., Dahlan, Z., & Komar, S. (2017). Analisis pengaruh risk assessment (penilaian risiko) terhadap kecelakaan tambang pada kegiatan penambangan batubara. *Jurnal Teknik Patra Akademika, 8*(2), 19–25.

Kartika, E., Endang, P. R., & Kamali, Z. (2022). Analisis manajemen risiko dengan metode AS/NZS 4360:2004 pada tangki timbun minyak di Riau. *AFIASI*, *2*(1). https://afiasi.unwir.ac.id/index.php/afiasi/article/view/193.

Lucky, S., Irfan, M., & Asep, R. (2024). Penerapan K3 menggunakan HIRARC (Hazard Identification Risk Assessment and Risk Control) pada perusahaan konstruksi di Cilegon. *Jurnal Keselamatan dan Kesehatan Kerja*, *8*, 269.

ISSN 2987-677x

Analisa Pengaruh Ketinggian Terhadap *Air Cycle Machine* (ACM) dengan ANSYS pada Pesawat Udara CN235-220 MPA

Brian Fitri Wahyudi[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ brianwahyudi92@gmail.com

***Air Cycle Machine* (ACM) merupakan salah satu komponen utama pada *air conditioning system* yang digunakan dalam pesawat udara untuk mengatur suhu udara di dalam kabin dengan menggunakan media udara sebagai *working fluid*, dalam memastikan pesawat terbang berfungsi dengan *safety* dan laik. Standar pemeliharaan pesawat udara dilakukan secara berkala untuk menjaga keselamatan penerbangan, mengoptimalkan kinerja pesawat, dan memperpanjang umur operasional. Tujuan penelitian untuk mengetahui temperatur ACM pesawat CN235- 220 saat ketinggian 10000 ft, 12000 ft dan 15000 ft dengan menggunakan metode *Computional Fluid Dynamics* (CFD). Penghitungan *Cooling Load* ACM berdasarkan *Total Heating Gains* yang berasal dari *cabin lighting, heating of metabolism human, electrical equipment*, dan perambatan panas pada jendela pesawat, hasil perhitungan total *heating gains* didapatkan sebesar 2561,05 W. Semakin tinggi kenaikan pesawat udara mengakibatkan terjadinya penurunan nilai kapasitas udara, temperatur udara luar, dan energi yang dibutuhkan sistem pendingin *Coefficient of Performance* (COP). Berbanding terbalik dengan nilai daya kinerja ACM dan *Compressor Section* ACM untuk mengkonversi energi thermal menjadi energi kinetik. Berdasarkan hasil CFD ketika pesawat CN235-220 pada ketinggian 10000 ft, 12000 ft dan 15000 ft terjadi kenaikan temperatur sebesar 6,2 ^{O}C - 16^{O}C, dengan suhu tertinggi mencapai 87,2^{O}C saat ketinggian 15000 ft dengan nilai COP sebesar 0,4.**

Kata kunci: *conditioning, cooling, computational, performance*

Pendahuluan

Pesawat CN235-220 merupakan pesawat udara angkut ringan bermesin GE CT7-9C turboprop yang di produksi PT Dirgantara Indonesia dan CASA Spanyol. Pesawat CN235-220 dioperasikan sebagai *Maritime Patrol Aircraft* (MPA) yang mampu mencapai ketinggian operasional diatas 10000 ft. *Air Cycle Machine* (ACM) adalah salah satu komponen utama dalam Pesawat CN235-220 yang berfungsi sebagai *air conditioning system*, dimana temperatur sangat diperlukan dalam menjaga tekanan dan suhu kabin pesawat. Cara kerja ACM dengan menggunakan udara luar bertemperatur rendah sebagai penukar panas dianggap lebih efisien dan efektif sebagai ekspansi udara untuk mensupply *air cooling* dan *pressurization system* dalam menjaga suhu dan tekanan kabin pesawat. Berdasarkan AMM Chpater 5 Rev 17 (*time limitation aircraft*) pemeliharaan ACM secara berkala dilaksanakan setiap 200 FH (A-*Check*) dan *time limitation of part* ACM dilaksanakan setiap 6000 FH untuk menjaga kinerja ACM yang sangat mempengaruhi akan terjaminnya keamanan dan kenyamanan selama kondisi operasional penerbangan dengan mempertahankan suhu kabin agar tetap normal sekitar 20°C s.d. 26.5°C pada kelembaban relatif 50% yang berpedoman pada standar Amerika (ANSI/ASHRAE 55-1992).

Metode

Pengaruh *cooling load* dengan menggunnakan simulasi ANSYS *contour temperature* ACM P/N 782790-6 dengan menggunakan *computional fluid dynamics* (CFD) berdasarkan ketinggian pengoperasian pesawat CN235-220. Hasil yang diperoleh untuk mengetahui pengaruh *cooling load* pada kinerja ACM berdasarkan ketinggian operasional pesawat udara 10000 ft, 12000 ft, dan 15000 ft. perhitungan *heating load* di dalam kabin pesawat udara dengan menghitung sumber panas yang dihasilkan dalam kabin terdiri dari panas yang merambat melalui dinding pesawat udara, panas merambat melalui jendela, panas yang berasal dari *metabolism passenger*, dan beban panas yang berasal dari perlengkapan dan alat elektronik. Beban panas pada *air conditioning system* didefiniskan sebagai jumlah panas atau kalor yang harus dikondisikan dan diserap oleh *air conditioning pack*. Selama pengoperasian pesawat, terdapat beberapa sumber panas (*heating source*) di dalam kabin, antara lain:

a. *Heating load* yang dihasilkan *lighting cabin* dalam penggunaan lampu antara lain: *ceiling lighting, lavatory light, red dome light, cabin light*, dan *spot light*.

Tabel 1 *Heating Load Lighting Cabin*

Jenis Lampu	Jumlah	Watt
Ceiling Light	23	6,25
Lavatory Light	1	1
Dome Light	4	2
Spot Light (Mission System Console)	2	1

b. *Heating Load* merambat melalui jendela, lapisan tersebut memiliki spesifikasi ketebalan, dan konduktivitas *thermal* pada kabin pesawat CN235-220.

Tabel 2 *Heating Load* Jendela Kabin

LAPISAN (BAHAN)	TEBAL (m)	KONDUKTIVITAS (W/m.K)
Inner Pane Policarbonate	0,00175	0,195
Inter layer (Air)	0,0142	0,020
Middle Pane (Acrilic)	0,0060	0,16
Outer Pane (Acrilic)	0,0070	0,16

 ISSN 2987-677x

c. *Heating load* transmissi melalui dinding kabin, struktur dinding pesawat CN235-220 MPA memiliki 3 lapisan, fungsi lapisan tersebut adalah sebagai peredam kebisingan di dalam pesawat udara, selain itu juga bertujuan meminimalisir perpindahan panas dari luar kabin ataupun sebaliknya serta memiliki spesifikasi ketebalan dan konduktivitas thermal yang berbeda-beda.

Tabel 3 *Heating Load* Dinding Kabin

Bahan	Tebal (M)	Konduktivitas (W/M.K)
Polycarbonate	0,0082	0,195
Fiber Glass	0,156	0,043
Alumunium	0,0076	204

d. *Heat load* yang dihasilkan aktfitas manusia, Berdasarkan ASHRAE nilai aktifitas manusia memiliki *heating sensibel metabolism human* sebagai berikut:

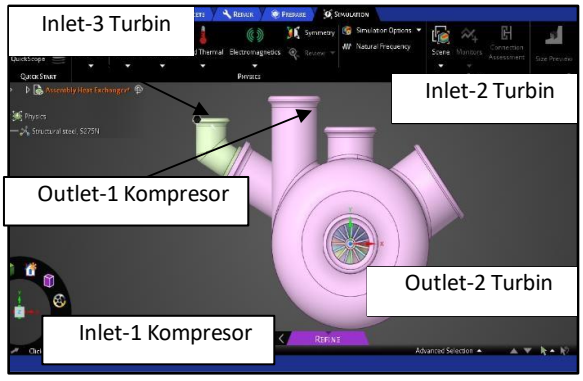
Tabel 4 *Heating Load of Human*

Activity Operation	Sensibel (W)
Seated	60
Light Work	65
Walking	100
Heavy Work	165

Simulasi ACM menggunakan metode *computional fluid dynamics* (CFD) adalah metode perhitungan dengan sebuah control dimensi, luas, dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembaginya, artinya semua objek yang berhubungan desain geometri 3D, analisis dalam perancangan metode CFD diperlukan langkah-langkah sebagai berikut:

a. Pembuatan *geometry* ACM CAD
b. Pembuatan *meshing model*
c. Pemilihan *solver model geometri*
d. Menetukan *material model*
e. Menentukan *boundary conditions*
f. Mengatur *parameter solutions*
g. Menentukan *literation (50,100,150)*
h. Menyimpan *hasil literation*

Pemodelan ACM dengan menggunakan *solidwork* berbasis fitur parametrik, artinya semua objek yang berhubungan desain geometri 3D.

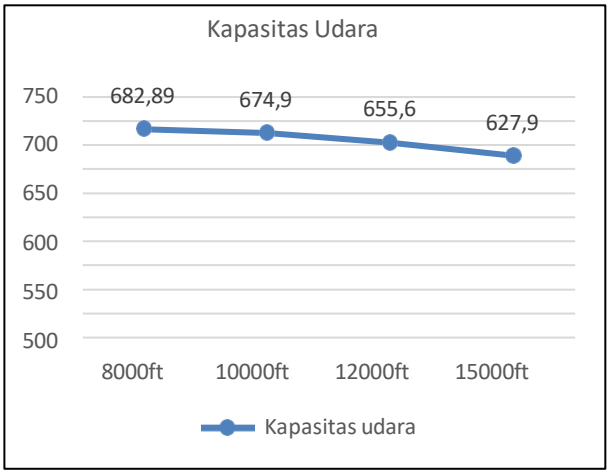


Gambar 1 Pemodelan ACM 3D *Geometry* Menggunakan *Solidwork* 3D

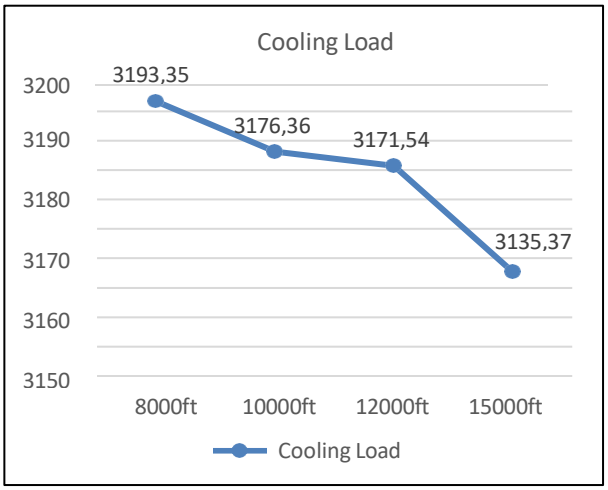
Berdasarkan (Gambar 6) menunjukan *Inlet*-1 kompresor menunjukan udara yang berasal dari *engine* yang melewati *primary heat exchanger* menuju *inlet* kompresor, *oultet*-2 kompresor menunjukan udara yang berasal dari hasil kompresi dari *compressor sections*, *inlet*-2 turbin menunjukan udara yang berasal dari *secondary heat exchanger* menuju *turbine section*, *inlet*-3 menunjukan udara yang berasal dari *recirculation fan* yang berasal dari sirkulasi udara kabin menuju *turbine sections* sebagai proses sirkulasi udara, *outlet*-2 menunjukan udara hasil *output turbine section* menuju *mixer section* dan selanjutnya di distribusikan ke kabin.

Tabel 5 Hasil Perhitungan Cooling Load, COP dan Kapasitas Udara Berdasakan Ketinggian

High (FT)	COOLING LOAD (kJ/h)	KAPASITAS UDARA (m^3/h)	OUTLET TURBINE (K)	COP
8000	3193,35	682,89	281,69	0,82
10000	3176,36	674,9	280,82	0,76
12000	3171,54	655,6	280,40	0,58
15000	3135,37	627,9	279,74	0,4

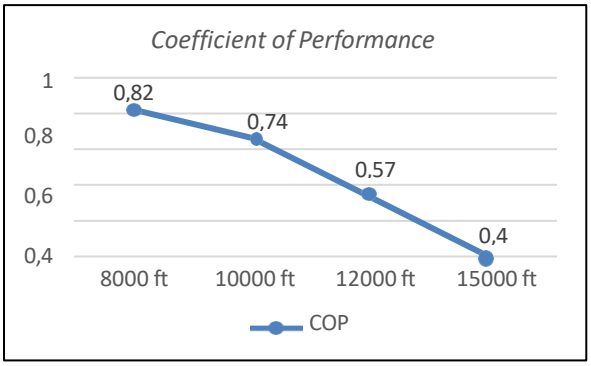


Gambar 2 Grafik Kapasitas Udara dan Temperatur *Outlet Turbine*



Gambar 3 Grafik *Cooling Load* terhadap Ketinggian Pesawat Udara

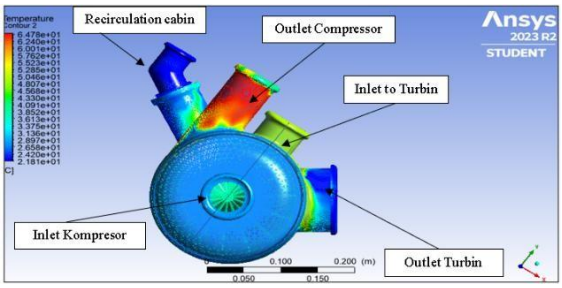
 ISSN 2987-677x



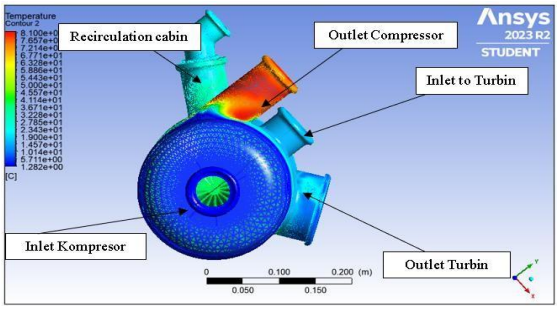
Gambar 4 Grafik COP ACM terhadap Ketinggian Pesawat Udara

Hasil dan Pembahasan

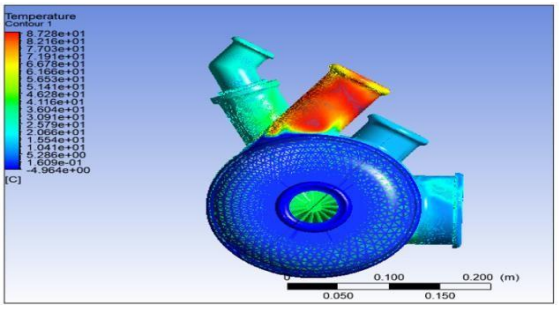
Input *setup models viscous (laminer), heat exchanger, materials, cell zone conditions, boundary conditions.* Pada penelitian ini menggunakan kondisi fluida jenis udara yang digunakan untuk simulasi medan aliran yang terjadi pada *air cycle machine*. *Boundary condition* digunakan pada Tabel 5, yaitu *input* data *inlet heat exchanger* 1 ke kompresor ACM, *input inlet heat exchanger* 2 ke turbin ACM dan *output* kompresor ACM ke *heat exchanger* 2, *output turbin section* dengan simulasi aliran *incompressible* dengan kecepatan konstan.



Gambar 5 Simulasi CFD *Contour Temperature* ACM Saat 10000 ft



Gambar 6 Simulasi CFD *Contour Temperature* ACM Saat 12000 Ft



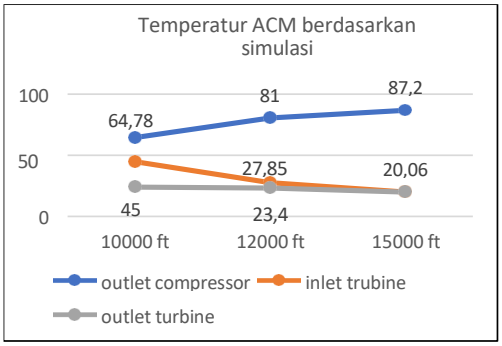
Gambar 7 Simulasi CFD *Contour Temperature* ACM Saat 15000 Ft

Berdasarkan hasil kontur distribusi temperatur ACM pada ketinggian pesawat udara 10000 ft seperti yang terlihat pada (Gambar 5), suhu *outlet compressor* sebesar 64,78^{O}C dan *Inlet* pada turbin sebesar 52,65^{O}C serta suhu *outlet turbine* sebesar nilai 21,8^{O}C. Hasil kontur distribusi temperatur ACM pada ketinggian pesawat udara 12000 ft seperti yang terlihat pada (Gambar 6), suhu *outlet compressor* sebesar 81^{O}C dan *Inlet* pada turbin sebesar 27,8^{O}C serta suhu *outlet turbine* sebesar 23,4^{O}C. Hasil kontur distribusi temperatur ACM pada ketinggian pesawat udara 15000 ft seperti yang terlihat pada (Gambar 7) suhu *outlet compressor* sebesar 87,2^{O}C dan *inlet* pada turbin sebesar 25,7^{O}C serta suhu *outlet turbine* sebesar 20,06^{O}C.

Hasil analisis *cooling load* dan simulasi menggunakan CFD pada ACM warna merah menunjukan terjadi kenaikan temperatur *compressor section* ACM terhadap ketinggian pesawat udara, pada ketinggian 10000ft temperatur *compressor section* ACM dengan nilai sebesar 64,78^{O}C terjadi kenaikan sebesar 16,22^{O}C saat ketinggian pesawat udara 12000ft dengan nilai sebesar 81^{O}C, pada pesawat udara berada di 12000ft terjadi kenaikan sebesar 6,2^{O}C saat pesawat udara menambah ketinggian di 15000 ft dengan nilai temperatur sebesar 87,2^{O}C, hal ini diakibatkan kapasitas udara luar kabin terjadi penurunan dan jumlah kebutuhan kapasitas pengkondisian udara pada kabin terjadi peningkatan dengan kenaikan ketinggian pesawat udara sehingga kinerja *compressor section* akan meningkat agar mempertahankan temperatur kabin sebesar 18 s.d. 24^{O}C.

Nilai *cooling load* merupakan nilai total *heating load* yang diterima oleh ACM berasal dari beban panas pada kabin pesawat udara dan beban yang berasal dari *pressurized system.*

Kenaikan ketinggian pesawat udara terhadap nilai COP, yaitu energi yang dibutuhkan untuk sistem pendinginan dalam mengonversi energi dan *cooling load* merupakan jumlah panas yang harus dihilangkan dari pesawat udara mengalami penurunan, dikarenakan perbedaan suhu antara udara luar dan suhu di dalam kabin sehingga mengurangi jumlah panas yang harus dihilangkan untuk mencapai panas yang diinginkan. Berbanding terbalik dengan daya kinerja ACM yang mengalami peningkatan dikarenakan ketinggian yang lebih tinggi menghasilkan kapasitas udara yang lebih rendah terlihat pada (Gambar 8). Hal ini dapat meningkatkan performa *compressor section* dan *turbine section* pada ACM untuk bekerja yang lebih tinggi dengan nilai *cooling load* yang lebih rendah.



Gambar 15. Grafik Simulasi ANSYS pada Temperatur ACM

 ISSN 2987-677x

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan pada ketinggian 10000 ft, 12000 ft, dan 15000 ft terjadi penurunan nilai *cooling load* dikarenakan setiap kenaikan ketinggian pesawat udara terjadi penurunan kapasitas dan temperatur mengakibatkan terjadinya proses ilfiltrasi dari udara luar sehingga kinerja ACM memerlukan energi yang lebih sedikit untuk menghilangkan panas. hasil simulasi CFD pada ACM pada ketinggian 10000 ft, 12000 ft dan 15000 ft menunjukan temperatur tertinggi pada ACM sebesar 360,9 K pada temperatur *outlet turbin* sebesar 281,17 K saat ketinggian 15000 ft dengan demikian pemeliharaan ACM (*Air Cycle Machine*) sangat penting untuk memastikan kinerja optimal, keandalan, dan keamanan sistem, inspeksi berkala membantu mendeteksi kerusakan dini, seperti keausan *bearing*, keretakan kompresor/turbin, atau degradasi *seal*, yang dapat menyebabkan kegagalan sistem.

Ucapan Terima Kasih

Dalam penyelesaian artikel ini penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Dr. Ir. Ivan Gunawan, S.T., M.MT., CSCM ., IPM., ASEAN Eng. atas bimbingan, arahan, dan waktu yang telah diluangkan kepada penulis untuk berdiskusi guna menyelesaikan tugas artikel ini;
2. Seluruh atasan dan rekan-rekan Pupenerbal TNI AL;
3. Kedua orang tua, istri, anak dan seluruh keluarga yang sudah memberikan dukungan;
4. Seluruh pihak yang telah membantu penulis.

Referensi

Agus Widiyanto. (2011). *Uji performansi sistem refrigerasi kompresi uap pada seed storage* (Skripsi tidak diterbitkan). Universitas Negeri Surabaya.

Akbar Halandri. (2020). *Analisa sistem perkondisian pada kabin udara pesawat Boeing 737-800* (Skripsi tidak diterbitkan). Universitas Nurtanio.

Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2006). *Thermodynamics: An engineering approach* (5th ed.). McGraw-Hill.

Karyono, T. H. (2001). Penelitian kenyamanan termis di Jakarta sebagai acuan suhu nyaman manusia Indonesia. *Dimensi Teknik Arsitektur*.

Moran, M. J. (2003). *Introduction to thermal system engineering: Thermodynamics, fluid mechanics, and heat transfer*. John Wiley and Sons.

PT Dirgantara Indonesia (IAe). (2014). *Aircraft flight manual CN235-220 NAL 3 Rev 01*. Technical Publications.

PT Dirgantara Indonesia (IAe). (2016). *Component maintenance manual air cycle machine P/N 782790*. Technical Publications.

PT Dirgantara Indonesia (IAe). (2018a). *Aircraft maintenance manual CN235-220 Rev 4 ATA Chapter 21*. Technical Publications.

PT Dirgantara Indonesia (IAe). (2018b). *Aircraft operation manual CN235-220 NAL2 ATA Chapter 21*. Technical Publications.

PT Dirgantara Indonesia (IAe). (2018c). *Structure repair manual CN235-220 Chapter 53*. Technical Publications.

PT Dirgantara Indonesia (IAe). (2022a). *Aircraft maintenance manual CN235-220 Chapter 21 Rev 5*. Technical Publications.

PT Dirgantara Indonesia (IAe). (2022b). *Aircraft operation manual CN235-220 NAL3*. Technical Publications.

S.o.H.R.a.A.C. Engineers. (1997). *1997 ASHRAE handbook: Fundamentals*. ASHRAE.

Zaparoli, E. L. (2015). *A thermodynamic study of air cycle machine for aeronautical applications* (Vol. 16).

ISSN 2987-677x

Perancangan dan Implementasi Sistem Informasi Akuntansi Mendukung Profesionalisme Perusahaan Desain dan Konstruksi Interior di Surabaya

Vincentius Rusiel[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ vincentiusrusiel@gmail.com

Penelitian ini membahas perancangan dan implementasi sistem informasi akuntansi berbasis komputerisasi pada perusahaan desain dan konstruksi interior di Surabaya sebagai solusi terhadap pencatatan keuangan manual yang kurang efisien. Sistem dirancang menggunakan pendekatan *System Development Life Cycle (SDLC)* dengan tahapan observasi, analisis sistem lama, perancangan sistem baru, implementasi, dan evaluasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem lama menggunakan *Excel*, rawan kesalahan, tidak *real-time*, dan tidak terintegrasi antar divisi. Sistem baru dikembangkan dengan modul-modul terintegrasi meliputi proyek, penjualan, pembelian, keuangan, laporan, dan kontrol akses, diimplementasikan menggunakan *Visual Studio C#* dan *MySQL*. Setelah penerapan sistem selama tiga bulan, hasil uji coba menunjukkan bahwa durasi pembuatan laporan keuangan berkurang dari dua minggu menjadi dua hari dengan tingkat akurasi transaksi mencapai 99%. Sistem memudahkan pengambilan keputusan berbasis data *real-time*, meningkatkan keamanan data, transparansi, mendukung digitalisasi, profesionalisme, dan *sustainability*.

Kata kunci: sistem informasi akuntansi, desain dan konstruksi interior, *sustainability*, digitalisasi, profesionalisme

Pendahuluan

Akuntansi adalah sistem informasi yang menyediakan laporan keuangan untuk para pemangku kepentingan mengenai aktivitas ekonomi dan kondisi perusahaan (Warren et al., 2015). Akuntansi merupakan aktivitas utama dalam menyajikan data keuangan secara aktual dan teratur. Sistem Informasi akuntansi sebagai gabungan antara teknologi informasi dan proses akuntansi yang dirancang khusus untuk mengumpulkan, mengolah, dan menyajikan informasi keuangan yang bermakna bagi manajemen perusahaan dalam pengambilan keputusan (Beasley et al., 2015). Pada *Sustainable Development Goal (SDG)*, sistem informasi akuntansi membantu perusahaan untuk mencatat penggunaan bahan ramah lingkungan (*SDG* 12 misalnya cat non-toksik, kayu bersertifikasi *FSC*), melaporkan upah minimum dan jaminan sosial pekerja proyek *SDG* 8, dan melacak pengeluaran proyek agar tidak overbudget (*SDG* 9 efisiensi). Menurut Laudon dan Laudon (2018) ada ketergantungan yang semakin besar antara kemampuan perusahaan dalam menggunakan teknologi informasi dan kemampuannya untuk mengimplementasikan strategi perusahaan serta mencapai tujuan perusahaan.

Kontenu, salah satu perusahaan desain dan konstruksi interior di Surabaya, saat ini sedang mengembangkan berbagai aspek operasionalnya, termasuk sistem informasi akuntansi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan tim *business advisory*, ditemukan bahwa tidak ada sistem informasi akuntansi berbasis *online* terintegrasi yang mudah diakses oleh beberapa divisi terkait dari perangkat berbeda dimana saja. Sebelumnya, pencatatan dilakukan manual menggunakan *Excel* tidak efisien, menyebabkan keterlambatan laporan keuangan, kurangnya pengendalian atas proyek, arus kas, akses terbatas, dan pengolahan data tidak efisien. Urgensi terlihat ketika beberapa proyek di tahun 2020 mengalami kerugian akibat tidak ada kendali arus kas proyek dan data pembelian.

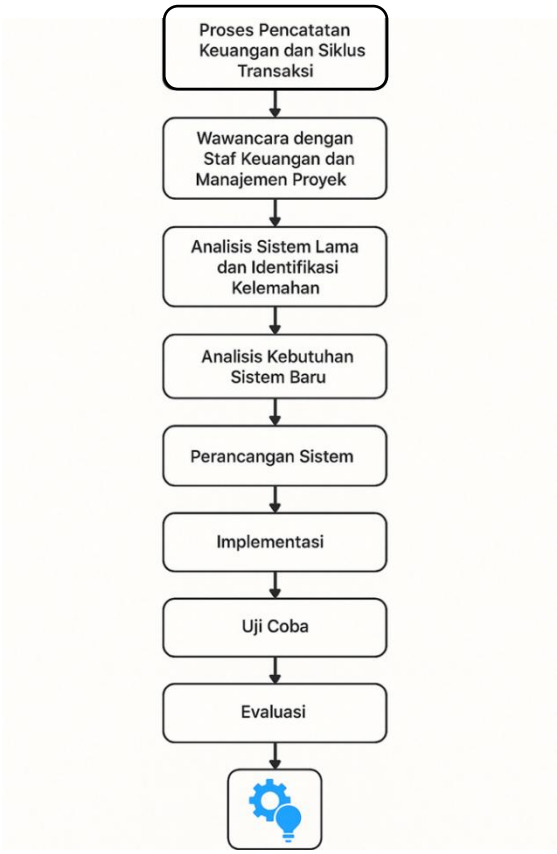
Romney dan Steinbart (2015) menjelaskan bahwa data adalah fakta yang dikumpulkan, dicatat, disimpan, dan diproses oleh sistem informasi. Bisnis perlu mengumpulkan berbagai jenis data, seperti aktivitas yang terjadi, sumber daya yang dipengaruhi oleh aktivitas tersebut, dan orang-orang yang terlibat dalam aktivitas tersebut. Sebagai contoh, bisnis perlu mengumpulkan data tentang penjualan (tanggal, jumlah total), sumber daya yang terjual (barang atau jasa, jumlah yang terjual, harga satuan), dan orang-orang yang terlibat (pelanggan, tenaga penjual). Keunggulan sistem informasi akuntansi adalah memberikan kemudahan akses akuntansi secara *digital* dari perangkat apapun, dimana saja, mengatur batasan akses *username* menggunakan internet, mendukung *sustainability development goal* dengan mengurangi dokumen *hard copy*, struktur kerja lebih efisien, melaporkan upah minimum dan jaminan sosial pekerja proyek, melacak pengeluaran proyek, dan akses data terukur. Sistem informasi akuntansi dirancang dapat menyimpan, mengolah, melaporkan data keuangan secara cepat dan akurat, serta dilengkapi kontrol akses untuk melindungi informasi dari ancaman siber hingga akses yang tidak sah, memudahkan aplikasi integrasi antar divisi *design* atau *build*, dan akses *soft copy* dokumen pendukung perusahaan.

Metode

Perancangan sistem informasi akuntansi menggunakan metode terstruktur *system development life cycle (SDLC)*, dengan pendekatan tahapan yang jelas dan terstruktur, seperti observasi langsung proses pencatatan keuangan dan siklus transaksi, wawancara dengan staf

ISSN 2987-677x

keuangan dan manajemen proyek, analisis sistem lama dilakukan oleh dua orang dan identifikasi kelemahan, analisis kebutuhan sistem baru, perancangan sistem, implementasi, uji coba, dan evaluasi pada Gambar 1. Perangkat lunak pendukung yang digunakan dalam pemrograman adalah *Visual Studio C#* untuk pengembangan aplikasi dan *MySQL* sebagai basis data.



Gambar 1 SIA *Design Flowchart*

Hasil Kerja

Sistem informasi akuntansi dirancang dapat menyimpan, mengolah, melaporkan data keuangan secara cepat dan akurat, serta dilengkapi kontrol akses untuk melindungi informasi dari ancaman siber hingga akses yang tidak sah, memudahkan aplikasi integrasi antar divisi, dan akses *soft copy* dokumen pendukung akuntansi perusahaan.

Analisis Sistem Lama

Tabel 1 merupakan hasil analisis sistem lama pencatatan dilakukan manual menggunakan *Excel*.

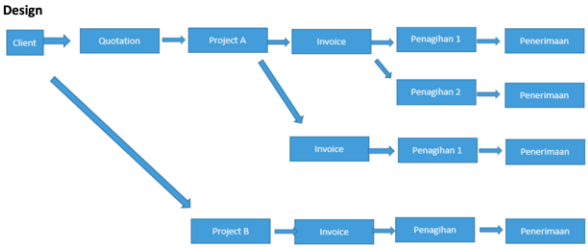
Tabel 1. Hasil Analisis Sistem Lama

Aspek	Keterangan
Pencatatan Penjualan	Manual, rawan duplikasi dan kesalahan input
Pelacakan Proyek	Tidak terintegrasi dengan data keuangan
Laporan Keuangan	Dibuat manual, lambat dan tidak *real-time*
Kontrol Akses	Dapat diakses oleh siapapun

Analisis Sistem Baru

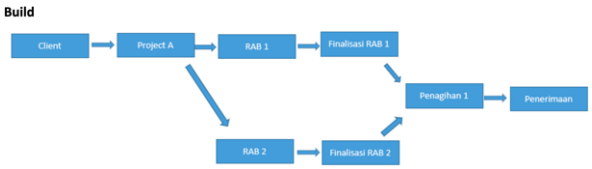
Desain modul utama sistem terdiri dari modul proyek untuk *input* proyek dan estimasi biaya, modul penjualan untuk pembuatan *invoice*, pencatatan, pembayaran, dan pelunasan, modul pembelian untuk pencatatan pembelian material dan jasa pihak ketiga, modul keuangan untuk kas masuk, kas keluar, pelacakan piutang, dan hutang, modul laporan untuk laporan laba rugi, arus kas, saldo proyek, dan neraca. Sistem menerima *input* dari bagian proyek, keuangan, dan gudang, lalu mengolahnya menjadi laporan keuangan otomatis. Sistem yang baru dikembangkan merupakan peralihan dari sistem manual ke sistem komputerisasi. Diharapkan sistem terkomputerisasi dapat mengeluarkan laporan laba rugi dan neraca secara otomatis, pelacakan biaya proyek menjadi lebih transparan, manajemen bisa memonitor kondisi keuangan harian, mempermudah dan meringankan pekerjaan operasional perusahaan.

Gambar 2 menunjukkan bagan *design system* yang akan diterapkan. *Input* sistem dimulai dari data *client*, pembuatan *quotation*, pendaftaran proyek, pembuatan *invoice*, penagihan, dan penerimaan.



Gambar 2 Bagan *Design System*

Gambar 3 menunjukkan bagan *build system* yang akan diterapkan. *Input* sistem dimulai dari data *client*, pendaftaran proyek, pembuatan *draft* RAB, finalisasi rab, penagihan, dan penerimaan.



Gambar 3 Bagan *Build System*

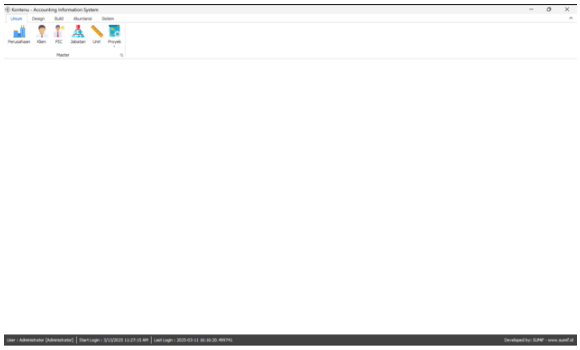
Tampilan Sistem

Gambar 4 menunjukkan halaman utama aplikasi terdapat fitur *Login Username* dan *Password* masing-masing pengguna.

Gambar 4 Halaman Utama Aplikasi

 ISSN 2987-677x

Gambar 5 menunjukkan *dashboard* umum terdapat kolom detail data perusahaan, klien, *PIC*, jabatan, *unit*, dan proyek.



Gambar 5 *Dashboard* Umum

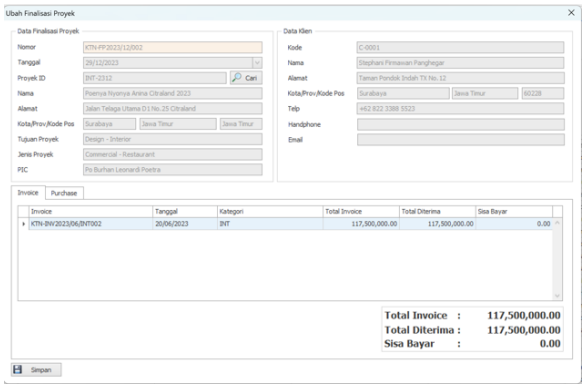
Design

Gambar 6 menunjukkan *dashboard design* terdapat kolom detail jasa *outsource input* jenis jasa vendor, outsource *input* vendor, jasa *input* jasa *internal*, *quotation*, proyek, *invoice*, *purchase input* pembelian, finalisasi, dan laporan.

Gambar 6 *Dashboard Design*

Finalisasi Proyek *Design Invoice*

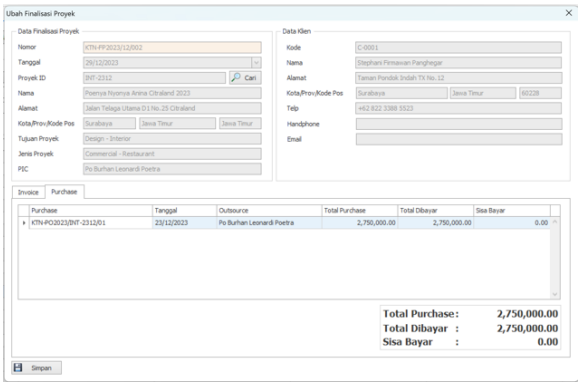
Gambar 7 menunjukkan *dashboard* finalisasi proyek *design invoice* terdapat kolom detail data proyek, data klien, *invoice*, total diterima, dan sisa bayar.



Gambar 7 *Dashboard* Finalisasi Proyek *Design Invoice*

Finalisasi Proyek *Design Purchase*

Gambar 8 menunjukkan *dashboard* finalisasi proyek *design purchase* terdapat kolom detail data proyek, data klien, *outsource*, total *purchase*, total dibayar, dan sisa bayar.



Gambar 8 *Dashboard* Finalisasi Proyek *Design Purchase*

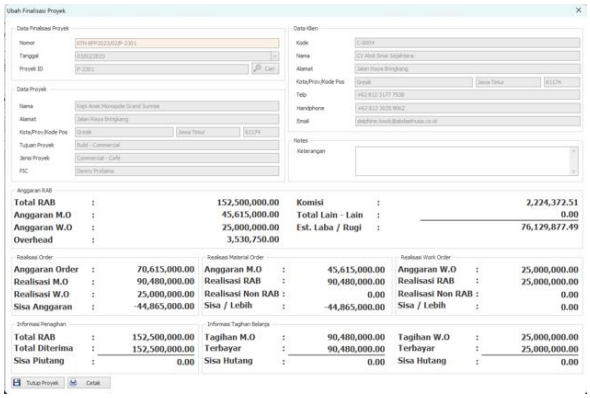
Build

Gambar 9 menunjukkan *dashboard build* terdapat kolom detail material, area *input* area pekerjaan, jasa, item, *supplier*, *SubCon*, proyek, RAB, *invoice*, *work order*, *material order*, finalisasi, dan laporan.

Gambar 9 *Dashboard Build*

Finalisasi Proyek *Build*

Gambar 10 menunjukkan *dashboard* finalisasi proyek *build* terdapat kolom detail data proyek, data klien, total rab, anggaran *material order*, anggaran *work order*, realisasi *material order*, realisasi *work order*, tagihan *material order*, tagihan *work order*, total diterima, sisa piutang, dan sisa hutang.

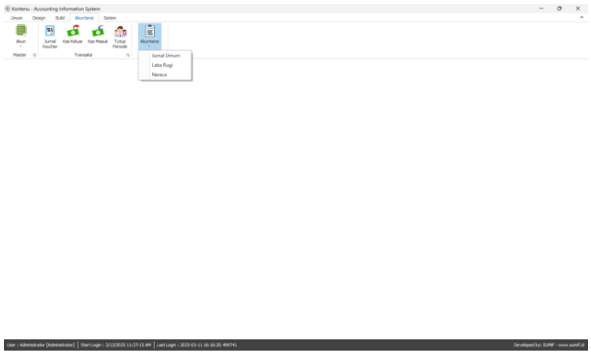


Gambar 10 *Dashboard* Finalisasi Proyek *Build*

Akuntansi

Gambar 11 menunjukkan *dashboard* akuntansi terdapat kolom detail akun, jurnal voucher, kas keluar *input* pengeluaran, kas masuk *input* pemasukan, tutup periode, laporan jurnal umum, neraca, dan laba rugi.

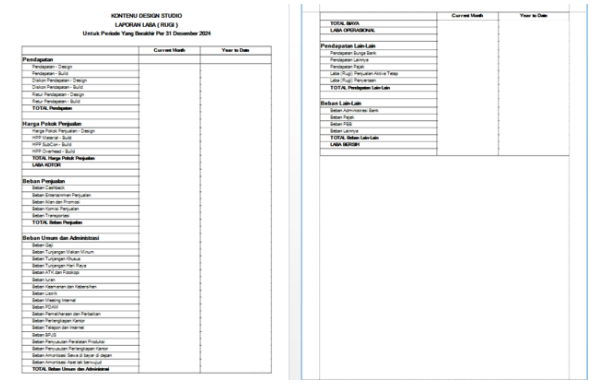
 ISSN 2987-677x



Gambar 11 *Dashboard* Akuntansi

Laporan Laba (Rugi)

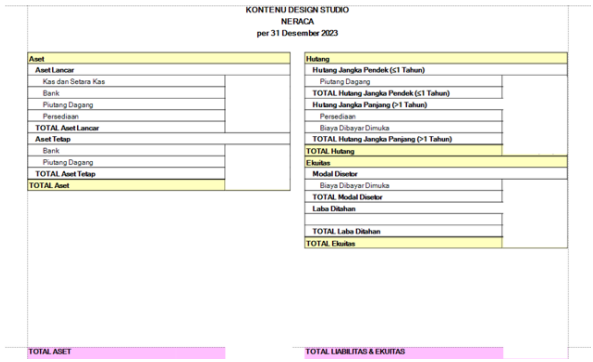
Gambar 12 menunjukkan *template* laporan laba (rugi) yang dapat diakses melalui *dashboard* akuntansi.



Gambar 12 Laporan Laba (Rugi)

Laporan Neraca

Gambar 13 menunjukkan *template* laporan neraca yang dapat diakses melalui *dashboard* akuntansi.



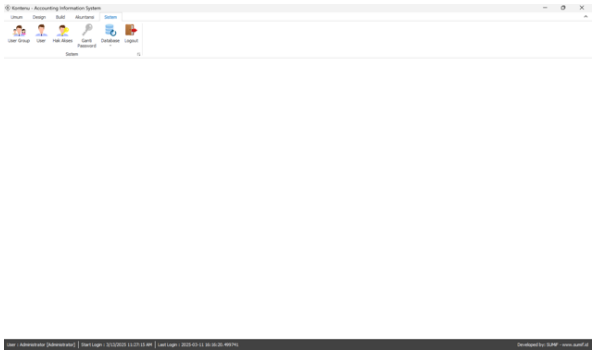
KONTENU DESIGN STUDIO
NERACA
per 31 Desember 2023

Aset		Hutang	
Aset Lancar		Hutang Jangka Pendek (≤1 Tahun)	
Kas dan Setara Kas		Piutang Dagang	
Bank		TOTAL Hutang Jangka Pendek (≤1 Tahun)	
Piutang Dagang		Hutang Jangka Panjang (>1 Tahun)	
Persediaan		Persediaan	
TOTAL Aset Lancar		Biaya Dibayar Dimuka	
Aset Tetap		TOTAL Hutang Jangka Panjang (>1 Tahun)	
Bank		TOTAL Hutang	
Piutang Dagang		Ekuitas	
TOTAL Aset Tetap		Modal Disetor	
TOTAL Aset		Biaya Dibayar Dimuka	
		TOTAL Modal Disetor	
		Laba Ditahan	
		TOTAL Laba Ditahan	
		TOTAL Ekuitas	
TOTAL ASET		TOTAL LIABILITAS & EKUITAS	

Gambar 13 Laporan Neraca

Sistem

Gambar 14 menunjukkan *dashboard* sistem terdapat kolom detail *user group*, *user*, hak akses, ganti *password*, *database*, dan *logout*.



Gambar 14 *Dashboard* Sistem

Uji Coba Sistem

Setelah penerapan sistem selama tiga bulan, hasil uji coba dilakukan dua orang dengan sampel *input* data sama menunjukkan bahwa durasi pembuatan laporan keuangan berkurang dari dua minggu menjadi dua hari, 99% transaksi tercatat dengan benar, dan tim manajemen lebih mudah membuat keputusan berdasarkan data *real-time*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan sistem informasi akuntansi yang tepat dapat meningkatkan efisiensi operasional dan kualitas informasi keuangan perusahaan desain dan konstruksi interior di Surabaya, serta memberikan dampak positif dalam akurasi dan pengambilan keputusan berbasis data keuangan yang akurat.

Implementasi Sistem

Implementasi sistem informasi akuntansi dilakukan mulai tahun 2023, dengan *input* data tambahan tahun 2022 untuk memudahkan pengecekan tahun sebelumnya. Terdapat penambahan fitur pilihan dua rekening bank dan nama perusahaan yang memungkinkan pengaturan divisi *design* dan *build* secara terpisah pada tahun 2024. Penambahan unsur perhitungan pajak penghasilan pada sistem informasi keuangan pada tahun 2025 yang melengkapi dan implementasi penuh dengan dukungan pelatihan berkala bagi staf proyek, staf *purchasing*, staf administrasi, dan staf keuangan.

Kesimpulan

Perancangan sistem informasi akuntansi berbasis SDLC berhasil membentuk alur kerja yang terintegrasi dan efisien dengan mengutamakan fungsi-fungsi terkait secara bertahap. Metode SDLC dalam perancangan sistem ini berhasil mencakup berbagai modul penting seperti proyek, penjualan, pembelian, keuangan, laporan, dan kontrol akses yang saling terintegrasi. Implementasi sistem informasi akuntansi berbasis komputerisasi berhasil meningkatkan efisiensi operasional, akurasi pencatatan, dan kualitas laporan keuangan perusahaan desain dan konstruksi interior. Sistem ini mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat dan tepat. Hasil uji coba menunjukkan peningkatan efisiensi pembuatan laporan, akurasi pencatatan transaksi hingga 99%, serta kemudahan manajemen dalam mengambil keputusan berdasarkan data keuangan *real-time*.

Sistem ini tidak hanya mempercepat proses kerja, tetapi juga meningkatkan transparansi, keamanan data, dan mendukung digitalisasi serta *sustainability*. Oleh karena itu, sistem informasi akuntansi ini layak untuk

 ISSN 2987-677x

diimplementasikan secara penuh dengan disertai pelatihan rutin bagi staf proyek dan staf keuangan agar sistem dapat dimanfaatkan secara maksimal. Saran bagi penerus penelitian yaitu perlu pengembangan lebih lanjut dengan integrasi sistem inventori, sumber daya manusia, perpajakan, *backup* otomatis, dan keamanan tambahan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya dan dosen pembimbing atas kesempatan melakukan penelitian, memeriksa dengan teliti, sabar, membimbing, meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran, turut serta memberi perhatian selama proses pendampingan penulisan artikel.

Referensi

Arens, A. A., Elder, R. J., & Beasley, M. S. (2015). *Auditing and assurance services: An integrated* approach (15th ed.). Pearson Education.

Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2018). *Management information systems: Managing the digital firm* (15th ed.). Pearson Education.

Romney, M. B., & Steinbart, P. J. (2015). *Accounting information systems* (13th ed.). Pearson Education.

Warren, C. S., Reeve, J. M., & Duchac, J. (2015). *Accounting* (26th ed.). Cengage Learning.

ISSN 2987-677x

Penerapan Sistem Inspeksi Jalan Berbasis *Virtual tour* dan *Artificial Intelligence* untuk Mendukung Infrastruktur Berkelanjutan

Alfian Bimanjaya[1] Suratno Lourentius [1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ alfianbimanjaya@gmail.com

✉ suratno.lourentius@ukwms.ac.id

Kondisi infrastruktur jalan yang tidak terawat dapat menimbulkan dampak signifikan terhadap keselamatan, efisiensi transportasi, dan biaya pemeliharaan jangka panjang. Penelitian ini mengembangkan sistem inspeksi jalan dari data Kamera 360° dan sensor GPS Geodetik yang dipasang pada kendaraan bergerak untuk merekam citra panorama 360° permukaan jalan secara menyeluruh. Data visual yang dihasilkan kemudian diproses menggunakan algoritma *Artificial Intelligence (AI)* deteksi objek berbasis *You Only Look Once (YOLO)* guna mengidentifikasi kondisi jalan dan mengklasifikasikannya ke dalam tiga kelas, yaitu kondisi baik, rusak sedang, dan rusak parah. Luaran dari sistem ini terdiri dari peta interaktif kerusakan jalan dan *virtual tour* 360° yang dapat diakses secara daring. Sistem ini juga mendorong peningkatan profesionalisme dalam kegiatan survei infrastruktur, melalui penggunaan teknologi canggih yang efisien, akurat serta metode analisis yang yang mendalam. Selain itu, integrasi antara *virtual tour* 360°, pemrosesan citra berbasis *AI*, dan pemetaan geospasial ini mendukung tercapainya target Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*/*SDGs*), khususnya dalam hal pembangunan infrastruktur kota yang berkelanjutan.

Kata kunci: Geospasial, *Virtual Tour*, *Artificial Intelligence*, *Sustainable Development Goals*, Profesionalisme

Pendahuluan

Perkembangan teknologi visualisasi seperti *virtual reality* (VR), *augmented reality* (AR), dan *extended reality* (XR) telah membuka peluang luas dalam menciptakan representasi lingkungan secara realistis dan interaktif (Zhang et al., 2023). Salah satu pendekatan yang kian populer adalah penggunaan citra panorama 360°, yang memberikan pengalaman visual imersif, geospasial yang akurat, dan menyeluruh dengan biaya yang relatif terjangkau (Nebiker et al., 2015). Dalam konteks infrastruktur jalan, teknologi ini digunakan oleh Perusahaan besar seperti Google untuk pemetaan jalan pada produknya, yaitu platform *Google Street View* (Biljecki & Ito, 2021). Pendekatan teknologi tersebut dapat diadopsi untuk mendukung proses dokumentasi dan inspeksi kondisi jalan secara lebih efisien dibandingkan metode konvensional yang bersifat manual, memakan waktu, dan berbiaya relatif tinggi.

Penelitian ini mengeksplorasi penggunaan kamera 360° yang dipasang pada kendaraan bergerak, dikombinasikan dengan sensor *global positioning system* (*GPS*) geodetik untuk menghasilkan data visual dan geospasial dengan akurasi tinggi. Data yang diperoleh mencakup tampilan menyeluruh permukaan jalan yang kemudian diproses secara otomatis menggunakan algoritma *computer vision* (*CV*) - *artificial intelligence* (*AI*) berbasis *you only look once* (*YOLO*) untuk mendeteksi kerusakan seperti lubang, retakan, dan deformasi lainnya (Wan et al., 2022). Hasil deteksi ini diklasifikasikan ke dalam tiga kategori kondisi jalan, yaitu baik, rusak sedang, rusak berat, kemudian divisualisasikan melalui peta interaktif serta *virtual tour* 360°, memungkinkan pengguna untuk mengevaluasi kondisi jalan dengan akurat.

Integrasi antara *virtual tour* 360°, pemrosesan citra berbasis *AI*, dan pemetaan geospasial ini menawarkan potensi besar dalam meningkatkan akurasi inspeksi jalan, mempercepat pengambilan keputusan teknis, serta mereduksi biaya survei lapangan secara signifikan. Selain keunggulan teknis dan ekonomis, pendekatan ini juga mendukung implementasi beberapa Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*/SDGs). Secara khusus, sistem ini mendorong terwujudnya infrastruktur yang tangguh dan inovatif (*SDG* 9), kota dan permukiman yang inklusif, aman, dan berkelanjutan (*SDG* 11). Dengan mengadopsi teknologi yang adaptif dan terjangkau, penelitian ini diharapkan dapat menjadi kontribusi nyata dalam membangun sistem inspeksi jalan masa depan yang lebih cerdas, berkelanjutan, dan siap menjawab tantangan pemeliharaan infrastruktur di Indonesia.

Metode

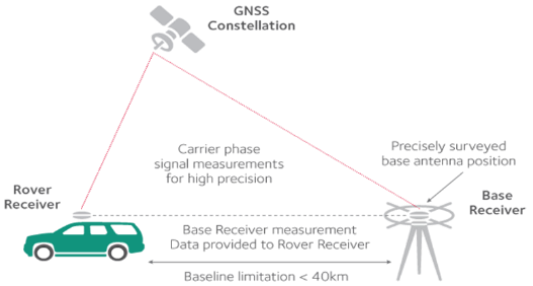
Penelitian ini menggunakan pendekatan sistematis dalam proses akuisisi dan analisis data kondisi jalan berbasis citra panorama 360°. Tahapan metodologi dijabarkan sebagai berikut:

1. **Persiapan Peralatan**
   Tahap awal melibatkan instalasi perangkat keras, yaitu kamera 360° dan penerima *GPS* Geodetik yang dipasang di atas kendaraan. Posisi pemasangan peralatan dirancang agar mampu merekam visual permukaan jalan secara menyeluruh sekaligus mencatat koordinat dengan akurasi tinggi (Abdullah dkk., 2021).
2. **Konektivitas Perangkat**
   Kamera 360° dan *GPS* Geodetik dikoneksikan dengan unit pengontrol, biasanya menggunakan *smartphone*,

 ISSN 2987-677x

baik melalui sambungan kabel maupun jaringan nirkabel, untuk memastikan sinkronisasi waktu dan posisi selama proses perekaman berlangsung.

3. **Akuisisi Data Lapangan**
   Akuisisi data dilakukan secara kontinu mengikuti jalur jalan yang ditentukan yang akan diinspeksi, menghasilkan dua jenis data mentah: citra panorama 360° dan data koordinat dalam format *RINEX* dari *GPS* Geodetik (Abdullah dkk., 2021). Metode akuisisi data GPS Geodetik dilakukan secara *Post-Processing Kinematic* (PPK) dengan koreksi koordinat dari stasiun *Continuously Operating Reference Station* (CORS), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Metode Akuisisi Data Lapangan

4. **Pemrosesan Data**
   Data mentah (*raw data*) yang telah diambil dari lapangan kemudian diproses secara terpisah. Citra panorama 360° diproses untuk meningkatkan kualitas visual dan menghilangkan distorsi, sementara data RINEX diproses menggunakan perangkat lunak Geodetik untuk menghasilkan koordinat akurasi tinggi dengan metode *Post-Processing Kinematic* (PPK).

5. **Penyelarasan Citra Panorama 360° dan Koordinat**
   Dari pemrosesan data yang telah dilakukan sebelumnya terdapat dua keluaran utama, yaitu citra panorama 360° berkualitas tinggi dan koordinat posisi secara geospasial. Kedua data ini kemudian disinkronisasi berdasarkan *timestamp* untuk menyematkan informasi posisi geografis pada setiap citra panorama 360° (Abdullah dkk., 2021).

6. **Pembangunan Sistem *Virtual tour* 360°**
   Citra Panorama 360° yang telah berkoordinat kemudian disusun menjadi sistem panorama interaktif menggunakan platform panorama virtual. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk menavigasi visualisasi jalan dengan referensi geospasial yang akurat.

7. **Deteksi Kerusakan Jalan**
   Secara terpisah, data citra panorama 360° yang telah dilengkapi koordinat kemudian dilakukan analisis menggunakan model deteksi objek berbasis *You Only Look Once* (*YOLO*). Model ini diimplementasikan untuk mengidentifikasi anomaly, seperti lubang, retakan, atau deformasi jalan (Wan dkk., 2022). Kemudian kondisi jalan diklasifikasikan ke dalam tiga kelas, yaitu kondisi baik, rusak sedang, dan rusak parah.

8. **Pengembangan *WebGIS* Anomali Jalan**
   Hasil deteksi menggunakan *YOLO*, kemudian dipetakan ke dalam sistem *Geographic Information System* berbasis Web (*WebGIS*). Setiap titik anomali ditampilkan sebagai penanda (*marker*) yang dapat diklik untuk menampilkan informasi detil dan cuplikan citra 360° dari lokasi kerusakan yang terdeteksi.

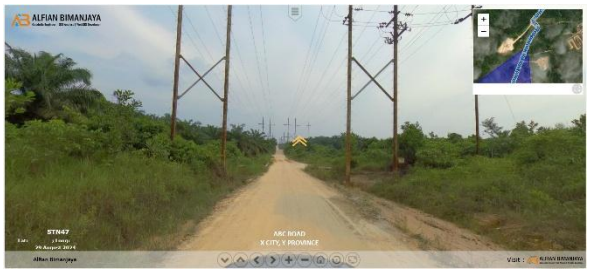
Hasil Kerja

Virtual Tour 360°

Citra panorama 360° yang telah diproses dan telah disematkan informasi koordinat, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 merupakan data utama untuk pengembangan *virtual tour* 360° kondisi jalan. Platform yang dikembangkan ini merupakan pendekatan digital berbasis visual guna mendokumentasikan, menilai, dan menyajikan informasi kondisi jalan yang dapat diakses oleh pengguna melalui peramban (*browser*) Teknologi ini memungkinkan pengguna untuk melihat lingkungan jalan secara menyeluruh (panorama), berpindah antar titik lokasi, serta mengakses informasi tambahan seperti alamat jalan, tanggal pengambilan gambar, dan koordinat geografis.

Gambar 2 Citra Panorama 360°

Virtual tour 360° dapat ditautkan ke titik koordinat pada peta interaktif. Setiap titik citra panorama 360° terhubung melalui *hotspot* navigasi, memungkinkan pengguna berpindah dari satu lokasi ke lokasi lainnya secara berurutan sesuai jalur jalan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 *Virtual Tour* 360° Jalan

Kombinasi ini memungkinkan navigasi spasial sekaligus visualisasi kondisi aktual. Pendekatan ini memungkinkan visualisasi data yang lebih kaya dan informatif dibandingkan dokumentasi konvensional, serta mempermudah proses monitoring dan pelaporan kondisi jalan secara digital.

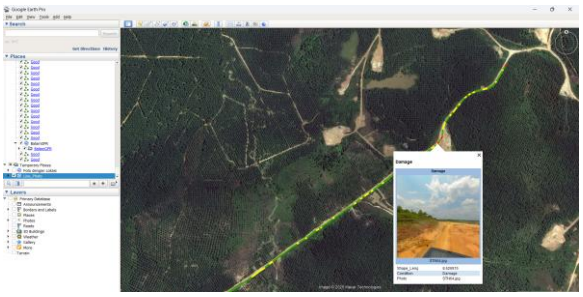
WebGIS Kerusakan Jalan

Setiap citra panorama 360° diproses menggunakan algoritma deteksi objek *YOLO* untuk mengidentifikasi keberadaan dan tingkat kerusakan jalan. Hasil deteksi selanjutnya diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu baik (ditandai warna hijau), rusak sedang (kuning), dan rusak parah (merah). Setiap hasil klasifikasi dilengkapi dengan koordinat lokasi yang diperoleh dari data *GPS*, sehingga dapat divisualisasikan secara geospasial dalam *platform Google Earth* atau dapat divisiualkan pada *WebGIS*.

Peta yang dihasilkan dari proses deteksi dan klasifikasi kondisi jalan direpresentasikan dengan garis (*polyline*) yang

 ISSN 2987-677x

dapat diklik untuk menampilkan foto kondisi jalan aktual lapangan. Sebagai contoh, pada Gambar 4 ditampilkan salah satu ruas jalan dengan klasifikasi rusak parah (garis warna merah), lengkap dengan foto dokumentasi yang menunjukkan permukaan jalan yang berlubang dan tidak rata. Informasi atribut tambahan seperti nama *file* foto, panjang segmen (*Shape_Length*), dan status kondisi ditampilkan secara interaktif melalui jendela informasi (*popup*). Dengan pendekatan ini, proses identifikasi dan visualisasi kerusakan jalan menjadi lebih akurat, transparan, dan mudah dianalisis baik oleh insinyur maupun pihak pengambil keputusan.



Gambar 4 Peta Kerusakan Jalan - *Polyline*

Selain visualisasi klasifikasi kondisi jalan secara keseluruhan, sistem ini juga menyediakan representasi berbasis titik (*spot*) yang menampilkan hanya lokasi-lokasi spesifik jalan rusak. Setiap titik pada peta merepresentasikan satu lokasi kerusakan yang telah teridentifikasi otomatis oleh model *YOLO*. Dengan mengklik titik tersebut, pengguna dapat melihat foto aktual dari kondisi jalan, yang memungkinkan peninjauan lebih detail terhadap setiap kerusakan jalan sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5 Peta Kerusakan Jalan - *Hotspot*

Penyajian data dalam bentuk spot ini memungkinkan analisis yang lebih fokus terhadap distribusi geospasial kerusakan, khususnya untuk keperluan tindak lanjut perbaikan atau investigasi teknis (Lihat Gambar 4). Penggunaan sistem ini sangat bermanfaat dalam konteks inspeksi jalan skala besar, karena mampu mempercepat proses identifikasi kerusakan secara efisien dan berbasis data geospasial yang akurat.

Data hasil klasifikasi kondisi jalan dikompilasi secara geospasial dan deskriptif dalam bentuk tabular. Setiap segmen jalan dilengkapi dengan informasi koordinat lokasi (X,Y), nama file foto dokumentasi, klasifikasi kondisi jalan (*Good, Moderate,* atau *Damage*), serta panjang segmen jalan yang diwakili (*Shape_Length*). Sistem mampu membedakan dan mencatat kerusakan pada berbagai titik jalan secara detil, serta mengaitkannya langsung dengan foto kondisi aktual di lapangan. Hasil ini sangat membantu dalam proses pelaporan, *monitoring*, dan penentuan prioritas perbaikan jalan secara objektif dan efisien. Secara keseluruhan Tabel 1 menjelaskan perbandingan antara metode konvensional dan hasil penelitian terhadap kebutuhan inspeksi kondisi jalan.

Tabel 1. Komparasi Metode Konvensional vs Integrasi Sistem *Virtual Tour* 360° dan WebGIS untuk Inspeksi Jalan

No	Aspek	Metode Konvensional	Virtual Tour 360° + WebGIS
1	Media Dokumentasi	Foto biasa, catatan manual	Citra panorama 360° + peta interaktif
2	Akses Data	Arsip fisik / lokal	Browser berbasis web dengan peta dinamis
3	Interaktivitas	Terbatas	Navigasi + interaksi spasial melalui peta
4	Visualisasi Kondisi Jalan	Sudut pandang terbatas	Menyeluruh (360°) + kontekstual lokasi
5	Informasi Tambahan	Manual, terbatas	Ditambah atribut spasial dan analisis data
6	Ketersediaan Waktu Nyata	Lambat (butuh pengolahan manual)	Potensi real-time dengan sistem pelaporan dinamis
7	Skalabilitas	Sulit diperluas	Sangat mudah dikembangkan secara geospasial
8	Kesesuaian untuk Analisis	Rendah	Tinggi (visualisasi + analisis geospasial)
9	Waktu Pelaksanaan	Lama (lapangan + input manual)	Cepat (otomatisasi dan integrasi geospasial)

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan sebuah sistem integratif untuk pemetaan kerusakan jalan berbasis teknologi kamera 360° yang dipasang pada kendaraan, dikombinasikan dengan sensor *GPS* geodetik akurasi tinggi. Dengan menerapkan algoritma *computer vision* berbasis *YOLO*, kerusakan jalan dapat diidentifikasi secara otomatis dan diklasifikasikan ke dalam tiga kelas, yaitu kondisi baik (hijau), rusak sedang (kuning), dan rusak berat (merah). Seluruh hasil pengolahan divisualisasikan dalam dua bentuk sistem yang saling terintegrasi, yaitu *virtual tour* 360° yang memungkinkan pengguna melakukan penelusuran visual terhadap kondisi jalan secara imersif dan peta interaktif berbasis *WebGIS* yang menunjukkan titik-titik kerusakan secara geospasial.

Penerapan integrasi sistem ini turut mendukung beberapa Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*). Secara khusus, proyek ini berkontribusi pada *SDG* 9 (*Industry, Innovation and Infrastructure*) melalui penguatan infrastruktur yang tangguh dan pemanfaatan teknologi inovatif dalam pengelolaan jalan. Selain itu, proyek ini juga relevan dengan *SDG* 11 (*Sustainable Cities and Communities*) karena membantu mewujudkan sistem transportasi yang aman, terjangkau, dan berkelanjutan melalui perencanaan pemeliharaan jalan berbasis data. Dengan demikian, hasil pengembangan ini tidak hanya efektif secara teknis, tetapi juga sejalan dengan prinsip pembangunan berkelanjutan dalam skala lokal maupun nasional.

ISSN 2987-677x

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini dan penyelesaian makalah praktik keinsinyuran ini sehingga dapat berjalan dengan lancar, terutama kepada para dosen dan pembimbing dari Program Studi Program Profesi Insinyur Univeristas Katolik Widya Mandala Surabaya.

Referensi

Abdullah, S., Tahar, K. N., Rashid, M. F. A., & Osoman, M. A. (2021). Artificial intelligence application for road paving assessment using 360 mobile mapping. *Journal of Hunan University (Natural Sciences)*, *48*(7), 362–369.

Biljecki, F., & Ito, K. (2021). Street view imagery in urban analytics and GIS: A review. *Landscape and Urban Planning*, *215*, 104217. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104217.

Nebiker, S., Cavegn, S., & Loesch, B. (2015). Cloud-based geospatial 3D image spaces—A powerful urban model for the smart city. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *4*(4), 2267–2291. https://doi.org/10.3390/ijgi4042267.

Wan, F., Sun, C., He, H., Lei, G., Xu, L., & Xiao, T. (2022). YOLO-LRDD: A lightweight method for road damage detection based on improved YOLOv5s. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, *2022*(98). https://doi.org/10.1186/s13634-022-00931-x.

Zhang, F., Zhao, J., Zhang, Y., Wu, Y., Li, X., & Liu, L. (2023). A survey on 360° images and videos in mixed reality: Algorithms and applications. *Journal of Computer Science and Technology*, *38*(3), 473–491. https://doi.org/10.1007/s11390-023-3210-1.

ISSN 2987-677x

Pengaruh Cuaca terhadap Pelaksanaan Produktifitas Jalan Raya

Gabriel Febryanto Paun[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ gabrielfebryantopaun@gmail.com

Pekerjaan jalan raya merupakan bagian krusial dari pembangunan infrastruktur. Namun, produktivitas dalam pelaksanaannya seringkali dipengaruhi oleh faktor lingkungan, salah satunya adalah kondisi cuaca. Makalah ini bertujuan untuk mengkaji bagaimana berbagai elemen cuaca seperti curah hujan, suhu ekstrem, dan kelembaban udara dapat memengaruhi efisiensi dan output pekerjaan konstruksi jalan raya. Pemahaman mendalam mengenai dampak cuaca ini penting untuk perencanaan proyek yang lebih realistis, pengelolaan risiko yang efektif, dan peningkatan produktivitas secara keseluruhan.

Kata kunci: pekerjaan jalan raya, produktivitas konstruksi, faktor lingkungan, cuaca, manajemen risiko

Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur jalan raya memegang peranan vital dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan sosial suatu wilayah. Proses konstruksi jalan raya melibatkan berbagai tahapan pekerjaan, mulai dari survei dan pembersihan lahan, hingga pengaspalan dan penyelesaian. Keberhasilan proyek-proyek ini sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik internal (seperti manajemen proyek dan ketersediaan sumber daya) maupun eksternal. Salah satu faktor eksternal yang signifikan adalah kondisi cuaca.

Cuaca yang tidak menentu dapat secara langsung menghambat aktivitas pekerjaan di lapangan. Hujan deras dapat menghentikan pekerjaan pengaspalan atau penggalian, suhu ekstrem dapat mempengaruhi kinerja pekerja dan kualitas material, sementara kelembaban tinggi dapat memperlambat proses pengeringan material. Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif mengenai pengaruh cuaca terhadap produktivitas pekerjaan jalan raya menjadi esensial.

Makalah ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana berbagai kondisi cuaca memengaruhi produktivitas dalam pelaksanaan pekerjaan jalan raya. Dengan mengidentifikasi dampak spesifik dari setiap elemen cuaca, diharapkan dapat dirumuskan strategi mitigasi yang efektif meminimalkan gangguan dan meningkatkan efisiensi proyek.

Metode

Strategi Mitigasi Penurunan Produktivitas

Untuk mengurangi dampak negatif musim hujan terhadap produktivitas, beberapa langkah strategis dapat diterapkan:

- **Perencanaan jadwal kerja berdasarkan prakiraan cuaca:** Jadwal utama pekerjaan lapangan seperti pemadatan dan pengaspalan sebaiknya dilakukan pada musim kemarau.
- **Pemasangan sistem drainase sementara:** Drainase berfungsi untuk mengalirkan air hujan dan menghindari genangan pada area kerja.
- **Penggunaan pelindung material dan area kerja:** Terpal, tenda kerja, atau plastik penutup digunakan untuk melindungi beton basah, timbunan material, dan pekerjaan yang sedang berlangsung.
- **Penggunaan material yang adaptif terhadap cuaca:** Seperti beton aditif cepat kering dan aspal dengan aditif tahan kelembapan.
- **Pengaturan tenaga kerja fleksibel:** Tim kerja cadangan atau sistem *shift* dapat diterapkan untuk memaksimalkan waktu kerja saat cuaca memungkinkan.

Hasil Kerja

Penurunan produktivitas pada pekerjaan konstruksi jalan raya selama musim hujan merupakan masalah umum yang sering dihadapi oleh kontraktor di banyak proyek. Hujan dapat mempengaruhi berbagai aspek dalam proses konstruksi, mulai dari pekerjaan tanah, pengurusan material, hingga keselamatan pekerja. Beberapa alasan utama mengapa penurunan produktivitas terjadi selama musim hujan:

1. **Kondisi Tanah yang Tidak Stabil**
   - **Peningkatan Kelembaban Tanah**: Tanah yang lembek atau basah akibat hujan dapat menyebabkan kesulitan dalam pemadatan dan pengerjaan pekerjaan tanah seperti penggalian, pengisian, dan pemadatan. Tanah lunak yang terbasahi menjadi lebih mudah tergerus, mengurangi kualitas pekerjaan dan membutuhkan waktu lebih lama.
   - **Tanah Jenuh Air**: Pada tanah tertentu, hujan dapat menyebabkan tanah menjadi jenuh air, yang membuatnya tidak stabil. Hal ini mengakibatkan mesin berat, seperti ekskavator dan bulldozer, tidak dapat beroperasi secara maksimal di atasnya karena risiko terperosok atau kesulitan mobilisasi.
2. **Kesulitan dalam Pengangkutan dan Penyimpanan Material**
   - **Transportasi Terganggu**: Hujan menyebabkan kondisi jalan sementara yang buruk, baik untuk akses kendaraan pengangkut material maupun alat berat. Jika akses jalan sulit atau terendam banjir, pengiriman material seperti pasir, batu, atau aspal bisa terlambat, yang menghambat kemajuan proyek.
   - **Kualitas Material yang Terpengaruh**: Beberapa material, seperti beton, aspal, dan bahan kimia tertentu, tidak dapat digunakan dengan baik ketika terkena air hujan. Asal muasal material yang basah atau tercemar air hujan dapat merusak kualitas pekerjaan yang sedang berlangsung.
3. **Pengurangan Waktu Kerja**

 ISSN 2987-677x

- **Hujan yang Menghentikan Pekerjaan**: Badai atau hujan deras yang tidak terduga dapat menghentikan aktivitas konstruksi sama sekali, terutama pekerjaan yang melibatkan elemen-elemen yang sensitif terhadap air, seperti pengecoran beton. Ketika pekerjaan berhenti selama berjam-jam atau bahkan berhari-hari, hal ini mengurangi total waktu kerja yang efektif.
- **Pembatasan Jam Kerja**: Pekerjaan di luar ruangan seperti pengaspalan jalan, pemadatan tanah, dan pengecoran beton sering kali terganggu oleh hujan. Kontraktor biasanya harus menunda pekerjaan selama cuaca buruk, dan akibatnya, pekerjaan berjalan lebih lambat.

4. **Kesulitan dalam Pengendalian Drainase**
   - **Penyumbatan Saluran Drainase**: Drainase yang buruk atau tidak memadai menyebabkan genangan air di area kerja. Air yang tergenang dapat menghambat pekerjaan, terutama yang berkaitan dengan struktur dasar jalan atau fondasi jalan raya.
   - **Penurunan Kualitas Pekerjaan**: Jika air tidak dapat mengalir dengan lancar, tanah yang telah dipadatkan bisa menjadi labil, dan kualitas aspal atau beton yang baru saja diletakkan bisa terganggu oleh air hujan.
5. **Masalah Keselamatan Pekerja**
   - **Kondisi Berbahaya bagi Pekerja**: Hujan menyebabkan permukaan menjadi licin, yang meningkatkan risiko kecelakaan kerja, seperti tergelincir atau terjatuh. Alat dan mesin berat juga sulit dikendalikan dalam kondisi jalan yang licin dan tergenang.
   - **Pekerja Terpaksa Mengurangi Aktivitas**: Pada hari-hari hujan deras, banyak pekerja yang terpaksa menunda pekerjaan karena alasan keselamatan, atau mereka bekerja dalam kondisi yang kurang optimal, yang berdampak pada produktivitas.
6. **Keterlambatan dalam Perencanaan dan Koordinasi**
   - **Penundaan Jadwal**: Musim hujan sering menyebabkan perubahan mendadak dalam jadwal kerja. Pekerjaan yang direncanakan untuk hari tertentu harus ditunda, dan jika tidak ada waktu cadangan dalam perencanaan, seluruh jadwal proyek dapat terganggu.
   - **Gangguan dalam Koordinasi Sub-kontraktor**: Jika pekerjaan tertentu terhambat akibat hujan, koordinasi antar sub-kontraktor yang seharusnya berjalan paralel menjadi lebih sulit, mengakibatkan keterlambatan pada keseluruhan proyek.
7. **Peningkatan Biaya**
   - **Biaya Pemeliharaan dan Perbaikan**: Ketika hujan merusak pekerjaan atau material yang sudah ada, kontraktor harus menanggung biaya perbaikan dan penggantian material. Misalnya, jika pekerjaan aspal terganggu oleh hujan, lapisan aspal yang baru dapat rusak dan perlu diganti, menambah biaya proyek.
   - **Overtime dan Biaya Tambahan**: Penundaan akibat cuaca buruk dapat memaksa kontraktor untuk memperpanjang jam kerja (*overtime*) atau mempercepat pekerjaan setelah cuaca cerah, yang bisa menyebabkan biaya tambahan yang signifikan.
8. **Kerusakan pada Infrastruktur yang Sedang Dibangun**
   - Erosi dan Longsor: Hujan deras dapat menyebabkan erosi di area konstruksi, mengakibatkan kerusakan pada fondasi yang sedang dibangun, tanah yang terkikis, atau pembongkaran lapisan tanah yang sudah dipadatkan. Hal ini memerlukan waktu dan biaya untuk memperbaiki atau menggali ulang area yang rusak.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah diuraikan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Musim hujan memberikan dampak signifikan terhadap penurunan produktivitas pekerjaan jalan raya. Pekerjaan yang bersifat lapangan seperti pemadatan tanah, pengaspalan, pengecoran beton, dan transportasi material sangat terganggu akibat curah hujan tinggi, kelembapan, dan genangan air.
2. Penurunan produktivitas terjadi karena waktu kerja efektif berkurang dan kualitas hasil kerja menurun. Tenaga kerja sering kali harus menghentikan aktivitas karena kondisi lapangan tidak memungkinkan, sedangkan alat berat tidak dapat beroperasi optimal di tanah basah dan licin.
3. Akibatnya, proyek mengalami keterlambatan waktu dan peningkatan biaya pelaksanaan. Biaya tambahan muncul akibat pekerjaan ulang, perlindungan lapangan, hingga logistik darurat. Hal ini menunjukkan bahwa cuaca merupakan faktor eksternal yang harus diantisipasi secara serius dalam perencanaan proyek konstruksi.
4. Strategi mitigasi sangat dibutuhkan untuk mengurangi dampak negatif musim hujan. Beberapa strategi efektif meliputi penjadwalan pekerjaan berbasis prakiraan cuaca, pemasangan drainase sementara, penggunaan pelindung kerja, dan material konstruksi yang tahan terhadap kelembapan atau cepat kering.

Ucapan Terima Kasih

1. Istri dan anak-anak tercinta;
2. Keluarga besar tercinta yang selalu mendukung;
3. Direktur dan rekan kerja pada PT. Ramayana Cipta Perkasa;
4. Semua pihak yang sudah membantu, serta teman-teman semuanya.

Referensi

Djamaluddin, R. (2019). *Teknologi konstruksi jalan raya*. Bandung: Penerbit ITB.

Hendrickson, C. (2008). *Project management for construction: Fundamental concepts for owners, engineers, architects, and builders*. Carnegie Mellon University.

Putra, F., & Lestari, A. (2018). Kajian dampak curah hujan terhadap kualitas beton di lapangan. *Jurnal Rekayasa Sipil Indonesia*, *10*(1), 33–41.

Suraji, A. (2016). *Manajemen konstruksi proyek infrastruktur*. Yogyakarta: Andi.

Wardhana, K. (2014). Pengaruh cuaca terhadap produktivitas tenaga kerja konstruksi. *Jurnal Teknik Sipil*, *21*(2), 115–122.

ISSN 2987-677x

Implementasi Teknis Pengoperasian Mesin Penyemprot Aspal

Dedy Kustanto[1] Lusia Permata Sari Hartanti[1]

[1]Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala, Surabaya

[2]Workshop Surya Kemenangan

[3]CV Channy

✉ dkustanto.01@gmail.com

Salah satu aspek yang mempengaruhi keberhasilan di bidang pekerjaan jalan, yaitu pembinaan jalan dan pengoperasian peralatan konstruksi yang sesuai dengan standar SOP kinerja konstruksi. Dengan dukungan alat pengoperasian yang bagus, maka dapat membantu mempercepat proses pembuatan konstruksi jalan. Sebagaimana diketahui, aspal merupakan material utama yang digunakan dalam pembuatan jalan. Selain itu, terdapat juga beberapa jenis material lainnya yang mempunyai peranan penting dalam proses pekerjaan tersebut, mulai dari batu, pasir hingga beberapa jenis alat berat seperti *dozer*, *excavator*, sampai mesin penyemprot aspal. Di permukaan paling atas biasanya disemprotkan menggunakan aspal cair. Pentingnya aspal cair berguna sebagai lapis resap pengikat atau prime coat dan lapis perekat atau tack coats sehingga jalan menjadi tahan lama, memiliki kualitas yang baik sehingga dapat dilalui oleh kendaraan-kendaraan dengan beban yang begitu berat, untuk menyebarkan aspal cair harus menggunakan alat berat yang bernama mesin penyemprot aspal.

Kata kunci: implementasi, pengopersian, penyemprot, aspal

Pendahuluan

Pada umumnya, mesin penyemprot aspal digunakan dalam pekerjaan konstruksi jalan raya, penggunaan lapis resap pengikat dan lapis perekat ini sangat familiar, terutama untuk jalan-jalan utama dengan kualitas yang bagus. Sedangkan, untuk jalan-jalan minor seperti di pedesaan maupun di komplek perumahan jarang digunakan walaupun ada juga yang menggunakannya, lapis resap pengikat (*prime coats*) adalah lapis ikat yang diletakkan di atas lapis pondasi agregat, sedangkan lapis perekat (*tack coats*) diletakkan diatas lapisan beraspal atau lapis beton semen. Pemasangan lapis resap pengikat dan lapis perekat dilaksanakan setelah permukaan lama dibersihkan dengan kompresor udara sehingga tekstur perkerasan lama terlihat jelas (pada pekerjaan *overlay*).

Lapis resap pengikat, bahan lapis resap pengikat umumnya adalah aspal dengan penetrasi 80/100 atau penetrasi 60/70 yang dicairkan dengan minyak tanah, volume yang digunakan berkisar antara 0,4 - 1,3 ltr/m2 untuk lapis pondasi agregat kelas A dan 0,2 - 1 ltr/m2 untuk pondasi tanah semen. Setelah pengeringan selama 4 - 6 jam, bahan pengikat harus telah meresap ke dalam lapis pondasi, lapis resap pengikat yang berlebih dapat mengakibatkan pelelehan (*bleeding*) dan menyebabkan timbulnya bidang geser. Untuk itu, pada daerah yang berlebih ditabur dengan pasir dan dibiarkan agar pasir tersebut diselimuti aspal.

Lapis perekat berfungsi untuk memberikan daya ikat antara lapis lama dengan yang baru dan disemprotkan pada permukaan beraspal atau beton semen yang kering dan bersih. Bahan lapis perekat adalah aspal emulsi yang cepat menyerap atau aspal keras penetrasi 80/100 atau 60/70 yang dicairkan dengan 25 - 30 bagian minyak tanah per 100 bagian aspal pemakaiannya berkisar antara 0,1 - 0,5 ltr/m2 lebih tipis dibandingkan dengan pemakaian lapis resap pengikat.

Mesin penyemprot aspal adalah alat yang digunakan untuk menyemprotkan aspal cair ke permukaan jalan pada saat proses *finishing* ini dilakukan untuk menguatkan lapisan ini ditempatkan pada permukaan paling atas sebagai bahan penguat jalan agar mampu menahan beban berat lalu lintas kendaraan hal ini terjadi karena materialnya memiliki sifat ikatan yang kuat terhadap lapisan di bawahnya sehingga membuat permukaan jalan menjadi tahan lama.

Mesin penyemprot aspal ini berperan penting dalam proses pembangunan infrastruktur perkotaan dan jalan. Jalan yang baik mendukung mobilitas penduduk, memudahkan akses ke berbagai fasilitas, mendorong pertumbuhan ekonomi, menghubungkan berbagai daerah, mempermudah transportasi barang serta jasa, meningkatkan keamanan dan kenyamanan pengguna jalan. Alat ini menurut Permenaker No 8 Tahun 2020 dapat dikategorikan ke dalam alat berat (Gusthia, 2023), memiliki beberapa fungsi serta manfaat yang didapatkan meningkatkan efisiensi kerja, pengaplikasiannya dapat menyesuaikan (lebar, panjang, luas, dan merata) jalan sesuai dengan kebutuhan, menghemat bahan aspal, peningkatan kualitas dan fleksibilitas. Ada beberapa jenis tergantung dari kebutuhan proyek yang akan dikerjakan antara lain:

1. Mesin penyemprot aspal jalan truk jenis ini dirancang dan dipasang pada kendaraan truk yang biasa disebut juga mesin penyemprot aspal jalan distributor memiliki kapasitas 4000 - 5000 liter (Gambar 1). Alat ini biasanya digunakan untuk proyek jalan besar, jalan provinsi, proyek jalan bandara.

Gambar 1 Mesin Penyemprot Aspal Jalan Distributor

2. Mesin Penyemprot aspal *portable* atau aspal *sprayer portable* memiliki kapasitas 600 liter dan 1000-1200 liter (Gambar 2). Alat ini cocok digunakan untuk pekerjaan

 ISSN 2987-677x

dengan skala kecil seperti pemeliharaan jalan atau aplikasi di area terbatas.

Gambar 2 Mesin Penyemprot Aspal Jalan *Portable* Kapasitas 1000-1200 liter

3. Mesin penyemprot aspal jalan *mini portable* atau mesin aspal *sprayer mini portable* memiliki kapasitas 200 liter dan 400 liter digunakan untuk aplikasi aspal dalam area yang sangat sempit, pekerjaan perbaikan dalam skala kecil, bisa digunakan di jalan jalan gang, lapangan parkir, daerah dataran tinggi yang susah dijangkau oleh kendaraan besar, di daerah kepulauan, dan mobilisasi lebih mudah (Gambar 3).

Gambar 3 Mesin Penyemprot Aspal *Mini Portable*

Namun masih ada sebagian besar orang di luar sana, khususnya bagi mereka yang awam di dalam dunia konstruksi bangunan belum mengerti apa fungsi hingga bagaimana cara kerja alat berat mesin penyemprot aspal tersebut. Sehingga pada saat proses pelaksanaan pengaspalan jalan terjadi kondisi adanya kendala tiba tiba mesin penyemprot aspal tiba tiba engine berhenti, pompa aspal macet, nozzle tidak bisa menyemprot secara merata atau tidak dapat menyemprot, hal itu terjadi biasanya diakibatkan kurangnya pemahaman tentang tata cara sebelum pengoperasian mesin penyemprot aspal, tidak melakukan pembilasan terhadap pompa aspal, pipa saluran aliran aspal, batang penyemprot, rubber hose penyemprot, nozzle penyemprot setelah atau pada saat selesai pekerjaan penyemprotan aspal berakibat mesin penyemprot aspal tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya, kurangnya pemahaman cara pemeriksaan dan cara pemeliharaan mesin penyemprot sehingga akan dimulainya atau pada waktu pelaksanaan pekerjaan pengaspalan terjadi kendala pada alat, yang mana sangatlah mengganggu jadwal pelaksanaan pekerjaan pengaspalan jalan, biaya, dan kualitas hasil kurang baik.

Metode

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan di atas, untuk menyelesaikan permasalahan dapat dilakukan dengan suatu metode, yang mana tujuan utamanya adalah untuk mengurangi atau meminimalkan dampak negatif dari kendala yang terjadi dan memaksimalkan peluang yang ada. Adapun metode yang dapat dilakukan meliputi:

1. Menganalisa serta membuat rencana modifikasi mesin penyemprot aspal dengan menambahkan komponen serta melakukan uji coba;
2. Memberikan pelatihan cara pengoperasian serta cara pemeliharaan mesin penyemprot aspal;
3. Membuat buku pedoman petunjuk tentang fungsi dan cara kerja komponen mesin penyemprot aspal.

Di samping yang telah disebutkan di atas, juga diperlakukan melakukan pemantauan terhadap alat berat mesin penyemprot aspal selama proses pelaksanaan pengerjaan yang dilakukan oleh *customer*, mengingatkan tentang cara pemeriksaan dan pemeliharaan apakah sudah dilakukan sesuai dengan buku pedoman atau petunjuk dari pembuat mesin penyemprot aspal, menanyakan kepada operator apakah terjadi kendala selama proses pekerjaan pengaspalan jalan.

Hasil Kerja

a. Pelaksanaan Uji Coba

Dengan menambahkan komponen pada mesin penyemprot aspal manfaatnya adalah membantu meningkatkan kinerja keseluruhan sistem dan pengontrol berfungsi dengan baik yaitu dengan menambahkan tangki pembilas berisikan minyak tanah atau solar lengkap dengan sistem kontrol dan pipa aliran bilas (Gambar 4). Adapun penambahan komponen tersebut berfungsi untuk membilas, membersihkan, mencuci aspal pada pompa, pipa saluran aliran aspal, *rubber hose*, batang penyemprot, serta *nozzle* penyemprot. Setelah dilakukan pemasangan penambahan komponen dilakukan uji coba dan hasil pelaksanaan uji coba penyemprotan (Gambar 5) tersebut komponen utama pada mesin penyemprot aspal, meliputi pompa, pipa saluran aliran aspal, *rubber hose*, batang penyemprot, dan *nozzle* tidak mengalami penyumbatan aspal, untuk proses pembilasan komponen utama harus dilakukan berulang ulang hingga benar benar bersih dan pelaksanaan pembilasan harus dilakukan setiap selesai atau berhenti pada waktu pelaksanaan pekerjaan pengaspalan jalan. Hal ini dapat mengurangi risiko atau kendala, yaitu mesin penyemprot aspal mengalami berhenti secara tiba tiba atau macet sehingga alat tidak dapat beroperasi sebagaimana mestinya yang mengakibat jadwal pelaksanaan pekerjaan pengaspalan jalan terganggu serta waktu yang tersia-siakan.

Gambar 4 Penambahan Komponen Mesin Penyemprot Aspal (Tangki Bilas, Sistem Kontrol, Pipa Saluran Bilas)

Gambar 5 Uji Coba Penyemprotan Mesin Penyemprot Aspal Distributor dan Mesin Penyemprot *Mini*

b. Persiapan Pelaksanaan

Memberikan pelatihan kepada operator memahami tahapan tahapan apa saja apa saja yang harus dilakukan operator sebelum melakukan pengopersian mesin

 ISSN 2987-677x

penyemprot aspal. Adapun pelatihan sebelum pelaksanaan pengoperasian yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah:

1. Pastikan terlebih dahulu semua komponen berfungsi dengan baik, periksa tangki penyimpanan telah terisi aspal cair sesuai dengan kebutuhan proyek, tangki bilas telah terisi solar, tangki *fuel engine diesel* telah terisi *fuel*, serta tangki pendingin *engine diesel* telah diisi air pendingin;
2. Pengaturan sistem kontrol, atur tekanan, dan aliran aspal sesuai dengan kebutuhan. Tekanan yang terlalu tinggi atau tekanan yang terlalu rendah dapat menyebabkan hasil kualitas yang kurang memuaskan serta hasil kurang merata;
3. Setelah pengaturan sistem kontrol telah siap (sebelumnya pastikan terlebih dahulu aspal benar benar cair sesuai suhu umumnya 150^{o}C-180C), mulailah menghidupkan *engine diesel*, sebelumnya pelaksanaan pekerjaan

Dalam pelaksanaan pekerjaan pemasangan lapis resap pengikat dan lapis perekat, pastikan terlebih dahulu permukaan jalan bersih dari debu, kotoran, atau sisa material yang menempel di permukaan jalan dengan menggunakan kompresor bertekanan tinggi, pengaturan kemiringan *nozzle*, ketinggian penyemprotan dengan permukaan jalan, kecepatan kendaraan, setelah itu bisa dilakukan pelaksanaan pekerjaan pelapisan aspal jalan dengan cara menyemprotkan aspal cair ke permukaan jalan dengan gerakan yang konstan dan secara merata sepanjang jalan pastikan untuk menghindari penyemprotan yang berlebihan di area tertentu yang dapat menyebabkan ketebalan lapisan aspal tidak merata, agar tidak mengganggu pekerjaan perlu dilakukan pengalihan lalu lintas. Untuk menghitung produktivitas mesin penyemprot aspal digunakan persamaan di bawah ini :

$$P = W \times S \times E \times p$$

P = Produktivitas Mesin Penyemprot Aspal
W = Lebar Penyemprotan
S = Kecepatan Gerak Truck
E = Efisiensi Kerja Mesin Penyemprot Aspal
p = Tebal Lapis Perekat

Diketahui:
Panjang Jalan (L) = 5Km = 5000 meter
Lebar Jalan = 7 meter

Data Spesifikasi Mesin Penyemprot Aspal
Lebar Penyemprotan (W) = 3 meter
Kecepatan Gerak Truk Penarik (S) = 2000m/jam
Efisiensi Kerja Mesin Penyemprot Aspal (E) = 0,83
Tebal Lapisan Perekat (p) = 0,6 liter/m2

Produktivitas Mesin Penyemprot Aspal
P = W x S x E x p
P = 3m x 2000m x 0,83 x 0,6 liter/jam
= 2988 liter/jam

Efektifitas Mesin Penyemprot Aspal dalam 1 hari (1 hari 7 Jam Kerja)
P = 2988 liter/jam x 7 jam
= 20916 liter/hari

Volume Pekerjaan
V = 5000m x 7m x 0,6 liter/m2
= 21000 liter/m2

Waktu Penyelesaian
V = 21000 liter/m2 : 20916 liter/hari
= 1 hari

Pemeriksaan mesin penyemprot aspal meliputi kondisi dan penyetelan terhadap bagian-bagian dari komponen-komponen alat penyemprot tersebut. Hal-hal yang dapat dilakukan secara umum adalah sebagai berikut

1. Periksa apakah bahan pelumas sudah terisi;
2. Periksa apakah cairan pendingin sudah terisi;
3. Periksa apakah bahan bakar sudah terisi;
4. Periksa kemampuan jalannya pompa bahan bakar yang ada dalam tangki;
5. Lakukan pemeriksaan terhadap unjuk kerja termometer apakah masih bekerja dengan baik;
6. Lakukan pemeriksaan terhadap fungsi kerja katup-katup yang ada;
7. Lakukan pemeriksaan kebersihan peralatan secara menyeluruh;
8. Periksa apakah kompor (*burner*) dapat bekerja;
9. Lakukan pemeriksaan visual secara menyeluruh.

Dalam melakukan pemeriksaan perlu dibuatkan laporan pemeriksaan (Gambar 6) mesin penyemprot aspal jalan, serta laporan rekapitulasi hasil pemeriksaan alat penyemprot aspal jalan (Direktorat Bina Teknik DitJen Bina Marga, 1997).

I. REKAPITULASI HASIL PEMERIKSAAN PERALATAN

BAGIAN / KOMPONEN PERALATAN YANG DIPERIKSA	KONDISI			
	BAIK	RUSAK		TIDAK ADA
		LENGKAP	TIDAK LENGKAP	
Engine				
Clutch/Torque Converter				
Transmission				
Drive Line				
Differential				
Final Drive				
Steering				
Brake System				
Electrical System				
Fuel System				
Cooling System				
Chassis and Body				
Tyre				
Undercarriage				
Attachment				
Hydraulic System				
Perlengkapan				
Dongkrak & Handle				
Engkol/Slinger				
Tools				

Gambar 6 Laporan Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Peralatan

Semua jenis mesin penyemprot aspal, baik itu jenis mesin penyemprot aspal *portable* maupun jenis mesin penyemprot aspal *truck* pada umumnya sama, tetapi yang harus diperhatikan pemeriksaannya adalah tiga komponen utama meliputi:

- Tangki aspal dilengkapi dengan alat pemanas aspal, umumnya pemanas aspal burner elektrik, kompresor, dan blower LPG (Gambar 7);
- Pompa aspal yang memberikan tekanan dari dalam tangki aspal sehingga aliran aspal tersemprot keluar;
- Pipa saluran aliran aspal yang dilengkapi sistem kontrol, *hose rubber*, dan batang penyemprot pada ujungnya dilengkapi *nozzle* pengatur keluarnya aspal.

Gambar 7 Burner (Elektrik, Kompresor, Blower LPG)

 ISSN 2987-677x

c. Komponen

Dengan memahami fungsi serta cara kerja komponen komponen pada mesin penyemprot aspal (Gambar 8), maka operator mampu mengidentifikasi serta mengatasi adanya kendala pada mesin penyemprot aspal, maka hal tersebut dapat mengurangi kendala risiko yang terjadi pada saat atau sebelum pelaksanaan pekerjaan pengaspalan jalan. Adapun komponen mesin penyemprot aspal jalan meliputi:

- **Tangki penyimpanan,** sebagai tangki penampungan aspal cair sebelum melakukan penyemprotan dimana tangki tersebut telah dilengkapi dengan sistem pemanas aspal (*burner* elektrik, *burner* kompresor, *burner blower* LPG) apabila suhu aspal rendah sistem pemanas bisa dihidupkan lagi.
- **Tangki bilas,** sebagai tangki isi solar atau minyak tanah berfungsi membilas, mencuci, membersihkan aspal yang menyumbat pada pompa, pipa saluran aliran aspal cair, *rubber hose*, batang penyemprot, *nozzle* penyemprot aspal.
- ***Power line*,** 1 silinder, 4 langkah, power 5,5 HP/2200 RPM *fuel* solar pendingin air bahan bakar solar sebagai mesin penggerak pompa menggunakan V-*belt* and V-*pulley*.
- **Pump,** *delivery* 55L/min *pressure* 1-3 kgf/cm2 memindahkan aspal cair dari tangki penyimpanan aspal ke saluran *pipeline*.
- ***Pipeline*,** material pipa besi tahan karat, tahan panas adalah saluran aspal dari tangki penyimpanan aspal menuju pompa kemudian menuju ke *nozzle* penyemprot aspal.
- **Sistem kontrol,** tahan temperatur 180^{o}C-200^{o}C berfungsi mengatur aliran aspal dari tangki penyimpanan aspal menuju pompa kemudian ke *nozzle*. Berfungsi juga mengatur kecepatan penyemprot aspal disesuaikan dengan kebutuhan.
- ***Rubber hose*,** tahan temperatur 180^{o}C-200^{o}C berfungsi sebagai saluran penyemprot aspal.
- ***Nozzle*,** adalah untuk penyemprotan dan mengatur aliran aspal cair ke permukaan jalan dengan tekanan yang cukup agar dapat menembus lapisan material jalan dan membentuk lapisan perekat yang kuat, merata, serta pola yang sesuai.
- **Roda penggerak,** menggunakan ukuran R12-R14, dilengkapi dengan per.

Gambar 8 Komponen Mesin Penyemprot Aspal

Untuk mendapatkan hasil pekerjaan dengan mutu yang baik dengan catatan mutu keterampilan operator haruslah yang baik pula, sebagai ukuran dapat dilihat pada waktu pelaksanaan pengaspalan, yaitu dari kekentalan aspal, kelancaran aspal, dan ketepatan penyemprotan (Gambar 9, 10, dan 11).

Gambar 9 Penyemprotan Aspal Lapis Perekat Mesin Penyemprot Aspal Truck

Gambar 10 Penyemprotan Aspal Lapis Resap Pengikat Mesin Penyemprot Aspal *Truck*

Gambar 11 Penyemprotan Aspal Lapis Perekat Mesin Penyemprot Aspal *Portable*

Kesimpulan

Mesin penyemprot aspal merupakan alat yang penting dalam proses pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan yang mendukung pencapaian pembangunan perkotaan seperti jalan. Pembangunan infrastruktur jalan yang berkualitas mendorong pertumbuhan ekonomi, mendukung mobilitas penduduk, menghubungkan berbagai daerah, mempermudah transportasi barang dan jasa, serta meningkatkan keamanan dan kenyamanan pengguna jalan. Inovasi yang sangat penting dalam konstruksi jalan.

Mesin penyemprot aspal peralatan yang sangat penting dalam konstruksi jalan dipakai pelengkap dan alat kepentingan kontraktor jalan sebagai alat bantu untuk mempermudah pekerjaan dan mengefektifkan waktu pengerjaan. Manfaat serta keunggulan mesin penyemprot aspal dalam pelaksanaan proyek pembangunan dan perawatan jalan sangatlah jelas kualitas lebih baik, efisiensi waktu dan biaya, serta mengurangi resiko kecelakaan kerja.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada orang-orang berperan penting yang membantu dalam penulisan Prosiding Seminar Praktek Keinsinyuran ini, serta ucapan terimakasih juga terutama ditujukan kepada dosen pembimbing Ir. Lusia Permata Sari Hartanti, ST., M.Eng.

Referensi

Barcha, Y. (2015). *Alat berat asphalt sprayer* [Makalah].

 ISSN 2987-677x

Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. (1997). *Buku petunjuk pemeriksaan peralatan penyemprot aspal tangan (Hand Sprayer)* (No. 034/T/BM/1997).

Gusthia, I. (2023). Apa itu asphalt sprayer [Artikel].

Hangzhou Ikom Construction Machinery Co. Ltd. (2013). *Intelligent asphalt distributor: Operation manual*. Hangzhou, China: Author. Retrieved from https://icdn.tradew.com/file/201311/1554266/pdf/6864973.pdf.

Jasa Aspal Hotmix. (2024, Januari 10). *Aspal sprayer: Alat penyemprot aspal*. https://jasaaspalhotmix.web.id

Maksum Rangkuti. (2023). *Manajemen risiko: Pengertian, ciri, tujuan, manfaat, dan prinsip*.

Menteri Pekerjaan Umum. (1981, Agustus). *Pedoman pemeliharaan peralatan* (Kepmen. PU. No. 233/KPTS/1981). Departemen Pekerjaan Umum.

PT. RAS Kontraktor Indonesia. (2023). *Aspal sprayer: Teknologi aplikasi aspal yang efisien* [Artikel].

PT Sakai Sakti. (2013). *Operation manual: Asphalt sprayer SAS-200L-STD*. Jakarta: PT Sakai Sakti General Construction Machinery.

PT. Tata Logam Nur Nusantara. *Operating and maintenance instruction of Fujita asphalt spraying machine model FAS-800 capacity 800 liters*. PT. Tata Logam Nur Nusantara.

ISSN 2987-677x

Implementasi Program Lingkungan Melalui Evaluasi Dampak Proses Produksi Kilang Minyak pada Produk Bahan Bakar Gasoline RON 90, Biosolar (B35), dan *Low Sulphur Waxy Residue* (*LSWR*) dengan Metode *Life Cycle Assessment* (*LCA*)

Dewa Indra Luqmana Budiono[1], Sheril Dribisce Azis[2], Muhammad Nashruddin Abdulloh[3], Iqbal Ramadhan[3], Suratno Lourentius[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
[2] Program Studi Magister Kesehatan Lingkungan, Universitas Airlangga
[3] Program Studi Magister Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

✉ dewaindraluqmana@gmail.com
✉ suratno.lourentius@ukwms.ac.id

Industri kilang minyak memegang peranan penting dalam mengolah bahan bakar guna mendukung pembangunan nasional, baik untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat maupun sebagai bahan baku bagi sektor industri lainnya. Proses pengolahan di kilang minyak melibatkan beberapa unit utama, antara lain *Crude Distillation Unit* (CDU), *Naphtha Hydrotreater Unit* (NHTU), dan *Catalytic Reforming Unit* (CRU). Masing-masing unit memerlukan bahan bakar, seperti *fuel oil* dan *fuel gas*. Namun, pembakaran bahan bakar ini menghasilkan polutan yang dapat mencemari lingkungan. Oleh karena itu, penting dilakukan kajian mengenai dampak lingkungan melalui pendekatan *life cycle assessment* (LCA). Metode LCA digunakan untuk menilai dampak lingkungan keseluruhan proses yang ada di perusahaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dampak lingkungan dari setiap unit produksi dalam proses pengolahan produk Gasoline RON 90, Biosolar (B35), dan *Low Sulphur Waxy Residue (LSWR)* dengan pendekatan *gate to gate*. Untuk pemilihan dampak, digunakan metode ReCiPe 2016 dan CML-IA sesuai kriteria PROPER Permen KLHK No 1 tahun 2021. Dalam analisis dampak lingkungan menunjukan terdapat 3 unit *hotspot*, yaitu unit CDU, CRU dan WWTP yang memiliki dampak tertinggi, sedangkan implementasi program yang dilakukan meliputi Program Minimize Produksi Stop Unit CDU, Program Modifikasi Material *Blade Fin Fan* CDU & CRU (Metal to Fiber), dan Program Pembuatan *Hydrocarbon Trap* pada Saluran Pembuangan Akhir, yang berkontribusi besar dalam penurunan dampak lingkungan pada proses produksi kilang minyak.

Kata kunci: implementasi program, dampak lingkungan, industri kilang minyak, *life cycle assessment*, gasoline ron 90.

Pendahuluan

Di era globalisasi yang terus berkembang saat ini, industri kilang minyak menunjukkan peningkatan yang sejalan dengan bertambahnya kebutuhan akan energi. Sektor pengolahan minyak merupakan bagian dari industri minyak yang berperan dalam mengubah minyak mentah menjadi berbagai produk bahan bakar minyak (BBM). Salah satu produk dari sektor ini, yaitu Gasoline RON 90, Biosolar (B35), dan LSWR merupakan jenis produk yang memberikan dampak signifikan terhadap berbagai aspek, termasuk lingkungan.

Kegiatan dalam industri pengolahan minyak menimbulkan berbagai dampak lingkungan, di antaranya adalah konsumsi energi yang tinggi, pemanasan global (*global warming*), dan penipisan lapisan ozon (*ozone layer depletion*), yang umumnya menjadi dampak paling signifikan. Ketiga dampak tersebut terutama disebabkan oleh proses pembakaran bahan bakar yang menghasilkan emisi dalam jumlah besar. Selain itu, penggunaan bahan kimia berbahaya secara berlebihan, seperti klorofluorokarbon (CFC), juga berkontribusi terhadap kerusakan lapisan ozon. Emisi dari pembakaran bahan bakar menjadi penyumbang utama masalah ini.

Menurut laporan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), konsentrasi CO_2 di atmosfer terus mengalami peningkatan hingga akhir abad ke-21, seiring dengan pertumbuhan sektor industri. Kenaikan kadar CO_2 ini memicu proses pengasaman (*acidification*), yang dapat mengubah komposisi kimia dan tingkat keasaman (pH) perairan (Ilhami et al., 2020).

Melihat berbagai dampak yang ditimbulkan dari proses pengolahan bahan bakar minyak, perlu dilakukan analisis lingkungan menggunakan pendekatan *life cycle assessment* (LCA). Metode ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak lingkungan yang timbul dari setiap tahapan dalam siklus hidup suatu produk, mulai dari pengambilan bahan baku, proses produksi, penggunaan oleh konsumen, hingga tahap akhir berupa pembuangan, serta kemungkinan untuk digunakan kembali (*reuse*) atau didaur ulang (*recycling*). (Bruijn et al., 2002).

Dalam penerapannya, metode *life cycle assessment* (LCA) terdiri dari empat tahapan utama, yaitu (1) penentuan tujuan dan ruang lingkup (*goal and scope definition*); (2) inventarisasi siklus hidup *life cycle inventory* (LCI); (3) penilaian dampak siklus hidup *life cycle impact assessment* (LCIA); (4) interpretasi data (*interpretation*) (Curran, 2007). Metode LCA umumnya berfokus pada penilaian emisi yang berkontribusi terhadap pemanasan global, seperti CO_2. Namun, terdapat juga parameter tambahan lainnya, seperti CH_4, N_2O, dan gas lainnya, yang turut berperan dalam perubahan iklim. Selain itu, dalam penerapan LCA sendiri juga berkontribusi erat dengan peran capaian *sustainable development goals* (SGDs) yang berkaitan dengan pilar SDGs

 ISSN 2987-677x

12 (konsumsi energi dan produksi yang bertanggung jawab), peran *life cycle assessment* (LCA) membantu mengidentifikasi dan mengurangi dampak lingkungan dari produk dan jasa, mendukung produksi, dan konsumsi berkelanjutan. Serta, SDGs 13 (upaya mengatasi perubahan iklim dan dampaknya), peran *life cycle assessment* (LCA) dapat membantu strategi mitigasi perubahan iklim dengan mengukur emisi karbon (*carbon footprint*), ini bertujuan mencakup pengurangan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh usaha atau industri

Seiring waktu hasil dampak yang dihasilkan, perlu adanya tindakan evaluasi dalam program perbaikan lingkungan yang telah diterapkan perusahaan. Hasil kajian LCA perusahaan kemudian dapat diketahui program perbaikan lingkungan tersebut apakah telah berhasil menurunkan dampak lingkungan yang terjadi atau tidak. Sehingga diketahui program tersebut dapat menurunkan *hotspot* pada unit proses produksi perusahaan, dan berhasil menurunkan dampak lingkungan secara efisien, sehingga sejalan dengan upaya keberlanjutan dan memenuhi peran capaian *sustainable development goals* (SGDs).

Penelitian ini memiliki fokus utama untuk menilai dampak terhadap lingkungan secara kuantitatif terhadap proses produksi menggunakan metode penilaian daur hidup (LCA). Berikut ini merupakan tujuan dari penelitian sebagai berikut:

1. Menentukan dampak lingkungan yang paling dominan atau *hotspot* pada serangkaian unit proses produksi produk Gasoline RON 90, Biosolar B35, dan LSWR.
2. Menganalisis evaluasi dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi produk Gasoline RON 90, Biosolar B35, dan LSWR pada tahun 2022 dengan tahun 2024

Ruang lingkup yang menjadi sebuah batasan penelitian ini, yaitu:

1. Lingkup sistem proses produksi bahan bakar Gasoline RON 90, Biosolar B35, dan LSWR adalah *gate to gate* yang mana hanya dalam lingkup produksi bahan bakar Gasoline RON 90, Biosolar B35, dan LSWR perusahaan saja, tidak melingkupi proses eksplorasi *crude oil* pada hulu, kajian ini sebagai lanjutan kajian dari proses migas eksplorasi *crude oil*.
2. *Functional unit* atau unit fungsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah per 1 ton bahan bakar Gasoline RON 90, Biosolar B35, dan LSWR.
3. Penelitian yang dilakukan ini menggunakan *software* SimaPro untuk kajian *Life Cycle Assessment* dengan kajian dampak menggunakan metode ReCiPe 2016 Midpoint dan CML-IA.
4. Penentuan program penurunan dampak lingkungan berdasarkan dalam studi literatur, analisis diskusi, dan saran dari pihak terkait.

Metode

Tahapan Kajian Dampak Lingkungan dengan *Life Cycle Assessment* (LCA)

a. *Goals and Scope Definition*
Tahapan pertama, yaitu pendefinisian *goals and scope.* Pada tahap ini terdapat 2 bagian, yaitu *goal* dan *scope*. *Goal* adalah pembuatan pernyataan terkait tujuan yang Ingin dicapai dan kepada siapa hasil LCA akan di komunikasikan. *Scope* adalah penentuan hal-hal yang perlu didetailkan dalam penelitian, yaitu:
   1. *Functional unit*, merupakan satuan produk yang akan digunakan.
   2. *Product system*, merupakan alur proses produksi pengolahan produk Gasoline RON 90, Biosolar B35, dan LSWR.
   3. *System boundaries*, merupakan ruang lingkup proses penelitian yaitu *gate to gate* mulai dari proses produksi Gasoline RON 90, Biosolar B35, dan LSWR.

b. *Life Cycle Inventory* (LCI)
Tahap kedua, yaitu LCI, dimana pada tahan ini langkah-langkah yang dilakukan yaitu:
   1. Pengumpulan data yang mencakup data semua aliran *input* dan *output* dari proses dalam sistem produk (yaitu *product flows, flow ke proses* unit lain, dan *elementary flow* dari dan ke lingkungan).
   2. Validasi data mencakup neraca massa dan penilaian kualitas data.
   3. Menghubungkan data ke unit proses dan unit fungsi terhadap produk Gasoline RON 90, Biosolar B35, dan LSWR, berupa diagram alir.

c. *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA)
Tahapan ketiga, yaitu LCIA dimana pada tahap ini langkah-langkah yang dilakukan yaitu:
   1. Pemilihan kategori dampak, indikator kategori, dan model karakterisasi, dimana metode yang digunakan, yaitu metode ReCiPe 2016 Midpoint dan CML-IA yang diintegrasikan dengan kriteria PROPER pada Permen KLHK No 1 tahun 2021.
   2. Klasifikasi, dimana data *input* dan *output* yang merupakan *elementary flow* pada tahapan LCI kemudian diklasifikasi berdasarkan kategori dampak pada ReCiPe 2016 Midpoint dan CML-IA kriteria PROPER pada Permen KLHK No 1 tahun 2021. Klasifikasi dapat digambarkan dengan diagram alir.
   3. Karakterisasi, dimana semua *elementary flow* dari LCI dinilai menurut faktor kontribusinya pada suatu dampak dengan dikalikan dengan *characterization* faktor sesuai metode LCIA menggunakan model karakterisasi ReCiPe 2016 Midpoint dan CML-IA.

d. Interpretasi data
Tahap terakhir, yaitu intepretasi data dimana dilakukan analisa untuk mengkaji, menarik kesimpulan, dan rekomendasi yang dapat diaplikasikan. Tujuan tahapan interpretasi data ini untuk mengetahui titik *hotspot* atau titik dengan dampak terbesar dari serangkaian proses suatu industri. *Hotspot* proses merupakan titik dengan dampak terbesar dari suatu sistem proses. Dampak terbesar ditentukan berdasarkan hasil penilaian dampak *life cycle impact assessment.*

Analisis Evaluasi Dampak Program Lingkungan

Identifikasi potensi dampak lingkungan dengan LCA seluruh program efisiensi dan perbaikan lingkungan yang telah dilakukan oleh perusahaan belum terukur nilai keberhasilannya dari sisi dampak lingkungan, sehingga diperlukan suatu perhitungan nilai dampak untuk dapat mengetahui pengaruh penerapan suatu program perbaikan bagi perusahaan. Metode analisis yang dapat dilakukan untuk menghitung nilai dampak lingkungan adalah *life cycle assessment* (LCA).

 ISSN 2987-677x

Kesimpulan dan Saran

Tahapan terakhir yang dilakukan yaitu, proses penarikan kesimpulan dan saran, ini dilakukan setelah selesai analisis data dan pembahasan. Kesimpulan ini yang menyatakan ringkasan dan harus menjawab dari rumusan masalah penelitian yang dilakukan. Besaran nilai dampak yang dihasilkan menjadi sebuah landasan dalam indentifikasi program dampak. Selanjutnya, saran diberikan untuk perbaikan penelitian dan pelaksanaan penelitian kedepannya. Saran yang diberikan merupakan bentuk rekomendasi untuk menyempurnaan penelitian kedepannya.

Hasil Kerja

Goal and Scope Definition

Sebagai tahap pertama dalam analisis kajian LCA untuk menjelaskan terkait tujuan dan ruang lingkup batasan kajian penelitian yang akan dilakukan. Adapun *goal and scope definition* dari kajian LCA ini, yaitu:

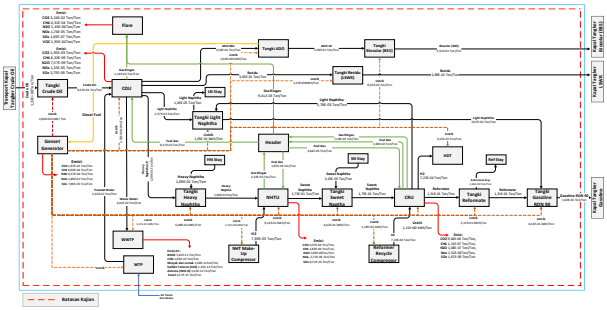
1. *Goal*

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa program penurunan dampak berdasarkan analisis kajian LCA kegiatan proses produksi Gasoline RON 90, Biosolar B35, dan LSWR. Analisis dilakukan dengan melihat keseluruhan *input* dan *output* masing-masing unit kegiatan yang memberikan kontribusi dampak lingkungan paling besar.

2. *Scope*

Ruang lingkup pada kajian *life cycle assessment* yang dilakukan yaitu *gate to gate* dimulai dari penerimaan bahan baku *crude oil*, dan proses pengolahan minyak menjadi produk Gasoline RON 90, Biosolar B35, dan LSWR dalam lingkup perusahaan. *Functional unit* yang digunakan yaitu per 1 ton produk, selama satu tahun pada tahun 2022 dan tahun 2024.

Data yang digunakan meliputi material, produk, penggunaan bahan kimia, penggunaan energi, penggunaan lahan, dan emisi yang dihasilkan berdasarkan data aktual perusahaan yang telah dilakukan. *System boundary* pada proses produksi Gasoline RON 90, Biosolar B35, dan LSWR. Batasan kajian *life cycle assessment* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Batasan Kajian dan Neraca Massa Proses Pengolahan Kilang Minyak

***Life Cycle Inventory* (LCI)**

LCI merupakan salah satu tahap dalam *life cycle assessment* (LCA) yang mencakup pengumpulan dan penghitungan secara kuantitatif terhadap data *input* dan *output* dari suatu produk selama siklus hidupnya. Pelaksanaan LCI ini mengacu pada tujuan dan ruang lingkup (*goal and scope*) yang telah ditetapkan sebelumnya. Tahapan dalam LCI meliputi hal-hal berikut:

Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari perusahaan produksi pengolahan minyak. Pengumpulan data yang mencakup spesifikasi semua aliran *input* dan *output* dari proses dalam sistem. Data yang dikumpulkan dan terverifikasi kemudian dilakukan valdiasi data dengan neraca massa dan penilaiaan kualitas data yaitu:

- Neraca Massa
  Neraca massa pada setiap unit proses mengikuti hukum kekekalan massa. Nilai pada neraca massa berdasarkan pada kesetimbangan massa material dan produk pada *input* dan *output* masing-masing unit proses di pengolahan kilang minyak. Data yang digunakan merupakan data 1 tahun pada tahun 2024, neraca massa dapat dilihat pada Gambar 1.

Inventori data merupakan data *input* dan *output* setiap unit proses pada masing-masing produk utama yaitu Gasoline RON 90, Biosolar B35, dan LSWR. Pembagian setiap unit proses untuk masing-masing produk utama berdasarkan pada penentuan alokasi. Setelah pembagian pembagian setiap unit proses untuk masing-masing produk utama, data kemudian dilakukan normalisasi dengan total produk dari Gasoline RON 90, Biosolar B35, dan LSWR.

Tabel 1 Inventori Data Proses Produksi Kilang Minyak

Inventory Data	Jumlah 1 Periode		Satuan	Jumlah Per Unit Fungsi		Satuan
	2022	2024		2022	2024	
Input						
Bahan Baku						
Crude oil	99.710	243.421	ton	8,95E-01	9,22E-01	ton/ton
Bahan Kimia						
Flokulan	0,0279	0,03197	ton	2,50E-07	1,21E-07	ton/ton
Sodium Hypochloride	0,001	0,002	ton	8,97E-09	7,57E-09	ton/ton
Sodium Metab isulphate	0,001	0,002	ton	8,97E-09	7,57E-09	ton/ton
Anti Scalant	0,005	0,006	ton	4,49E-08	2,27E-08	ton/ton
Tawas	0,793	0,823	ton	7,11E-06	3,12E-06	ton/ton
Bahan Bakar						
Solar	1.996	1.837	ton	1,79E-02	6,96E-03	ton/ton
Fuel Gas	2.978	3.635	ton	2,67E-02	1,38E-02	ton/ton
Listrik						
Listrik	8.158.848	19.918.112	kWh	7,32E+01	7,54E+01	kWh/ton
Penggunaan Air						
Air Tanah dan Air Danau	86.176	98.756	m^3	7,73E-01	3,74E-01	m^3/ton
Penggunaan Lahan						
Penggunaan lahan Kilang	820.601,92	820.601,92	m^2a	7,36E+00	3,11E+00	m^2a/ton
Output						
Produk						
Gasoline RON 90	57.174	42.216	ton	5,13E-01	1,60E-01	ton/ton
Biosolar (B35)	16.952	145.632	ton	1,52E-01	5,51E-01	ton/ton
LSWR (residu)	37.333	76.221	ton	3,35E-01	2,89E-01	ton/ton
Emisi ke Udara						
CO_2	15.668,64	17.267,52	ton	1,41E-01	6,54E-02	ton/ton
CH_4	258,13	290,26	ton	2,32E-03	1,10E-03	ton/ton
N_2O	153,82	168,97	ton	1,38E-03	6,40E-04	ton/ton
NOx	4.259,77	5.107,30	ton	3,82E-02	1,93E-02	ton/ton
SOx	19,1505	21,1	ton	1,72E-04	7,99E-05	ton/ton
VOC	44,71	51,4165	ton	4,01E-04	1,95E-04	ton/ton
Emisi ke Air						
BOD5	0,000082	1,43E-05	ton	7,36E-10	5,42E-11	ton/ton
COD	0,000194	5,011E-05	ton	1,74E-09	1,90E-10	ton/ton
Minyak & Lemak	0,0000559	4,436E-06	ton	5,02E-10	1,68E-11	ton/ton
H_2S	0,00000004	3E-09	ton	3,59E-13	1,14E-14	ton/ton
NH_3-N	0,0000342	2,68E-07	ton	3,07E-10	1,01E-12	ton/ton
Fenol	0,00000002	1E-09	ton	1,79E-13	3,79E-15	ton/ton

***Life Cycle Impact Assessment* (LCIA)**

Tahapan LCIA dalam LCA ini dimaksudkan untuk memahami dan mengevaluasi besaran dan pentingnya dampak lingkungan potensial dari suatu *product system* suatu produk. Tujuan tahapan LCIA untuk membuat hasil dari analisis LCI yang lebih mudah dipahami dan dikelola

 ISSN 2987-677x

yang berkaitan dengan kesehatan manusia, ketersediaan sumber daya, dan lingkungan. Kategori dampak, indikator, dan model karakterisasi yang dipilih yaitu ReCiPe 2016 Midpoint dan CML-IA sesuai dengan kriteria PROPER Permen KLHK No 1 tahun 2021:

a. Klasifikasi

Berdasarkan inventori data proses produksi bahan bakar dilakukan klasifikasi terhadap dampak sesuai dengan metode ReCiPe 2016 Midpoint dan CML-IA. Data penggunaan bahan bakar (*fuel gas* & *fuel diesel*) dan pembakaran gas di *flare* menghasilkan emisi ke udara berupa CO_2, CH_4, N_2O, NOx, dan SOx tergolong dalam kategori dampak *midpoint* yaitu *Global Warming Potential*, Potensi Penipisan Ozon, Potensi Hujan Asam, Potensi Eutrofikasi, *Photochemical Oxidation*, *Terrestrial Ecotoxicity, Freshwater Ecotoxicity, Marine Ecotoxicity, Toxicity, Water Footprint*, dan *Land Use Change*.

b. Karakterisasi

Data di LCI proses produksi pengolahan bahan bakar akan dinilai menurut faktor karakterisasinya pada suatu kategori dampak. Seluruh data *elementary flow* di LCI diklasifikasikan dalam kategori dampak tertentu yang kemudian dikalikan dengan *characterization factor* dan dijumlahkan semua intervensi yang relevan menghasilkan skor dampak dalam kategori dampak tertentu.

Tabel 2 Karakterisasi Dampak Proses Produksi Kilang Minyak Tahun 2024

No	Kategori Dampak	Satuan	Jumlah
Dampak Primer			
1	*Global Warming Potential*	kg CO_2 eq/ton	2,47E+02
2	Potensi Penipisan Ozon	kg CFC_{11} eq/ton	7,03E-03
3	Potensi Hujan Asam	kg SO_2 eq/ton	7,06E+00
4	Potensi Eutrofikasi	kg PO_4--- eq/ton	2,68E+00
Dampak Sekunder			
5	*Photochemical Oxidation*	kg C_2H_4 eq/ton	7,83E-03
6	**Potensi terjadi penurunan biotik, terdiri dari:**		
	a. Terrestrial Ecotoxicity	kg 1,4-DCB/ton	4,09E-13
	b. Freshwater Ecotoxicity	kg 1,4-DCB/ton	4,04E-12
	c. Marine Ecotoxicity	kg 1,4-DCB/ton	9,87E-14
7	*Toxicity*	kg 1,4-DB eq/ton	2,32E+01
8	*Water Footprint*	m^3/ton	3,74E-01
9	*Land Use Change*	m^2a crop eq/ton	2,27E+00

Interpretasi Data

Interpretasi data pada kajian LCA dilakukan dengan menghubungkan antara hasil dampak yang muncul dengan *life cycle inventory* dan juga *goal and scope*. Tujuan dari interpretasi ini untuk mengidentifikasi tahap LCA yang dapat mengurangi *environmental impact* pada sistem atau produk dan menganalisis hal tidak pasti yang terlibat. Tahapan interpretasi yaitu analisis *hostpot*, evaluasi data, dan kesimpulan, keterbatasan, & rekomendasi yang dijabarkan sebagai berikut:

a. Analisis *Hotspot*

Analisis *hostpot* adalah analisis suatu sistem produksi maupun unit proses yang memiliki kontribusi yang signifikan terhadap dampak lingkungan. *Hostpot analysis* bermanfaat untuk mengidentifikasi lokasi diprioritaskan untuk dilakukan tindakan untuk perbaikan lingkungan. Analisis *hotspot* ini dilihat berdasarkan presentase terbesar dari karakterisasi produksi kilang minyak. Presentase proses produksi dapat dilihat pada Tabel 3, dibawah ini:

Tabel 3 Karakterisasi Dampak Proses Produksi Kilang Minyak Tahun 2024

No	Kategori Dampak	(CDU)	(NHTU)	(CRU)	WWTP	WTP
Dampak Primer						
1	*Global Warming Potential*	**49,10%**	12,78%	25,23%	0%	0%
2	Potensi Penipisan Ozon	4,27%	1,07%	**94,67%**	0%	0%
3	Potensi Hujan Asam	7,47%	1,63%	**90,90%**	0%	0%
4	Potensi Eutrofikasi	7,45%	1,63%	**90,92%**	0,00021%	0%
Dampak Sekunder						
5	Photochemical Oxidation	9,47%	2,19%	31,29%	31,29%	0%
6	Potensi terjadi penurunan biotik, terdiri dari:					
	a. Terrestrial Ecotoxicity	0%	0%	0%	**100%**	0%
	b. Freshwater Ecotoxicity	0%	0%	0%	**100%**	0%
	c. Marine Ecotoxicity	0%	0%	0%	**100%**	0%
7	Karsinogenik	0%	0%	0%	0%	0%
8	Toxicity	7,46%	1,63%	**90,91%**	0%	0%
9	*Water Footprint*	0%	0%	0%	0%	100%
10	*Land Use Change*	4,76%	3,43%	8,25%	14,87%	2,19%

*unit inti proses produksi yang memiliki kombinasi dampak

Dari hasil tabel di atas dapat disimpulkan jika dalam serangkaian unit proses produksi memiliki dampak dominan yang di dapatkan 3 unit proses sebagai *Hotspot* yaitu unit Proses CDU, CRU dan WWTP, yang mana unit CDU memiliki dampak tinggi pada *Global Warming Potential*, dan CRU memiliki dampak tinggi pada kategori dampak Potensi Penipisan Ozon, Potensi Hujan Asam, Potensi Eutrofikasi, dan *Photochemical Oxidation*, serta pada unit WWTP memiliki dampak tertinggi pada kategori dampak *Terrestrial Ecotoxicity, Freshwater Ecotoxicity, dan Marine Ecotoxicity*

Analisis Evaluasi Dampak Program Lingkungan

Identifikasi potensi dampak lingkungan dengan LCA seluruh program efisiensi dan perbaikan lingkungan yang telah dilakukan oleh perusahaan, analisis dengan membandingakan dampak program pada tahun 2022 dan 2024.

Tabel 4 Karakterisasi Dampak Proses Produksi Kilang Minyak Tahun 2022 dan 2024

No	Kategori Dampak	Satuan	Jumlah 2022	Jumlah 2024	Selisih
Dampak Primer					
1	*Global Warming Potential*	kg CO_2 eq/ton	5,31E+02	2,47E+02	2,84E+02
2	Potensi Penipisan Ozon	kg CFC_{11} eq/ton	1,52E-02	7,03E-03	8,13E-03
3	Potensi Hujan Asam	kg SO_2 eq/ton	1,39E+01	7,06E+00	6,85E+00
4	Potensi Eutrofikasi	kg PO_4--- eq/ton	5,34E+00	2,68E+00	2,65E+00
Dampak Sekunder					
5	*Photochemical Oxidation*	kg C_2H_4 eq/ton	8,28E-03	7,83E-03	4,46E-04
6	**Potensi terjadi penurunan biotik, terdiri dari:**				
	a. Terrestrial Ecotoxicity	kg 1,4-DCB/ton	1,76E-11	4,09E-13	1,72E-11
	b. Freshwater Ecotoxicity	kg 1,4-DCB/ton	1,74E-10	4,04E-12	1,70E-10
	c. Marine Ecotoxicity	kg 1,4-DCB/ton	4,25E-12	9,87E-14	4,15E-12
7	*Toxicity*	kg 1,4-DB eq/ton	4,58E+01	2,32E+01	2,26E+01
8	*Water Footprint*	m^3/ton	7,73E-01	3,74E-01	3,99E-01
9	*Land Use Change*	m^2a crop eq/ton	5,37E+00	2,27E+00	3,11E+00

Dalam keberhasilan dari sebuah penurunan dampak lingkungan, terdapat program yang berpengaruh yang signifikan dalam penerapan penuruan dampak dari proses produksi kilang minyak menurut *Hotspot* dari unit 3 unit dominan CDU, CRU, dan WWTP, yaitu pada program sebagai berikut:

1. Program *Minimize* Produksi Stop Unit CDU dilakukan dengan mengurangi *slop* yang harus diolah kembali, sehingga tidak menambah beban energi *furnace. Slop* merupakan produk *off spec* hasil dari pengolahan di kilang, di mana *slop* tersebut akan ditampung sementara sebelum nanti akan diolah kembali bersama dengan *fresh feed (fresh crude).* Program menurunkan potensi *global warming potential* sebesar 1,13E+00 kg CO_2 eq/ton atau setara 53,56% serta dapat memberikan dampak positif terhadap penurunan potensi hujan asam sebesar 2,87E-04 kg SO_2 eq/ton atau setara 49,36%, penurunan dampak potensi eutrofikasi sebesar 1,04E-04 kg PO4 eq/ton atau setara 49,32%, penurunan dampak *toxicity* sebesar 9,56E-04 kg 1,4-DCB/ton atau setara 49,35%.
2. Program Modifikasi *Material Blade Fin Fan* CDU & CRU (*Metal to Fiber*). merupakan modifikasi *blade fin fan* dari sebelumnya berbahan metal menjadi fiber, sehingga

 ISSN 2987-677x

menurunkan konsumsi listrik fin fan karena material fiber yang lebih ringan. Program ini memberikan dampak positif terhadap penurunan dampak potensi *global warming potential* sebesar 1,44 kg CO2 eq/ton atau setara dengan 57,54%. Serta dapat memberi dampak positif terhadap penurunan potensi hujan asam sebesar 5,28E-02 kg SO_2 eq/ton atau setara 49,35%, penurunan dampak potensi eutrofikasi sebesar 1,97E-02 kg PO4 eq/ton atau setara 50,09%, penurunan dampak *toxicity* sebesar 1,76E-01 kg 1,4-DCB/ton atau setara 49,35%.

3. Program Pembuatan *Hydrocarbon Trap* Pada Saluran Pembuangan Akhir menerapkan saluran pembuangan akhir untuk memisahkan minyak dari air sehingga air limbah yang dibuang memenuhi baku mutu. Program tersebut menurunkan dampak eutrofikasi sebesar 6,18E-10 m3/ton atau setara 96,89%, penurunan dampak *terrestrial ecotoxicity* sebesar 7,53E-14 m3/ton atau setara 97,68%, penurunan dampak *freshwater ecotoxicity* sebesar 7,43E-13 m3/ton atau setara 97,68%, penurunan dampak *marine ecotoxicity* sebesar 1,82E-14 m^3/ton atau setara 97,68%.

Kesimpulan

Kesimpulan analisis kajian *life cycle assessment* (LCA) pada produksi Gasoline RON 90, Biosolar B35, dan LSWR, yaitu:

1. Pada proses produksi 1 ton bahan bakar Gasoline RON 90, Biosolar B35, dan LSWR pada tahun 2024 menghasilkan beberapa kategori dampak lingkungan dominan dari 3 unit proses sebagai *hotspot*, yaitu CDU, CRU, dan WWTP. *Global Warming Potential* sebesar 2,47E+02 kg CO_2 eq/ton, dengan kontribusi dampak unit CDU sebesar 49,10%. Potensi penipisan ozon sebesar 7,03E-03 kg CFC_{11} eq/ton, dengan kontribusi dampak unit CRU sebesar 94,67%. Potensi hujan asam sebesar 7,06E+00 SO_2 eq/ton, dengan kontribusi dampak unit CRU sebesar 90,90%. Potensi eutrofikasi sebesar 2,68E+00 kg PO4--- eq/ton, dengan kontribusi dampak unit CRU sebesar 90,92%. *Toxicity* sebesar 2,32E+01 kg 1,4-DB eq/ton, dengan kontribusi dampak unit CRU sebesar 90,91%. *Terrestrial ecotoxicity* sebesar 4,09E-13 kg 1,4-DCB/ton, dengan kontribusi dampak unit WWTP sebesar 100%. *Freshwater Ecotoxicity* sebesar 4,04E-12 kg 1,4-DCB/ton, dengan kontribusi dampak unit WWTP sebesar 100%. Serta, *Marine Ecotoxicity* sebesar 9,87E-14 kg 1,4-DCB/ton, dengan kontribusi dampak WWTP sebesar 100%.
2. Analisis evaluasi dampak antara tahun 2022 hingga 2024 dari program lingkungan yang dilakukan perusahaan telah berjalan dengan baik terbukti:
   a. Program minimize produksi stop unit CDU berhasil menurunkan potensi *global warming potential* sebesar 1,13E+00 kg CO2 eq/ton (53,56%), penurunan potensi hujan asam sebesar 2,87E-04 kg SO2 eq/ton (49,36%), penurunan dampak potensi eutrofikasi sebesar 1,04E-04 kg PO4 eq/ton a (49,32%), penurunan dampak *toxicity* sebesar 9,56E-04 kg 1,4-DCB/ton (49,35%).
   b. Program modifikasi *material blade fin fan* CDU & CRU (*metal to fiber*) berhasil menurunkan *global warming potential* sebesar 1,44 kg CO2 eq/ton atau setara dengan 57,54%. Potensi hujan asam sebesar 5,28E-02 kg SO2 eq/ton atau setara 49,35%, penurunan dampak potensi eutrofikasi sebesar 1,97E-02 kg PO4 eq/ton atau setara 50,09%, penurunan dampak *toxicity* sebesar 1,76E-01 kg 1,4-DCB/ton atau setara 49,35%.
   c. Program pembuatan *hydrocarbon trap* pada saluran pembuangan akhir berhasil menurunkan dampak eutrofikasi sebesar 6,18E-10 m3/ton atau setara 96,89%, penurunan dampak *terrestrial ecotoxicity* sebesar 7,53E-14 m^3/ton atau setara 97,68%, penurunan dampak *freshwater ecotoxicity* sebesar 7,43E-13 m3/ton atau setara 97,68%, penurunan dampak *marine ecotoxicity* sebesar 1,82E-14 m^3/ton atau setara 97,68%.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih ditujukan kepada orang-orang berperan penting yang membantu dalam proyek penulis. Ucapan terimakasih juga dapat ditujukan kepada keluarga dan sahabat penulis.

Referensi

Acero, A. P., Rodríguez, C., & Ciroth, A. (2015). *LCIA methods: Impact assessment methods in life cycle assessment and their impact categories*. GreenDelta.

Bayer, C., Gambel, M., Gentry, R., & Joshi, S. (2010). *AIA guide to building life cycle assessment in practice*. The American Institute of Architects.

Bernstein, L., et al. (2007). *Summary for policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report.

Bruijn, H. D., Duin, V. R., & Huijbregts, M. A. J. (2002). *Handbook on life cycle assessment: Operational guide to the ISO standards*. Kluwer Academic Publishers.

Chan, W. N., Walter, A., Sugiyama, M. I., & Borges, G. C. (2015). *Assessment of CO_2 emission mitigation for a Brazilian oil refinery*. Universidade Estadual de Campinas.

Eswara, A. K., Misra, S., & Ramesh, U. (2013). Introduction to natural gas: A comparative study of its storage, fuel costs and emissions for a harbor tug. *Proceedings of the SNAME Maritime Convention (SMC)*, 2013-T22. https://doi.org/10.5957/SMC-2013-T22.

Goedkoop, M., Oele, M., Leijting, J., Ponsioen, T., & Meijer, T. (2016). *Introduction to LCA with SimaPro*. PRé Sustainability.

Menoufi, K. A. I. (2011). *Life cycle analysis and life cycle impact assessment methodologies: A state of the art* [Tesis doktoral, Universitat de Lleida]. http://hdl.handle.net/10803/8168.

PRé Consultants. (2014). *All about SimaPro 8*. PRé Sustainability.

Sonnemann, G., Tsang, M., & Schuhmacher, M. (2019). *Integrated life-cycle and risk assessment for industrial processes and products* (2nd ed.). CRC Press.

Standar Nasional Indonesia. (2016). *SNI ISO 14040: Manajemen lingkungan – Penilaian daur hidup – Prinsip dan kerangka kerja*. Badan Standardisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia. (2017). *SNI ISO 14044: Manajemen lingkungan – Penilaian daur hidup – Persyaratan dan panduan*. Badan Standardisasi Nasional.

Zadakbar, O., Vatani, A., & Karimpour, K. (2008). Flare gas recovery in oil and gas refineries. University of Tehran.

ISSN 2987-677x

Evaluasi Kinerja SPALDT Kabupaten Lamongan

Iqbal Ramadhan[1,2] Vinisalasi Ramadhanty[2,] Dewa Indra Luqmana[1 3] Suratno Lourentius[1] Yuni Rokhmawati[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[2] CV. Karya Ramadhan Berkah, Lamongan

[3] Program Studi Magister Manajemen, Universitas Ciputra Surabaya

✉iqbaaalramadhan9898@gmail.com

✉suratno.lourentius@ukwms.ac.id

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALDT) Kabupaten Lamongan yang menggunakan teknologi *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dan dampak lingkungan dari proses konstruksinya, termasuk emisi gas rumah kaca (GRK). Evaluasi kinerja sistem ABR dilakukan dengan mengukur parameter pencemaran seperti BOD, COD, TSS, pH, minyak dan lemak, amoniak, serta total coliform di *inlet* dan *outlet*. Hasil menunjukkan bahwa ABR efektif dalam menurunkan BOD hingga 93%, COD 90%, dan TSS 70%, meskipun total *coliform* di *outlet* masih melebihi batas baku mutu. Di sisi lain, analisis emisi gas rumah kaca selama konstruksi sistem ABR menunjukkan total emisi sebesar 13.948 kg CO_2, dengan kontribusi terbesar berasal dari penggunaan semen Portland. Rekomendasi untuk mengurangi emisi termasuk substitusi material dengan semen pozolan (30%), penggunaan besi daur ulang (50%), serta penggantian alat berbahan bakar diesel dengan alat listrik. Langkah-langkah ini diperkirakan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 32%, mendukung efisiensi sistem pengolahan air limbah, dan meminimalkan dampak lingkungan.

Kata kunci: limbah domestik, *anaerobic baffled reactor*, emisi gas rumah kaca, instalasi pengolahan air limbah.

Pendahuluan

Pengelolaan air limbah merupakan salah satu aspek krusial dalam menjaga kesehatan lingkungan dan masyarakat. Di Kabupaten Lamongan, pengelolaan air limbah domestik dilakukan dengan menggunakan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALDT), yang bertujuan untuk mengurangi dampak negatif dari pembuangan limbah rumah tangga ke badan air (Crites & Tchobanoglous, 1998). Salah satu teknologi yang digunakan dalam SPALDT Kabupaten Lamongan adalah *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR), sebuah sistem pengolahan limbah yang efektif dalam menangani limbah cair dengan karakteristik organik tinggi. Teknologi ABR memiliki keuntungan dalam hal efisiensi ruang dan pengolahan limbah yang lebih ramah lingkungan, karena proses pengolahan berlangsung dalam kondisi anaerobik (tanpa oksigen), yang dapat mengurangi potensi pencemaran lebih lanjut (Van Lier, 2008).

Namun, meskipun teknologi ABR ini telah terbukti efektif, evaluasi kinerja sistem secara berkala sangat penting untuk memastikan bahwa sistem tetap berjalan sesuai dengan tujuan awalnya, yaitu untuk menjaga kualitas air dan mengurangi pencemaran (EPA, 1991). Evaluasi kinerja SPALDT Kabupaten Lamongan bertujuan untuk menilai sejauh mana sistem tersebut mampu mengolah air limbah secara optimal, serta mengidentifikasi potensi perbaikan atau penyesuaian yang diperlukan untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan pengelolaan air limbah di daerah tersebut (SNI 03-2398-2002).

Pencapaian *sustainable development goals* (SDGs), khususnya tujuan 6 yaitu air bersih dan sanitasi yang layak, serta tujuan 12 yaitu konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab, sangat bergantung pada kemampuan sistem pengolahan air limbah untuk mengurangi dampak lingkungan dan memenuhi kebutuhan sanitasi yang baik. Dalam konteks ini, pengelolaan air limbah yang efektif melalui teknologi seperti ABR mendukung pencapaian SDGs dengan meningkatkan akses masyarakat terhadap sanitasi yang layak, mengurangi polusi, dan melindungi sumber daya air (United Nations, 2020).

Melalui penelitian ini, evaluasi kinerja SPALDT dengan menggunakan teknologi ABR bertujuan untuk menilai sejauh mana sistem ini dapat memenuhi standar pengelolaan air limbah yang ramah lingkungan dan mendukung pencapaian SDGs, khususnya dalam konteks pengurangan dampak pencemaran air dan peningkatan kualitas hidup masyarakat. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berfokus pada efisiensi sistem ABR dalam mengolah limbah domestik, tetapi juga berkontribusi pada upaya global untuk mencapai pembangunan yang berkelanjutan.

Metode

Desain Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALDT) Kabupaten Lamongan dengan menggunakan teknologi *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR). Pengukuran dilakukan di *inlet* dan *outlet*, evaluasi kinerja, serta evaluasi dampak emisi saat kontruksi.

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada SPALDT di Kabupaten Lamongan, yang menggunakan sistem ABR untuk pengolahan air limbah domestik.

Parameter yang Diuji

Parameter yang diuji adalah BOD, COD, TSS, pH, minyak dan lemak, amoniak, serta total *coliform*. Semua pengujian dilakukan sesuai dengan ketentuan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016.

Hasil Kerja

Removal Efisiensi IPAL ABR

ISSN 2987-677x

Berikut adalah hasil uji kualitas air limbah domestik, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 1 dan 2.

Tabel 2 Hasil Bak *Inlet*

No	Paramater	Satuan	Hasil Uji	Kadar Maksimum
1	pH		6,15	6 -9
2	BOD	Mg/l	13,6	30
3	COD	Mg/l	46,2	100
4	TSS	Mg/l	8,56	30
5	Minyak dan Lemak	Mg/l	0,31	5
6	Amoniak	Mg/l	3,46	10
7	Total Coliform	Jumlah/100 ml	> 16000	3000

Tabel 3 Hasil Bak *Outlet*

No	Paramater	Satuan	Hasil Uji	Kadar Maksimum
1	pH		7,16	6 -9
2	BOD	Mg/l	< 1	30
3	COD	Mg/l	3,84	100
4	TSS	Mg/l	< 2,5	30
5	Minyak dan Lemak	Mg/l	0,5	5
6	Amoniak	Mg/l	1,39	10
7	Total *Coliform*	Jumlah/100 ml	> 16000	3000

Tabel 3 Hasil Bak *Inlet* dan *Outlet*

Paramater	*Inlet*	*Outlet*	Reduksi
pH	6,15	7,16	> 93%
BOD	13,6	< 1	> 90%
COD	46,2	3,84	> 70%
TSS	8,56	< 2,5	60%
Minyak dan Lemak	0,31	0,5	+ 60%
Amoniak	3,46	1,39	40%
Total *Coliform*	> 16000	> 16000	0

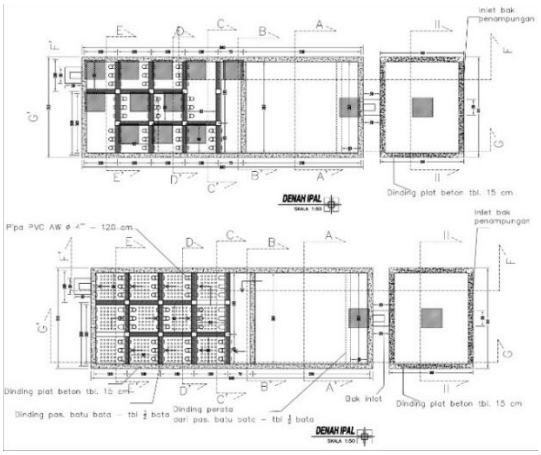
Nilai pH *outlet* adalah 7,16, yang berada dalam kisaran yang diizinkan (6-9). Tidak ada perubahan besar dalam pH selama pengolahan di ABR, yang menunjukkan bahwa sistem ABR dapat mempertahankan kondisi pH yang stabil dan cocok untuk mikroorganisme anaerobik (Sharma et al., 2021). Hasil BOD <1 mg/L di *outlet* menunjukkan penurunan yang sangat baik (>93%) dari hasil pada *inlet* (13,6 mg/L). Ini menunjukkan bahwa sistem ABR sangat efektif dalam mengurangi bahan organik yang mempengaruhi kebutuhan oksigen biokimiawi. Hasil ini sangat baik karena air limbah yang dihasilkan hampir bebas dari bahan organik yang dapat merusak kualitas air (Yousefi, 2024).

COD *outlet* 3,84 mg/L menunjukkan pengurangan yang signifikan (>90%) dibandingkan dengan hasil *inlet* (46,2 mg/L). ABR berfungsi dengan baik dalam mengurangi jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik, bahkan di penelitian (Yousefi, 2024) . TSS *outlet* <2,5 mg/L menunjukkan bahwa ABR berhasil mengurangi padatan tersuspensi dengan sangat efektif (>70%) dibandingkan dengan *inlet*. Proses pengendapan di bak sedimentasi dan filter anaerobik berfungsi dengan baik dalam mengurangi padatan (Sinha et al., 2021). Minyak dan lemak di *outlet* adalah 0,5 mg/L, sedikit lebih tinggi dari *inlet* (0,31 mg/L), namun masih jauh di bawah batas maksimum yang ditetapkan (5 mg/L). ABR mampu mengurangi minyak dan lemak dengan cukup baik, meskipun pengolahan lebih lanjut bisa membantu menurunkan lebih lanjut (Zhou et al., 2020). Amoniak di *outlet* adalah 1,39 mg/L, menunjukkan penurunan sekitar 60% dibandingkan dengan *inlet* (3,46 mg/L). Meskipun ABR efektif dalam mengurangi amonia, sistem ini masih perlu perbaikan untuk lebih menurunkan kadar amonia agar memenuhi standar yang lebih ketat (Wang et al., 2020).

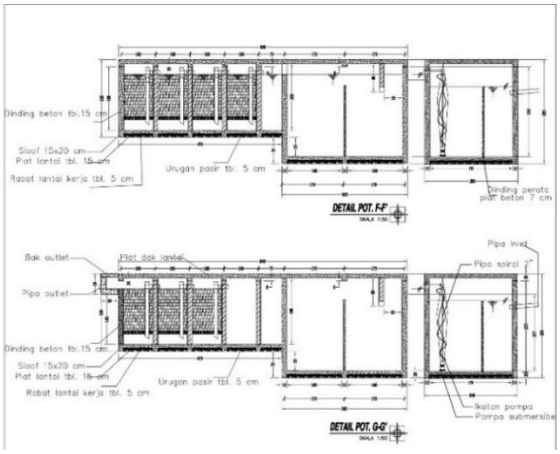
Total coliform di *outlet* >16.000/100 ml masih jauh melebihi batas yang diizinkan (3000/100 ml). Meskipun ABR berfungsi mengurangi beberapa patogen, teknologi ini belum cukup untuk mencapai batas baku mutu yang diinginkan. Penambahan sistem desinfeksi seperti UV atau klorinasi sangat diperlukan untuk menurunkan jumlah coliform lebih lanjut (Gadd et al., 2021).

Evaluasi Desain

Evaluasi desain instalasi pengolahan air limbah (IPAL) ABR ini bertujuan untuk menilai efektifitas dan efisiensi sistem dalam mengolah air limbah sesuai dengan standar kualitas lingkungan yang berlaku. Proses evaluasi mencakup analisis terhadap berbagai parameter teknis, kapasitas pengolahan, serta kemampuan sistem dalam mengurangi kontaminan yang ada pada air limbah. Dengan melakukan valuasi ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran yang jelas mengenai kemampuan IPAL ABR dalam memenuhi persyaratan kualitas air yang aman untuk lingkungan dan kesehatan masyarakat. IPAL ABR yang dipakai di Kabupaten Lamongan ini ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 5 Denah IPAL ABR



Gambar 6 Tampak Samping IPAL ABR

 ISSN 2987-677x

Di dalam tabel 3 ini menyajikan perhitungan volume untuk instalasi pengolahan air limbah (IPAL), yang mencakup analisis kapasitas masing masing unit dalam sistem penglolahan. Perhitungan ini penting untuk memastikan bahwa setiap komponen IPAL, seperti *inlet*, bak pengendap, dan *anaerobic filter* memiliki volume yang sesuai dengan efisiensi optimal dalam pengolahan. Tabel ini juga menggambarkan perhitungan berdasarkan parameter desain dan aliran air limbah yang diharapkan.

Tabel 4 Perhitungan Volume IPAL

Keterangan	Inlet	Bak Pengendap	AF 1	AF 2	AF 3	AF 4	AF 5
Panjang	1,7	3,2	0,65	0,85	0,85	0,85	0,9
Lebar	2,85	2,85	2,85	0,9	0,9	0,9	1,85
Tinggi	2,65	2,65	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Volume	12,83925	24,168	3,3345	1,377	1,377	1,377	2,997

Keterangan	AF 6	AF 7	AF 8	AF 9	AF 10	AF 11	TOTAL
Panjang	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	-
Lebar	0,9	0,9	1,83	0,9	0,9	0,9	-
Tinggi	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	-
Volume	1,377	1,377	2,7999	1,377	1,377	1,377	57,15465

Berdasarkan hasil pengukuran langsung total volume tanki di IPAL ABR sebesar 57,15 m^3/hari, dan kriteria desain IPAL ABR yang digunakan di Kabupaten Lamongan ini untuk 44 kk dengan 176 orang sehingga pemakaian orang per harinnya sebanyak 21,12 m^3/hari dan debit air limbah 16,9 m^3/hari. Jadi, waktu detensi air limbah di IPAL ABR ini adalah 81,12 jam atau 3,38 hari.

Berdasarkan penelitian oleh (Aqaneghad, 2017), menunjukkan HRT yang lebih panjang sekitar 2 hari pada sistem ABR sangat efektif dalam mengolah air limbah domestik karena memberikan lebih banyak waktu bagi mikroorganisme untuk mengurai bahan organic. HRT yang lebih lama akan meningkatkan kinerja *system* dalam menurunkan BOD dan COD, serta mengurangi bahan organik. Dan, di penelitian ini IPAL ABR 3,38 hari juga removal efisiensinya sama baiknya.

Total Coliform yang dihasilkan dari IPAL *Anaerobik Baffled Reactor* masih memiliki kualitas yang di atas baku mutu sehingga akan direkomendasikan dengan desain penambahan bak desinfeksi.

a. Kriteria Desain :

Dosis desinfeksi = 2 - 8 gr/l
Waktu detensi = 30 - 90 menit
Berat jenis kaporit (p) = 0,86 kg/l
Konsentrasi diinginkan = 5 %
Koef pipa = 150 (Hazen William)
Densitas klor = 1,72 gr/l
Kadar klor kaporit = 70%
Kedalaman = 1 m
Lebar = 1,3 m

b. Perhitungan Pompa

1. *Influent*
   Q = 16,9 m^3/hari (debit perencanaan IPAL)
   = 0,7 m3/jam

   Dosis = 5 gr/l

   Kebutuhan = debit x dosis klor
   = 16,9 m3/hari x 0,05 kg/m3
   = 0,845 kg/hari

2. Kebutuhan Kaporit
   - Kebutuhan Klor = $\frac{Berat\ Klor}{Kadar\ Klor}$
   = $\frac{0{,}845\ kg/hari}{0{,}7}$
   = 1,2 kg/hari = 0,05 kg/jam

- Volume Bak (V)
  Panjang Bak = (Qr x Td)/(Lxh)
  = (0,7 m3/jam x 1,5 jam) /
  (1,3 m x 1 m)
  = 0,8 meter

Sehingga, jika menambah bak desinfektan dengan dimensi 0,8 m x 1,3 m x 1 m dengan biaya Rp. 4.102.000, bisa membuat IPAL ABR di Desa Bedingin, Kecamatan Lamongan, Kabupaten Lamongan ini menjadi baku mutu dan bisa dimanfaatkan untuk penyiraman RTH dan irigasi.

Evaluasi Gas Rumah Kaca yang Dihasilkan saat Kontruksi Sumber Emisi GRK

Tabel 5 menunjukkan kebutuhan material kontruksi beserta faktor emisi karbon dioksida (CO_2e) yang dihasilkan dari masing masing material yang digunakan dalam proyek ini. Perhitungan total emisi untuk setiap material, seperti semen portland, pasir beton, kerikil, besi, dan kayu, memberikan gambaran mengenai kontribusi emisi dari penggunaan material kontruksi dalam proyek. Total emisi dari semua material kontruksi ini dihitung untuk memberikan pemahaman tentang dampak lingkungan yang dihasilkan selama proses kontruksi

Tabel 5 Material Kontruksi

Material	Kebutuhan	Faktor Emisi (CO_2e)	Total Emisi (kg CO_2e)
Semen Portland	250 zak	50 kg/zak	12.500
Pasir Beton	24 m^3	20 kg/m^3	480
Kerikil	18 m^3	5 kg/m^3	90
Besi (Φ 8,10,12)	365 ljr	2 kg/ljr	730
Kayu (balok, papan, usuk)	0,74 m^3	200 kg/m^3	148
Total Material			13.948

Tabel 6 menyajikan data mengenai alat alat sewa yang digunakan dalam proyek, termasuk lama sewa, konsumsi bahan bakar minyak (BBM), serta emisi karbondioksida ekuivalen (CO_2e) yang dihasilkan perhari dari setiap alat. Dalam tabel ini, alat seperti molen dan pompa air dihitung total emisinya berdasarkan durasi penggunaan dan konsumsi bahan bakar. Total emisi dari penggunaan alat sewa ini memberikan gambaran mengenai kontribusi emisi karbon yang dihasilkan dari aktivitas operasional alat selama proyek.

Tabel 6 Alat Sewa

Alat	Lama Sewa	Konsumsi BBM	Emisi Diesel (kg CO_2e/hari)	Total Emisi
Molen	15 hari	5 L/hari	13 kg/hari	195
Pompa Air	21 hari	3 L/hari	8 kg/hari	168
Total Alat				363

c. Transportasi Material

- Asumsi:
  10 truk (jarak 50 km, emisi 0,2 kg CO_2e/km/ton)
- Total berat material ≈ 30 ton → 100 kg CO_2e

 ISSN 2987-677x

- Total Emisi Proyek
  = Material + Alat + Transportasi
  = 13.948 + 363 + 100
  = 14.411 kg CO_2e (Setara dengan emisi 7 mobil mengelilingi bumi 1 kali)

Evaluasi Dampak Lingkungan

- Dominasi Semen:
  87% emisi berasal dari semen portland (tingginya emisi klinker).
- Alat Berbahan Bakar Fosil:
  Molen dan pompa menyumbang 2,5% emisi.
- Limbah Kayu & Besi:
  Potensi emisi metana (CH_4) jika tidak didaur ulang.

Rekomendasi Reduksi Emisi

a. Substitusi Material

1. Semen Rendah Karbon:
   - Ganti 30% semen portland dengan semen pozolan (*fly ash*/*slag*) → reduksi 3.750 kg CO_2e.
   - Gunakan geopolimer (emisi 60% lebih rendah).
2. Besi Daur Ulang:
   - Substitusi 50% besi baru dengan besi bekas → reduksi 365 kg CO_2e.
3. Kayu Bersertifikat FSC:
   - Kayu dari hutan lestari (serap karbon) → netralisasi emisi.

b. Efisiensi Alat

1. Ganti Diesel dengan Listrik:
   - Sewa molen/pompa listrik (jika *grid* energi terbarukan) → reduksi 100% emisi alat (363 kg CO_2e).
2. Optimasi Waktu Sewa:
   - Kurangi lama sewa molen jadi 10 hari dan pompa jadi 14 hari → reduksi 121 kg CO_2e.

c. Manajemen Konstruksi

1. Prefabrikasi:
   - Buat komponen beton di pabrik (efisiensi energi) → kurangi waste 20%.
2. Daur Ulang Limbah:
   - Olah sisa kayu jadi bekisting ulang atau kompos.
   - Jual besi sisa ke pengepul.

d. Kompensasi Karbon

Tanam 50 pohon (serap ≈1.000 kg CO_2/tahun) untuk *offset* emisi.

Simulasi Reduksi Emisi

Aksi	Reduksi Emisi (kg CO_2e)
Semen pozolan (30%)	3.750
Besi daur ulang (50%)	365
Alat listrik	363
Optimasi sewa	121
Total Reduksi	4.599

Emisi Final
= 14.411 kg – 4.599 kg = 9.812 kg CO_2e (pengurangan 32%)

Biaya Operasional SPALDT

a. Biaya Listrik

Listrik yang diperlukan untuk menjalankan pompa submersible dan peralatan lainnya. Mengingat pompa berjalan 24 jam dengan daya 1kW, bisa dihitung dengan:
- Daya pompa : 1kW
- Waktu operasional : 24 jam sehari, 30 hari sebulan
- Biaya perkWh listrik : Rp. 1500 per kWh

Perkiraan biaya listrik perbulan
= 1kW x 24 jam x 30 hari x Rp.1500
= Rp.1.080.000

b. Biaya Servis Pompa

Pompa membutuhkan servis rutin, dengan diperkirakan servis pompa per tahun Rp. 1.000.000 jika dibagi 12 bulan menjadi Rp. 83.333/bulan.

c. Biaya Penyedotan Lumpur

Biaya penyedotan lumpur dilakukan setahun sekali. Yang akan dilakukan oleh IPLT Lamongan perkiraan biaya penyedotan lumpur adalah sekitar Rp 2.000.000 per tahun.
Biaya per bulan = Rp. 2.000.000 : 12 bulan
= Rp. 166.667/bulan

d. Biaya Operasional Perbulan

= Total biaya listrik + biaya servis pompa + biaya lumpur penyedotan
= 1.080.000 + 83.333 + 166.667
= Rp.1.330.000/bulan
Yang dilayani 46 KK, sehingga menjadi Rp. 1.330.000 / 46
= Rp.28.913

Kesimpulan

Evaluasi kinerja SPALDT Kabupaten Lamongan dengan teknologi *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) menunjukkan bahwa sistem ini efektif dalam mengurangi parameter pencemaran utama, termasuk BOD, COD, dan TSS, meskipun pengolahan terhadap total coliform dan amoniak masih belum optimal dan memerlukan tambahan sistem desinfeksi untuk memenuhi standar yang lebih ketat. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi dampak lingkungan dari proses konstruksi sistem ABR, yang menghasilkan emisi gas rumah kaca sebesar 14.411 kg CO_2e. Sebagian besar emisi berasal dari penggunaan semen Portland dan alat berbahan bakar diesel. Pengurangan emisi dapat dicapai dengan mengganti sebagian semen dengan semen pozolan (30%), menggunakan besi daur ulang (50%), serta mengganti alat diesel dengan alat listrik. Langkah-langkah ini dapat mengurangi total emisi gas rumah kaca sebesar 32%. Dengan implementasi rekomendasi tersebut, diharapkan dapat mencapai tujuan pengolahan air limbah yang ramah lingkungan serta berkontribusi terhadap pengurangan dampak perubahan iklim. Untuk pengelolaan IPAL yang lebih lanjut warga penerima manfaat harus mengeluarkan pengeluaran iuran Rp. 28.913 per KK/per rumah.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyusunan jurnal ini. Dan juga kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan kritik dan saran yang konstruktif demi perbaikan hasil penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengelolaan air limbah domestik dan berkontribusi pada upaya pencapaian tujuan

 ISSN 2987-677x

pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya dalam menjaga kualitas air dan lingkungan yang sehat.

Referensi

Aqaneghad, M., Moussavi, G., & Ghanbari, R. (2017). Anaerobic baffled reactor and hybrid anaerobic baffled reactor performances evaluation in municipal wastewater treatment. *Iranian Journal of Health, Safety & Environment*, *5*(3), 1027–1034.

Crites, R., & Tchobanoglous, G. (1998). *Small and decentralized wastewater management systems*. McGraw-Hill.

Environmental Protection Agency (EPA). (1991). *Onsite wastewater treatment systems manual*. U.S. Environmental Protection Agency.

Gadd, M., et al. (2021). Disinfection of water with ultraviolet and chlorination methods: A comparative study. *Environmental Health Perspectives*, *129*(5), 1–10.

Sharma, H. B., et al. (2021). Anaerobic treatment of wastewater using ABR systems. *Journal of Environmental Management*, *68*(5), 547–555.

Sun, W., Li, X., Wei, M., & Li, C. (2025). Biological characteristics of anaerobic baffled reactor in operation. *Sensors and Materials*, *37*(3), 831–846. https://doi.org/10.18494/SAM5308.

Van Lier, J. B. (2008). Anaerobic treatment of wastewater: Design and engineering aspects. *IWA Publishing*.

Wang, S., et al. (2020). Advanced technology for anaerobic treatment of wastewater. *Science of the Total Environment*, *712*, 136–145.

Yousefi, M., et al. (2024). Wastewater treatment technologies and environmental impacts. *Journal of Environmental Science and Technology*, *23*(3), 400–412.

Yousefi, Z., Babanezhad, E., Hashempour, Y., Mohammadpour, R. A., & Mortezazadeh, F. (2024). Performance evaluation of anaerobic–aerobic hybrid baffled reactor coupled with an anaerobic filter treating landfill leachate. *Environmental Science and Pollution Research*, *31*(19), 28062–28076. https://doi.org/10.1007/s11356-024-32954-2.

Zhou, D., et al. (2020). Reduction of oils and fats in anaerobic treatment systems. *Environmental Technology*, *41*(14), 1831–1842.

 ISSN 2987-677x

Instalasi NDB (*Non Directional Beacon*) *Portable* Sebagai Fasilitas Navigasi Penerbangan di Bandar Udara Miangas

Arif Wibowo[1], Rasional Sitepu[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ arifsbaya@gmail.com

Presiden Jokowi mengunjungi Miangas untuk meresmikan Bandar Udara Miangas yang baru saja selesai dibangun. Belum tersedia peralatan navigasi dan telekomunikasi penerbangan disana. Berdasarkan kondisi ini, maka perlu diadakan instalasi alat navigasi penerbangan agar pesawat yang membawa rombongan Presiden dapat mendarat dengan selamat di Bandar Udara Miangas. Kegiatan mulai dari kriteria penempatan sampai pemeliharaan peralatan fasilitas elektronika dan listrik penerbangan dilakukan berdasarkan peraturan yang berlaku di Indonesia dan Internasional serta buku manual peralatan. Personil yang bertugas dibekali lisensi sesuai dengan bidangnya. Setelah lokasi instalasi NDB *Portable* ditentukan, dilakukan pengukuran grounding untuk peralatan. Selanjutnya dilakukan instalasi antena, *transmitter* NDB dan ATU. Keselamatan, Kesehatan, Keamanan kerja dan Lingkungan (K3L) selalu diperhatikan selama melakukan kegiatan di lapangan. Semua personil dilengkapi dengan rompi keselamatan. Sebelum NDB *Portable* dioperasikan, terlebih dahulu dilakukan *setting* pada *transmitter* NDB dan ATU. Selanjutnya, dilakukan *ground inspection* untuk memastikan NDB *Portable* telah berfungsi dengan baik. Peralatan NDB *Portable* beroperasi secara normal dengan parameter sesuai ketentuan dan pesawat yang membawa rombongan Presiden dapat mendarat dengan panduan NDB *Portable*.

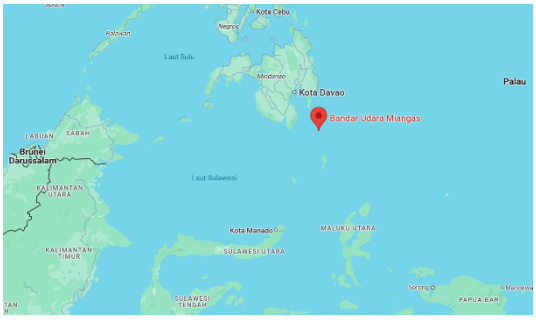
Kata kunci: NDB *Portable*, navigasi, profesionalisme, etika, k3l

Pendahuluan

Presiden Jokowi mengunjungi Miangas untuk meresmikan Bandar Udara Miangas yang baru saja selesai dibangun. Joko Widodo menjadi Presiden RI pertama sepanjang sejarah Indonesia yang berkunjung ke Pulau Miangas, Kabupaten Talaud, Sulawesi Utara (Dondokambey, 2016).

Bandar Udara Miangas mulai dibangun tahun 2012 setelah dilakukan pembebasan tanah oleh Pemerintah Daerah Kabupaten Talaud. Pembangunan bandara selesai pada pertengahan tahun 2016. Total investasi untuk pembangunan bandara Miangas adalah sebesar Rp 275 miliar. Dengan perincian, pada tahun 2012 dana investasi reguler Rp 5 miliar dan dana APBNP Rp 15 miliar, tahun 2013 dana reguler Rp 90 miliar, tahun 2014 dana reguler Rp 50 miliar, tahun 2015 dana reguler Rp 55 miliar, dan tahun 2016 APBNP Rp 60 miliar. Miangas itu pulau terluar, penting untuk dijaga teritorialnya dan diperhatikan. Karena itu, diadakan penerbangan perintis ke sana. Untuk investasinya, akan ditambah investasi sekitar 100 miliar untuk perbaikan Bandara Miangas (Sumadi, 2016).

Diharapkan dengan adanya bandara ini, dapat menjadi jalur distribusi pangan dan barang lainnya, terutama pada saat cuaca perairan seputar pulau sedang dilanda angin kencang dan gelombang tinggi. Dengan demikian, keberadaan bandar udara ini maka akan mendorong pertumbuhan ekonomi dan pariwisata di Pulau Miangas (Ervan, 2016).



Gambar 1 Lokasi Bandar Udara Miangas

Kondisi awal Bandar Udara Miangas belum tersedia peralatan navigasi dan telekomunikasi penerbangan. Juga, belum tersedia *supply* listrik dari PLN. Hanya tersedia genset 100 KVA sebanyak 2 unit *non synchronizing*, dimana sudah terpasang namun belum dilaksanakan *commissioning*.

Berdasarkan kondisi di atas, maka perlu diadakan instalasi alat navigasi penerbangan agar pesawat yang membawa rombongan Presiden dapat mendarat dengan selamat di Bandar Udara Miangas. Navigasi penerbangan adalah proses mengarahkan gerak pesawat udara dari satu titik ke titik yang lain dengan selamat dan lancar untuk menghindari bahaya dan/atau rintangan penerbangan (Menteri Perhubungan, 2022).

Salah satu peralatan navigasi yang masih digunakan yaitu *Non Directional Beacon* (NDB). NDB adalah pemancar radio segala arah yang digunakan dalam penerbangan sebagai alat bantu navigasi atau pendekatan. Disebut tidak terarah atau segala arah

 ISSN 2987-677x

karena tidak menyediakan jalur sendiri seperti jangkauan stasiun radio, tetapi jalur dapat diperoleh dengan menggunakan peralatan yang dibawa di pesawat terbang (Smith, 1947).

Sistem NDB terdiri dari stasiun darat (NDB/*Non Directional Beacon*) yang memancarkan sinyal ke segala arah di sekitar pemancar dan penerima pada pesawat (ADF/*Automatic Direction Finder*) dimana ketika disetel ke sinyal ini menentukan arah dari mana sinyal dipancarkan.

Gambar 2 Penerima pada Pesawat - ADF

Ada tiga tipe NDB, pertama NDB jangkauan rendah (*low range*) dimana daya *output* 50 Watt sampai dengan 100 Watt dengan jangkauan sampai dengan 100 NM. Kedua, NDB jangkauan menengah (*medium range*) dimana daya *output* 100 Watt sampai dengan 1000 Watt dengan jangkauan sampai dengan 200 NM. Ketiga, NDB jangkauan tinggi (*high range*) dimana daya *output* sampai dengan 3000 Watt dengan jangkauan lebih dari 300 NM.

NDB memliki beberapa fungsi. Fungsi NDB yang pertama adalah sebagai *homing*, dimana pesawat dapat memanfaatkan sinyal NDB sebagai panduan untuk menuju bandar udara. Yang kedua, sebagai *en-route*, dimana peralatan NDB dipasang pada titik–titik (lokasi) tertentu sepanjang jalur penerbangan. Yang ketiga, sebagai *holding*, dimana titik (lokasi) yang menjadi patokan pesawat untuk *holding* (menunggu sambil berputar disekitar titik lokasi) menggunakan peralatan NDB. Dan yang keempat sebagai *locator*, dimana peralatan NDB dipasang di perpanjangan garis tengah landasan pacu (digabung dengan ILS/*Marker Beacon*), sehingga penerbang lebih mudah menuju arah garis tengah landasan pacu.

Metode

Kegiatan mulai dari kriteria penempatan sampai pemeliharaan peralatan fasilitas elektronika dan listrik penerbangan dilakukan berdasarkan peraturan yang berlaku di Indonesia dan internasional serta buku manual peralatan.

Persiapan Peralatan dan Personil

Peralatan yang harus disiapkan untuk dibawa antara lain antena, ATU, *transmitter* NDB, *dummy load*, *ground tester*, HT *receiver*, multimeter dan *oscilloscope*.

Antena, ATU, dan *transmitter* NDB di*packing* dan dikirimkan terlebih dahulu melalui kargo udara. Sedangkan, peralatan lain yang berukuran kecil dibawa bersamaan pada waktu personil berangkat. Personil yang bertugas dibekali lisensi sesuai dengan bidangnya.

Gambar 3 Antena, ATU, dan *Transmitter* NDB yang Sudah Di*packing*

Perjalanan melalui udara hanya bisa sampai di Bandar Udara Melonguane yang terletak di Kabupaten Kepulauan Talaud, Provinsi Sulawesi Utara. Selanjutnya, perjalanan dilanjutkan melalui kapal yang sudah terjadwal dan tidak setiap hari ada keberangkatan.

Instalasi Peralatan

Setiap penyelenggara bandar udara harus menempatkan fasilitas elektronika dan listrik penerbangan sesuai dengan kriteria penempatan fasilitas elektronika dan listrik penerbangan (Direktur Jenderal Perhubungan Udara, 2002).

NDB *Portable* didirikan di lokasi yang tidak ada halangan (*obstacle*) atau memiliki halangan paling kecil untuk pancaran sinyal NDB. Setelah lokasi instalasi NDB *Portable* ditentukan, dilakukan pengukuran *grounding* untuk peralatan. Dari beberapa sample lokasi, dipilih yang *grounding*nya paling bagus.

Gambar 4 Nilai Tahanan *Grounding* Peralatan NDB *Portable* dari Beberapa Lokasi

Selanjutnya dilakukan instalasi antena, *transmitter* NDB, dan ATU. NDB *Portable* di*install* pada koordinat N 050 33,891' E 1260 34,983'. *Supply* listrik NDB dari genset *portable* 5 KVA. Instalasi antena dan *transmitter* NDB dilakukan oleh teknisi balai teknik penerbangan. Keselamatan, kesehatan, keamanan kerja dan lingkungan (K3L) selalu diperhatikan selama melakukan

 ISSN 2987-677x

kegiatan di lapangan. Semua personil dilengkapi dengan rompi keselamatan.

Gambar 5 NDB *Portable* yang Sudah Terpasang

***Setting* Peralatan**

Sebelum NDB *Portable* dioperasikan, terlebih dahulu dilakukan *setting* pada *transmitter* NDB. Pada saat proses *setting*, NDB *transmitter* dihubungkan dengan *dummy load* sebagai pengganti antena.

Setting peralatan mengacu pada buku manual peralatan, meliputi *setting* frekuensi *carrier* pada NDB *cabinet*, *setting* frekuensi *tone*, *setting* frekuensi *call sign* pada NDB *cabinet*, *setting* mode *transmitter*, *setting* RF *power* pada NDB *cabinet*, serta *setting* level modulasi pada NDB *cabinet* (Southern Avionics Company, 2013).

Gambar 6 *Setting* Transmiter NDB *Portable*

Selanjutnya dilakukan *setting* pada ATU. Lepaskan dummy load dari NDB *transmitter* dan sambungkan NDB tansmitter dengan ATU. Atur posisi Course tap dan fine tap sampai mendapatkan signal paling tinggi.

Gambar 7 *Setting* ATU NDB *Portable*

Saat ini NDB *Portable* sudah siap untuk dioperasikan. Parameter NDB dapat dilihat pada LCD *Display* di Master Control Panel.

Gambar 8 Parameter NDB *Portable* pada LCD *Display*

Dengan beroperasinya peralatan NDB *Portable* di Bandar Udara Miangas, maka Bandar Udara Miangas sudah siap untuk melayani penerbangan, dan hal ini harus diumumkan melalui Notam. Notam (*Notice to Airmen*) atau pemberitahuan kepada penerbang merupakan pemberitahuan yang berisi informasi penting mengenai kondisi atau perubahan fasilitas, layanan, prosedur, atau bahaya yang relevan bagi operasional penerbangan. Notam biasanya berisi informasi tentang kondisi abnormal pada sistem ruang udara nasional yang perlu diketahui oleh personel penerbangan.

Sebuah NOTAM harus dibuat dan dipublikasikan berkaitan dengan informasi penetapan, penghapusan atau perubahan berarti pada prosedur pelayanan navigasi penerbangan (Menteri Perhubungan, 2023).

Dalam rangka mendukung kelancaran pelayanan angkutan penerbangan bagi maskapai dan pengelola bandara Nop Goliat - Dekai, Kabupaten Yakuhimo, Papua dan Bandara Miangas, Kepulauan Talaut, Sulawesi Utara maka telah dikeluarkan Notam bagi kedua bandara.

Notam tersebut berkaitan dengan kunjungan Presiden RI Joko Widodo dalam rangka meresmikan pembangunan kedua bandara tersebut pada tanggal 18 dan 19 Oktober 2016 (Pusdatin, 2016).

Merujuk pada ICAO ANNEX 10 - Aeronautical Telecommunications - Volume I - Radio Navigational Aids, NDB yang dioperasikan harus memenuhi ketentuan antara lain:

 ISSN 2987-677x

Tabel 1 Standar ICAO (ICAO, 2018)

No	Parameter	Nilai
1	Cakupan	25 NM – 150 NM
2	Daya radiasi	< 2 dB
3	Frekuensi Radio	190 Khz – 1750 Khz
4	Ident	2 atau 3 huruf

Pengujian di Darat

Pengujian di darat (*ground inspection*) adalah pengujian dan peneraan yang dilakukan di darat terhadap peralatan fasilitas elektronika dan listrik penerbangan yang digunakan untuk pelayanan lalu lintas penerbangan. Setiap operator yang mengoperasikan peralatan fasilitas elektronika dan listrik penerbangan yang digunakan untuk pelayanan lalu lintas udara harus mempertahankan kinerja operasional sesuai standar dan persyaratan operasional yang ditetapkan (Direktur Jenderal Perhubungan Udara, 2005).

Setiap penyelenggara bandar udara wajib memelihara fasilitas elektronika dan listrik penerbangan dan pelaksanaannya dapat berkerjasama dengan Balai Elektronika – Direktorat Jenderal Perhubungan Udara apabila menemui kesulitan (Direktur Jenderal Perhubungan Udara, 2003).

Hasil Kerja

Instalasi Peralatan

Nilai *grounding* yang didapat dari beberapa *sample* lokasi, yang groundingnya paling bagus adalah sebesar 4,23 Ohm.

***Setting* Peralatan**

Setting yang dilakukan pada *transmitter* NDB sebagai berikut:

Tabel 2 *setting Transmitter* NDB

No	Parameter	Nilai
1	Frekuensi Carrier	325 KHz
2	Frekuensi Tone	1020 Hz
3	Call Sign/Ident	BE
4	Mode *Transmitter*	CARR
5	RF Power	35 Watt
6	Level Modulasi	65%

Setting yang dilakukan pada ATU, posisi *course tap* 50 dan *fine tap* 10.

Pengujian di Darat

Hasil pengujian di darat, peralatan NDB *Portable* beroperasi dengan parameter sebagai berikut:

Tabel 3 Parameter NDB *Portable*

No	Parameter	Nilai
1	Frekuensi Radio	325 KHz
2	Ident	BE
3	RF Power	35 Watt
4	VSWR	1,0
5	Forward Power	89 Watt
6	Reflected Power	0 Watt
7	Level Modulasi	65 %
8	Antena current	1,5 A

Pembahasan

Nilai resistansi *grounding* yang direkomendasikan oleh standar IEC 62305-3:2011 adalah di bawah 10 Ohm, namun nilai yang lebih rendah lebih bagus untuk aplikasi yang lebih sensitif atau kritis. Nilai *grounding* yang didapat dari pengukuran adalah sebesar 4,23 Ohm. Hal ini menunjukan bahwa *grounding* peralatan sudah cukup bagus.

Buku manual peralatan sudah memberikan rekomendasi posisi tap ATU untuk masing-masing frekuensi radio. Untuk frekuensi radio 325 KHz, buku manual merekomendasikan posisi *course tap* 70 dan *fine tap* antara 6 sampai 8. Tetapi dari hasil pengukuran di lapangan didapatkan posisi *course tap* 50 dan 10 merupakan kombinasi terbaik dalam menghantarkan sinyal untuk frekuensi radio 325 KHz.

Penetapan Frekuensi Radio NDB *Portable* berdasarkan koordinasi dengan Direktorat Navigasi Penerbangan, Direktorat Jenderal Perhubungan Udara Kemeterian Perhubungan. Frekuensi Radio yang direkomendasikan ICAO ada pada rentang 190 Khz – 1750 Khz. NDB *Portable* bekerja pada frekuensi radio 325 KHz. Hal ini menunjukan bahwa frekuensi NDB *Portable* sudah sesuai dengan rekomendasi ICAO.

Ident yang direkomendasikan ICAO berisi 2 atau 3 huruf. NDB *Portable* menggunakan *ident* BE (2 huruf). Hal ini menunjukan bahwa Ident NDB *Portable* sudah sesuai dengan rekomendasi ICAO.

Cakupan/*coverage* dari pancaran NDB *Portable* tidak diketahui secara pasti jauhnya karena belum ada penerbangan menuju Bandar Udara Miangas dan belum dijadwalkan pengujian di udara (*fligt inspection*) oleh pesawat kalibrasi dari Balai Besar Kalibrasi Fasilitas Penerbangan. Demikian juga halnya dengan daya radiasi NDB *Portable* tidak diketahui nilainya karena tidak adanya peralatan pengukur daya radiasi yang dimiliki.

Untuk parameter lain yang terbaca pada LCD *Display* di *Master Control Panel* sudah sesuai dengan *setting* yang dilakukan pada *transmitter* NDB.

Kesimpulan

NDB *Portable* telah terinstal di Bandar Udara Miangas. Pesawat yang membawa rombongan Presiden dapat mendarat dengan panduan NDB *Portable*.

Saran bagi Bandar Udara Miangas adalah sebagai berikut:

1. Perlu pemasangan alat bantu navigasi penerbangan yang permanen di Bandar Udara Miangas, yaitu NDB atau DVOR/DME.
2. Perlu penyambungan *supply* listrik dari PLN.
3. Perlu tenaga pembangkit alternatif selain PLN, misalnya solar *cell* mengingat sulitnya akses transportasi untuk bahan bakar minyak ke Miangas.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih ditujukan kepada rekan-rekan Balai Teknik Penerbangan dan eks Balai Teknik Penerbangan atas sumbangsih saran dan masukan dalam pengerjaan artikel ini. Tidak lupa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para dosen dan dosen pembimbing di

 ISSN 2987-677x

Program Studi Profesi Insinyur Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya.

Referensi

Direktur Jenderal Perhubungan Udara. (2002). *Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor: SKEP/113/VI/2002 tentang kriteria penempatan fasilitas elektronika dan listrik penerbangan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perhubungan Udara.

Direktur Jenderal Perhubungan Udara. (2003). *Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor: SKEP/157/IX/03 tentang pedoman pemeliharaan dan pelaporan peralatan fasilitas elektronika dan listrik penerbangan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perhubungan Udara.

Direktur Jenderal Perhubungan Udara. (2005). *Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor: SKEP/83/VI/2005 tentang prosedur pengujian di darat (ground inspection) peralatan fasilitas elektronika dan listrik penerbangan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perhubungan Udara.

Dondokambey, O. (2016, Oktober 19). Jokowi, Presiden pertama yang ke Pulau Miangas. *Kompas*. https://nasional.kompas.com/read/2016/10/19/13084381/jokowi.presiden.pertama.yang.ke.pulau.miangas

Ervan, B. S. (2016). Hadirkan negara di pulau terluar Indonesia, Kemenhub selesaikan pembangunan bandara di Miangas. *Kementerian Perhubungan Republik Indonesia*. https://portal.dephub.go.id/post/read/hadirkan-negara-di-pulau-terluar-indonesia,-kemenhub-selesaikan-pembangunan-bandara-di-miangas

International Civil Aviation Organization (ICAO). (2018). *Annex 10 - Aeronautical telecommunications - Volume I: Radio navigation aids* (7th ed.). Montreal, Canada: ICAO.

Menteri Perhubungan Republik Indonesia. (2022). *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 9 Tahun 2022 tentang perubahan atas Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 55 Tahun 2016 tentang tatanan navigasi penerbangan nasional*. Jakarta: Kementerian Perhubungan.

Menteri Perhubungan Republik Indonesia. (2023). *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 9 Tahun 2023 tentang Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 175 tentang penyelenggara pelayanan informasi aeronautika*. Jakarta: Kementerian Perhubungan.

Pusat Data dan Informasi (Pusdatin). (2016). Notam peresmian Bandara Nop Goliat Dekai dan Bandara Miangas. *Kementerian Perhubungan Republik Indonesia*. https://portal.dephub.go.id/post/read/notam-peresmian-bandara-nop-goliat-dekai-dan-bandara-miangas

Smith, R. A. (1947). *Radio aids to navigation*. Cambridge University Press.

Southern Avionics Company. (2013). *TransPortable non-directional beacon system SE transmitter and coupler installation and setup manual*. Texas: Southern Avionics Company.

Sumadi, B. K. (2016). Bandara Miangas sebagai gerbang transportasi udara di utara Indonesia. *Direktorat Jenderal Perhubungan Udara*. https://hubud.kemenhub.go.id/hubud/website/berita/2951

ISSN 2987-677x

Verifikasi Kelaikan Dermaga "X" Guna Memenuhi Standar Keselamatan

Suwardi

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ suwardinavy@gmail.com

Verifikasi dermaga adalah kegiatan pemeriksaan dan evaluasi terhadap dermaga untuk memastikan bahwa dermaga tersebut memenuhi standar keselamatan, efisiensi, dan kualitas pelayanan. Kegiatan ini dilakukan oleh tim verifikasi yang terdiri dari ahli-ahli di bidang transportasi laut, keselamatan, dan lingkungan. Tujuan verifikasi dermaga adalah untuk mengetahui kelaikan dermaga "X" guna memenuhi standar keselamatan. Kegiatan verifikasi dermaga meliputi pemeriksaan lapangan, wawancara, dan analisis data, serta dapat dilakukan secara berkala atau insidental. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa dermaga "X" dinyatakan baik dan laik.

Kata kunci : verifikasi, dermaga, keselamatan, laik, baik

Pendahuluan

Dermaga adalah suatu bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapat dan menambatkan kapal yang melakukan bongkar muat barang dan menaik turunkan penumpang. Bentuk dan dimensi dermaga tergantung pada jenis dan ukuran kapal yang sandar pada dermaga tersebut. Dermaga harus direncanakan sedemikian rupa sehingga kapal dapat merapat dan bertambat serta melakukan kegiatan di pelabuhan dengan aman, cepat dan lancar. (Triatmodjo, 2010).

Dermaga "X" adalah fasilitas pelabuhan yang digunakan untuk berlabuh kapal dan merupakan pelabuhan terbesar di Indonesia. Dermaga ini memiliki fasilitas yang memadai untuk melayani arus keluar masuk barang, termasuk dermaga khusus untuk menangani jenis barang khusus seperti kontainer, cairan kimia, atau barang curah. Dermaga "X" menyediakan layanan bongkar muat barang, termasuk terminal peti kemas ekspor-impor. Dermaga sebagai tempat berlabuhnya kapal-kapal diharapkan merupakan suatu tempat yang terlindung dari gangguan laut, sehingga bongkar muat barang, penumpang dapat dilakukan untuk menjamin keamanan dan keselamatan (Kramadibrata, 2002).

Seiring berjalanya waktu dan mobilitas bongkar muat yang sangat padat di dermaga "X" tersebut maka kerusakan struktur antara lain, dermaga dapat mengalami keausan akibat gesekan dan tekanan dari kapal yang sandar dan bongkar muat barang, kerusakan pada tiang pancang akibat tekanan dan gesekan dari kapal, serta kerusakan pada lantai dermaga akibat beban berat dari barang yang dibongkar muat. Maka dari itu, untuk memperpanjang usia pakai dermaga perlu dilaksanakan pemeliharaan dan perawatan untuk menjamin pengoperasian pelabuhan menjadi optimal. Hal ini dilakukan dengan mempertimbangkan kesiapan fasilitas dan sumber daya manusia operasional sesuai dengan frekuensi kunjungan kapal, bongkar muat barang, dan naik turun penumpang (Mulyono, 2017).

Verifikasi dermaga adalah proses pemeriksaan dan penilaian untuk memastikan bahwa dermaga memenuhi standar dan persyaratan yang ditetapkan untuk kegiatan operasionalnya. Verifikasi dermaga dapat meliputi antara lain keselamatan memastikan bahwa dermaga memenuhi standar keselamatan untuk kegiatan operasionalnya, keamanan memastikan bahwa dermaga memiliki sistem keamanan yang efektif untuk mencegah kegiatan ilegal atau tidak sah, dan kualitas memastikan bahwa dermaga memenuhi standar kualitas untuk kegiatan operasionalnya.

Tujuan verifikasi dermaga adalah untuk mengetahui kelaikan dermaga "X" guna memenuhi standar keselamatan. Kegiatan verifikasi dermaga meliputi pemeriksaan lapangan, wawancara, dan analisis data, serta dapat dilakukan secara berkala atau insidental. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa dermaga "X" dinyatakan baik dan laik.

Metode

Verifikasi kelaikan dermaga "X" dilakukan dengan menggunakan metode observasi dan survei, langkah tersebut dilakukan untuk memantau kondisi fisik dermaga, memperoleh informasi tentang spesifikasi teknis dermaga, dan waktu pembangunan. Data yang dikumpulkan kemudian dianalisis untuk memastikan bahwa pembangunan dermaga sesuai dengan standar dan kebutuhan operasional kapal.

Pelaksanakan kegitan verifikasi menganut prinsip 5W + 1H. Adapun penjabaran istilah tersebut sebagai berikut:

- *Who* (siapa): Verifikasi dermaga dilakukan oleh tim verifikasi yang terdiri dari ahli-ahli di bidang transportasi laut, keselamatan, dan lingkungan, tim verifikasi dapat terdiri dari perwakilan dari Kementerian Perhubungan, Badan Pengatur Transportasi, dan lain-lain.
- *What* (apa): Verifikasi dermaga adalah proses pemeriksaan dan evaluasi terhadap dermaga untuk memastikan bahwa dermaga tersebut memenuhi standar keselamatan, efisiensi, dan kualitas pelayanan. Verifikasi dermaga meliputi pemeriksaan terhadap struktur dermaga, fasilitas, peralatan, dan prosedur operasional.
- *Where* (di mana): Verifikasi dermaga dilakukan di fasilitas pelabuhan yang digunakan kapal transportasi laut untuk sandar.
- *When* (kapan): Verifikasi dermaga dilaksanakan pada hari Selasa dan Rabu tanggal 17 s.d. 18 Desember 2024.
- *Why* (mengapa): Verifikasi dermaga dilakukan untuk memastikan bahwa dermaga tersebut memenuhi standar keselamatan, efisiensi, dan kualitas pelayanan, verifikasi dermaga juga dilakukan untuk mengurangi risiko kecelakaan dan insiden lainnya yang terkait dengan dermaga.
- *How* (bagaimana): Verifikasi dermaga dilakukan dengan menggunakan metode dan prosedur yang telah

 ISSN 2987-677x

ditetapkan, termasuk pemeriksaan lapangan, obsevasi, survei, dan analisis data.

Hasil Kerja

Pelaksanaan Verifikasi

Pelaksanaan kegiatan verifikasi kelaikan sebagai berikut:

a. Objek Pemeriksaan :
   1. Nama : Dermaga "X"
   2. Tahun Pembuatan : 2024
   3. Dokumen :
      a) Kontrak/adendum kontrak
      b) Gambar teknik
      c) Perhitungan struktur
      d) Sertifikat dan hasil uji beban
      e) Laporan laporan
      f) *As built drawing*

b. Pelaksanaan kegiatan verifikasi kelaikan:
   1. Hari/tanggal : Selasa s.d Rabu, 17 s.d 18 Desember 2024
   2. Tempat : X
   3. Jenis pengujian : Visual dan pengujian dengan menggunakan alat

c. Tim surveyor kelaikan terdiri dari:
   1. Ketua : A
   2. Sekretaris : B
   3. Anggota : C

Materi Verifikasi Kelaikan

Materi kegiatan verifikasi kelaikan dermaga 'X' meliputi beberapa kegiatan verifikasi kelaikan dan pengujian antara lain:

a. Verifikasi jaminan mutu meliputi:
   1. Kontrak/addendum kontrak
   2. Gambar Teknik
   3. Perhitungan struktur
   4. Sertifikat dan hasil uji bahan
   5. Laporan laporan
   6. *As built drawing*

b. Verifikasi pengendalian mutu meliputi:
   1. Pekerjaan persiapan
   2. Pekerjaan dermaga
   3. Pekerjaan *landhope*
   4. Pekerjaan *causeway*
   5. Pekerjaan sarpras dermaga

c. Pengujian meliputi:
   1. Pemeriksaan visual
      a) Permukaan
      b) Konstruksi/struktur
      c) Dimensi/ukuran
      d) Pelaksanaan/pemasangan
   2. Pengujian dengan alat/laboratorium
      a) Uji kekuatan beton
      b) Uji besi tulangan
   3. Uji fungsi
      a) Uji fungsi instalasi listrik
      b) Uji fungsi instalasi air bersih

Materi Kegiatan Penilaian Kelaikan

Materi kegiatan penilaian kelaikan dermaga "X" meliputi beberapa penilaian antara lain:

a. Sistem Dukungan Kemampuan Struktur (SDKS)
   1. Pondasi;
   2. *Pile cap/poer*;
   3. Balok melintang;
   4. Balik memanjang;
   5. Pelat/*slab*;
   6. *Plank fender*;
   7. *Fender;* dan
   8. *Bollard*.

b. Sistem Dukungan Kemampuan Utilitas (SDKU)
   1. Instalasi listrik; dan
   2. Instalasi air bersih.

Hasil Verifikasi

a. Verifikasi Jaminan Mutu
Hasil verifikasi jaminan mutu dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1 Hasil Verifikasi Jaminan Mutu

No	Item Verifikasi	Hasil	Keterangan
1	Kontrak/adendum kontrak	Ada	Baik
2	Gambar teknis	Ada	Baik
3	Perhitungan struktur	Ada	Baik
4	Sertifikat	Ada	Baik
5	Uji bahan	Ada	Baik
6	Laporan	Ada	Baik
7	*Asbuilt drawing*	Ada	Baik

Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan bahwa dari tujuh item verifikasi dokumennya ada dan dalam kondisi baik dinyatakan laik.

b. Verifikasi Pengendalian Mutu
Hasil verifikasi pengendalian mutu dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2 Hasil Verifikasi Pengendalian Mutu

No	Item Verifikasi	Hasil	Keterangan
1	Pekerjaan persiapan	Ada	Baik
2	Pekerjaan dermaga	Ada	Baik
3	Pekerjaan *landhope*	Ada	Baik
4	Pekerjaan *causeway*	Ada	Baik
5	Pekerjaan sarpras	Ada	Baik

Tabel 2 menunjukkan bahwa kelima item verifikasi telah dilaksanakan dalam kondisi baik dinyatakan laik.

c. Pengujian
Pengujian dibagi menjadi tiga tahap, yaitu pengujian visual, pengujian dengan alat/laboratorium, dan pengujian fungsi. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3-5.

Tabel 3 Hasil Pengujian Secara Visual

No	Iten Verifikasi	Hasil	Keterangan
1	Permukaan	Baik	Laik
2	Kostruksi	Baik	Laik
3	Struktur	Baik	Laik
4	Ukuran	Baik	Laik
5	Pemasangan instalasi	Baik	Laik

Tabel 3 menunjukkan bahwa dari lima item verifikasi secara visual dalam kondisi baik dinyatakan laik.

ISSN 2987-677x

Tabel 4 Hasil Pengujian dengan Alat/Laboratorium

No	Item Verifikasi	Hasil	Keterangan
1	Kekuatan beton	Baik	Laik
2	Besi tulangan	Baik	Laik

Tabel 4 menunjukkan bahwa dari dua item pengujian yang dilaksanakan didapat hasil baik dinyatakan laik.

Tabel 5 Hasil Uji Fungsi

No	Item Verifikasi	Hasil	Keterangan
1	Instalasi listrik	Baik	Laik
2	Instalasi air bersih	Baik	Laik

Tabel 5 menunjukkan bahwa dari dua hasil uji fungsi yang dilaksanakan didapat hasil baik dinyatakan laik.

Penilaian Sistem Dukungan Kemampuan Struktur (SDKS) dan Sistem Dukungan Kemampuan Utilitas (SDKU)

a. Sistem Dukungan Kemampuan Struktur (SDKS):

Tabel 6 Sistem Dukungan Kemampuan struktur

No	Item Verifikasi	Hasil	Keterangan
1	Pondasi	Baik	Laik
2	*Pile cap/poer*	Baik	Laik
3	Balok melintang	Baik	Laik
4	Balok memanjang	Baik	Laik
5	Pelat/slab	Baik	Laik
6	*Plank fender*	Baik	Laik
7	*Fender*	Baik	Laik
8	*Bollard*	Baik	Laik

Tabel 6 menunjukkan bahwa dari delapan item yang dilaksanakan penilaian dalam kondisi baik dinyatakan laik.

b. Sistem Dukungan Kemampuan Utilitas (SDKU):

Tabel 7 Sistem Dukungan Kemampuan Utilitas

No	Item Verifikasi	Hasil	Keterangan
1	Instalasi listrik	Baik	Laik
2	Instalasi air bersih	Baik	Laik

Tabel 7 menunjukkan bahwa dari dua item yang dilaksanakan penilaian dalam kondisi baik dinyatakan laik.

Gambar Pelaksanaan Verifikasi Dermaga "X"

Gambar 1 *Pilecap Trestle* Dermaga "X"

Gambar 1 menunjukkan *pilecap trestle* merupakan struktur yang digunakan dalam konstruksi dermaga untuk mendukung dan menghubungkan tiang pancang (*pile*) dengan struktur atas dermaga.

Gambar 2 Pondasi Tiang Pancang Dermaga "X"

Gamabr 2 menunjukkan struktur yang digunakan untuk mendukung dan memperkuat dermaga dengan memindahkan beban dari struktur atas ke tanah yang lebih stabil dan kuat.

Gambar 3 Pengujian Kekuatan Mutu Beton

Gambar 3 menunjukkan tim verifikasi dermaga sedang melaksanakan uji mutu kekuatan pelat lantai dermaga "X" untuk mengetahui berapa nilai dari kekuatan beton tersebut.

Gambar 4 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Pelat Lantai

Gambar 4 menunjukkan nilai besaran kekuatan mutu beton pelat lantai dermaga "X" di ukur dengan menggunakan alat *hammer test*.

Gambar 5 Pekerjaan *Causeway*

 ISSN 2987-677x

Gambar 5 menunjukkan *causeway* dermaga yang menghubungkan daratan dengan dermaga atau struktur lepas pantai lainnya.

Gambar 6 Pekerjaan *Landhope*

Gambar 6 menunjukkan *landhope* dermaga atau lebih umum disebut sebagai "landas" atau "landas kontainer" dalam konteks dermaga, berfungsi sebagai area penyimpanan sementara untuk kontainer atau barang sebelum dipindahkan ke kapal atau setelah dibongkar dari kapal.

Gambar 7 Pekerjaan *Bolder* Dermaga

Gambar 7 menunjukkan *bolder* dermaga, atau lebih umum disebut sebagai *"bitt"* atau *"bollard"* dalam bahasa Inggris, adalah struktur yang digunakan di dermaga untuk mengikat atau menambatkan kapal.

Kesimpulan

Verifikasi pembangunan dermaga merupakan proses yang sangat penting untuk memastikan bahwa pembangunan dermaga dapat mendukung keberlanjutan operasional kapal. Dengan melakukan verifikasi, dapat diidentifikasi dan diatasi masalah-masalah yang dapat mempengaruhi keamanan, keselamatan, dan kualitas dermaga. Hasil verifikasi terhadap dermaga "X" berdasarkan pemeriksaan jaminan mutu, pengendalian mutu, Sistem Dukungan Kemampuan Struktur dan Sistem dukungan kemampuan utilitas menunjukkan bahwa Dermaga "X" dinyatakan baik dan laik. Dengan demikian, verifikasi pembangunan dermaga dapat membantu meningkatkan keberlanjutan operasional kapal dan meningkatkan kualitas pelayanan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Tim Surveyor yang telah melaksanakan verifikasi pembangunan Dermaga "X".

Referensi

Kramadibrata, S. (2002). *Perencanaan pelabuhan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Mulyono. (2017). *Perawatan fasilitas pelabuhan*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.

Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia. (2015). *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 51 Tahun 2015 tentang penyelenggaraan pelabuhan laut*. Jakarta: Kementerian Perhubungan.

Triatmodjo, B. (2010). *Perencanaan pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.

ISSN 2987-677x

Analisis Implementasi *Condition Base Monitoring* Guna Meningkatkan *Durability Major* Komponen pada Proses Pemeliharaan *Dump Truck*

Ahmad Mahrus[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ ahmadmahrus68@gmail.com

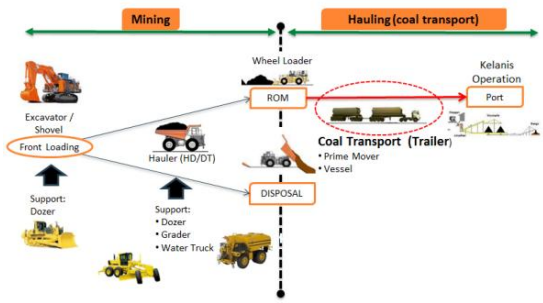
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsep pemeliharaan dengan implementasi pendekatan *Condition Base Monitoring* pada *heavy dump truck* HD785-7 di PT PPA sebagai salah satu kontraktor yang bergerak di bidang pertambangan di Indonesia. Metode penelitian yang digunakan adalah kualitatif yang meliputi studi literatur, wawancara, observasi langsung, serta analisis data terkait pemeliharaan berbasis pendekatan CBM. Pemeliharaan prediktif berbasis CBM dengan mengoptimalkan interval perawatan dan memilih teknik diagnostik yang tepat dengan sistem rating (A, B, C, X) guna membantu memprioritaskan tindakan berdasarkan tingkat keparahan kondisi komponen. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan CBM efektif dalam mendeteksi gejala kerusakan sejak dini melalui analisa kondisi yang ada berbasis data. Strategi ini terbukti dapat meningkatkan durabilitas komponen pada heavy dump truck HD785-7, peningkatan umur unit dan produktifitas perusahaan. Di samping itu, pendekatan berbasis CBM juga berkontribusi terhadap substainability perusahaan dikarenakan dapat menguransgi potensial limbah sebesar 25%.

Kata kunci: *condition base monitoring, durability, pemeliharaan, substainability*

Pendahuluan

PT Putra Perkasa Abadi (PPA) merupakan salah satu kontraktor pertambangan terkemuka di Indonesia yang menyediakan berbagai layanan untuk perusahaan pertambangan batubara, yang mencakup banyak aspek dari penambangan kontrak, perencanaan tambang, pekerjaan sipil, pengembangan infrastruktur, logistik pertanahan, dan reklamasi area pertambangan. PT PPA dalam melaksanakan aktivitas penambangannya sendiri memiliki inti bisnis yang dibagi menjadi 3, yaitu *over burden removal, coal hauling, port management*.

Dalam proses penambangan seperti Gambar 1, perlu didukung dengan *performance* alat pertambangan yang maksimal dan Departemen *Plant* menjadi penanggung jawab terhadap proses pemeliharaan alat berat. Kinerja alat berat dikatakan optimal, apabila mampu menghasilkan produksi maksimal dengan biaya minimal (Bagaskara, 2023). Berikut merupakan beberapa macam alat berat yang sering digunakan di industri pertambangan *heavy dump truck, excavator, motor grader, bulldozer, dump truck, prime mover, wheel loader,* dan unit beberapa unit pendukung.



Gambar 1 Bisnis Proses Pertambangan (PT PPA)

PT PPA memiliki sejumlah alat berat sebagai alat operasional pertambangan salah satunya adalah *heavy dump truck* HD785-7 yang memiliki peranan sebagai alat vital untuk mengangkut dan memindahkan material dari *loading point* atau *fleet* ke *disposal.*

Pada era globalisasi ekonomi dan peningkatan produksi, kondisi teknis alat berat sering kali menjadi kendala yang mengakibatkan *breakdown* cukup signifikan. Sebelum adanya perawatan *preventif,* perawatan alat berat dilakukan dengan metode *breakdown maintenance* dimana perawatan dilakukan ketika alat berat telah mengalami kerusakan (Darsini & Hartanto, 2022). Salah satu tujuan dalam proses perawatan yang baik adalah meningkatkan durabilitas major komponen pada alat berat, dikarenakan pemakaian *heavy dump truck* sangat tinggi, dalam 1 hari unit beroperasi 18 jam atau setara 540 dalam sebulan, sehingga diperlukan pemeliharaan ekstra agar dapat mencegah kerusakan pada major komponennya.

Adapun maksud dari major komponen sendiri terdiri dari *engine, transmission, bevel gear,* dan *final drive RH-LH*. Komponen yang tahan lama akan membantu meningkatkan efisiensi dan efektivitas operasional, menurukan *event breakdown unschedule* serta menekan biaya perbaikan. Salah satu pendekatan yang semakin populer untuk meningkatkan durabilitas ini adalah *condition based monitoring* (CBM), yang memungkinkan pemeliharaan dilakukan berdasarkan kondisi aktual komponen alih-alih menggunakan jadwal tetap (Poppe, 2018).

CBM menghadirkan metode yang lebih proaktif dibandingkan dengan pemeliharaan berbasis waktu (*time-based maintenance* atau TBM). Dengan memanfaatkan data kondisi secara *real-time*, CBM dapat mendeteksi potensi masalah sebelum terjadi kerusakan, memungkinkan perusahaan merencanakan pemeliharaan secara lebih efektif, sekaligus mengurangi risiko kerugian besar akibat kegagalan komponen (Jonge, 2017). Pendekatan CBM sebagai proses pemeliharaan memiliki peranan penting. Selain memperpanjang umur komponen, CBM juga memungkinkan perusahaan untuk mengoptimalkan jadwal

 ISSN 2987-677x

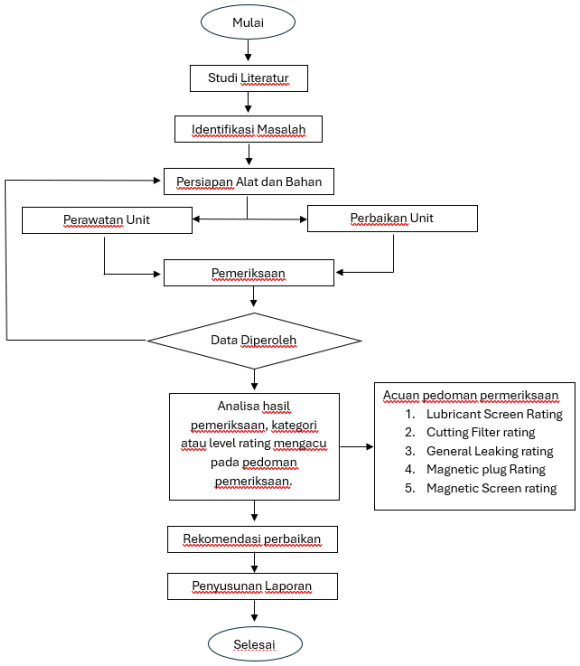
pemiliharaan dengan memanfaatkan prediksi yang akurat mengenai sisa umur komponen serta untuk mengetahui jenis perlakuan yang dibutuhkan.

Meninjau dari tujuan sasaran dan program keselamatan dan kesehatan kerja dan pertambangan lingkungan masyarakat (K3PLM) Departement Plant tahun 2024, CBM menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi ketercapaian target *high avaibility, best performance,* dan *reliable cost*. Penelitian ini juga menerapkan konsep *sustainability* aspek lingkungan, mengingat pabrikan memberikan rekomendasi untuk unit dilakukan pergantian pada major komponen dengan *lifetime* 18000 jam. Maka, dengan meningkatkan durabilitas komponen pada unit *heavy dump truck* HD785-7 tentu limbah atas kerusakan komponen bisa ditekan dan ketika ada kerusakan komponen masih dalam batasan wajar sehingga masih bisa dipergunakan kembali.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh implementasi *condition base monitoring* pada major komponen unit *heavy dump truck* HD785-7 dan mengetahui pengaruh implementasi *condition base monitoring* terhadap performa unit *heavy dump truck* HD785-7.

Metode

Metode penelitian ini mengadopsi pendekatan kualitatif dengan melakukan observasi langsung di PT PPA yang mengaplikasikan metode *condition based monitoring* (CBM). Observasi dilaksanakan secara mendalam untuk menganalisis proses pemeliharaan dan operasional alat berat, khususnya terkait durabilitas komponen. Data yang diperoleh diarahkan pada penilaian performa komponen alat berat menggunakan sistem rating, yaitu A, B, C, dan X, yang menunjukkan tingkat kelayakan serta kebutuhan pemeliharaan setiap komponen. Berikut merupakan alur penelitian yang penulis laksanakan untuk penelitian ini.



Gambar 2 Diagram Alur Penelitian

a. Studi Literatur

Mempelajari standar operasional prosedur pengaplikasian CBM yang ada di lingkup perusahaan dan mempelajari cara membaca *lubricant screen rating, cutting filter rating, general leaking rating, magnetic plug rating, magnetic screen rating* sesuai dengan buku panduan yang diberikan oleh pihak pabrikan serta membaca jurnal yang relevan dengan penelitian saat ini.

b. Identifikasi Masalah

Dalam pelaksanaan penelitian ini, penulis memerlukan data berupa sampel *lubricant screen rating, cutting filter rating, general leaking rating, magnetic plug rating, magnetic screen rating* pada unit HD7857 serta informasi yang berkaitan dengan implementasi CBM. Pengumpulan data dilakukan melalui wawancara dan observasi untuk memperoleh gambaran detail mengenai kondisi aktual komponen, prosedur pemeliharaan, dan teknologi yang diterapkan. Selain itu, data pendukung seperti riwayat perawatan, laporan performa alat berat, serta parameter teknis yang berkaitan dengan penerapan CBM. Seluruh data dianalisis secara komprehensif untuk memastikan validasi dan kesesuaiannya dengan kondisi yang terjadi aktual di lapangan

c. Persiapan Alat dan Bahan

Mempersiapkan berbagai peralatan alat dan bahan untuk melakukan pemeliharaan atau perbaikan unit, seperti unit HD7857, *toolbox*, botol sampel oli (PAP), papan *magnetic plug*, dan papan *cutting filter.*

d. Perawatan dan Perbaikan Unit

Pada proses ini, dilakukan perbaikan sesuai dengan prosedur yang ada di OMM dan temuan *backlog* serta dilakukan pengambilan sampel oli, *magnetic plug*, dan *cutting filter.*

e. Analisa Hasil Pemeriksaan dan Rekomendasi Perbaikan

Pada tahap ini peneliti mengunakan metode analisa kondisi yang ada (anakonda) dimana peneliti melakukan tahapan-tahapan yang dilakukan dengan melihat situasi yang terjadi dilapangan dan mengali ketidaksesuaian yang terjadi. Analisa data dilakukan setelah proses perawatan dan perbaikan selesai guna memberikan rekomendasi terhadap performa major komponen yang bertujuan untuk meningkatkan durabilitas komponen. Penerapan konsep rating (A, B, C, dan X) memeliki peranan penting di sini dimana ketika ada temuan dengan rating X maka sampel oli, *magnetic plug,* dan *cutting filter* akan dibawa ke laboratorium untuk dianalisa lebih lanjut terkait kerusakannya.

Hasil Kerja

Perencanaan dan pengumpulan data

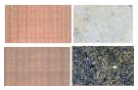
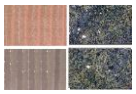
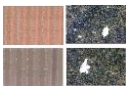
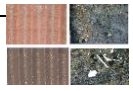
Pada tahap ini peneliti memiliki temuan aktual kondisi di lapangan yang bisa dijadikan acuan sebagai pedoman dalam menentukan *rating*. Menurut penelitian sebelumnya, penerapan konsep *rating* (A, B, C, dan X) efektif dalam memberikan informasi yang jelas terkait kondisi aktual komponen. Rincian hasil penelitian ini dapat ditemukan pada tabel 1, 2, dan 3, yang menjelaskan kondisi dan kategori masing-masing komponen secara terperinci. Kategori "A" menunjukkan kondisi bersih atau adanya temuan partikel halus yang masih dalam batas keausan normal, sedangkan kategori "X" mengindikasikan kerusakan parah yang ditandai oleh pecahan logam besar.

 ISSN 2987-677x

Tabel 1 *Rating Magnetic Plug*

RATING MAGNETIC PLUG		
Kategori *Rating*	Rekomendasi	Gambar
A	Tampilan ini adalah keausan biasa, temuan hanya pasta abu-abu yang lembut, tidak ada sepihan metal. Unit dapat digunakan kembali setelah plug dibersihkan.	
B	Menunjukkan tahap awal keausan *bearing* dan *roller*. Terdiri dari partikel logam kecil yang mengilap. Tidak ada serpihan atau fragmen besar. Hasil dicatat untuk pemantauan periode perawatan berikutnya. Unit dapat digunakan kembali setelah *plug* dibersihkan.	
C	Ada serpihan kecil berupa partikel logam mengilap pada komponen, Beri tahu pengawas. *Monitoring* lebih ketat pada 100 jam selanjutnya sampai perawatan berikutnya. Unit dapat digunakan kembali setelah *plug* dibersihkan.	
X	Kerusakan komponen yang sudah parah mengandung kontaminasi yang sudah terkumpul sejak pemeriksaan terakhir. Isinya terdiri dari pecahan logam dengan serpihan kecil hingga besar. Beri tahu pengawas agar komponen yang rusak dapat dilakukan pergantian secepatnya.	

Tabel 2 *Rating Cutting Filter*

RATING CUTTING FILTER		
Kategori *Rating*	Rekomendasi	Gambar
A	Tampilan ini adalah keausan biasa, temuan hanya pasta abu-abu yang lembut, tidak ada sepihan metal. Unit dapat digunakan kembali setelah plug dibersihkan	
B	Menunjukkan tahap awal keausan *bearing* dan *roller*. Terdiri dari partikel logam kecil yang mengilap. Tidak ada serpihan atau fragmen besar. Hasil dicatat untuk pemantauan pada perawatan berikutnya. Unit dapat digunakan kembali setelah plug dibersihkan	
C	Ada serpihan kecil berupa partikel logam mengilap pada komponen, Beri tahu pengawas. *Monitoring* lebih ketat pada 100 jam selanjutnya sampai perawatan berikutnya. Unit dapat digunakan kembali setelah plug dibersihkan	
X	Kerusakan komponen yang sudah parah mengandung kontaminasi yang sudah terkumpul sejak pemeriksaan terakhir. Isinya terdiri dari pecahan logam dengan serpihan kecil hingga besar. Beri tahu pengawas agar komponen yang rusak dapat dilakukan pergantian secepatnya.	

Tabel 3 *Magnetic Screen Rating*

RATING MAGNETIC SCREEN		
Kategori *Rating*	Rekomendasi	Gambar
A	Tampilan ini adalah keausan biasa, temuan hanya pasta abu-abu yang lembut, tidak ada sepihan metal. Unit dapat digunakan kembali setelah plug dibersihkan.	
B	Menunjukkan tahap awal keausan *bearing* dan *roller*. Terdiri dari partikel logam kecil yang mengilap. Tidak ada serpihan atau fragmen besar. Hasil dicatat untuk pemantauan pada perawatan berikutnya. Unit dapat digunakan kembali setelah *plug* dibersihkan.	
C	Ada serpihan kecil berupa partikel logam mengilap pada komponen, beri tahu pengawas. Monitoring lebih ketat pada 100 jam selanjutnya sampai perawatan berikutnya. Unit dapat digunakan kembali setelah *plug* dibersihkan.	
X	Kerusakan komponen yang sudah parah mengandung kontaminasi yang sudah terkumpul sejak pemeriksaan terakhir. Isinya terdiri dari pecahan logam dengan serpihan kecil hingga besar. Beri tahu pengawas agar komponen yang rusak dapat dilakukan pergantian secepatnya.	

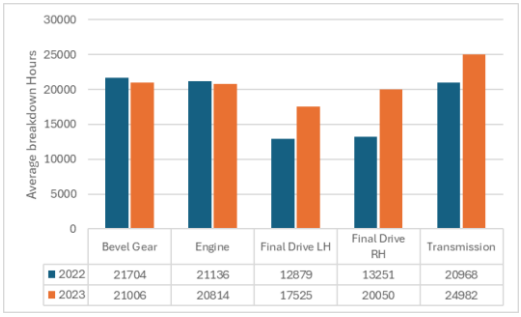
Studi Literatur dan pengolahan data

Berdasarkan literatur dari laporan perusahaan didapati bahwasannya tren kerusakan major komponen *heavy dump truck* HD785-7 dari tahun 2022 sampai tahun 2023 mengalami peningkatan yang cukup signifikan sehingga menghasilkan potensial limbah yang cukup besar.

Tabel 4 Kerusakan Komponen *Heavy Dump Truck* HD785-7

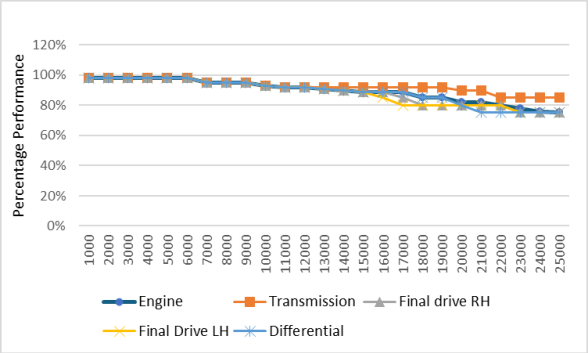
Jenis Komponen	2022		2023	
	Jenis Kerusakan	*Average lifetime*	Jenis Kerusakan	*Average lifetime*
Bevel Gear	28	21704	23	21006
Engine	3	21136	6	20813
Final Drive LH	9	12879	16	17524
Final Drive RH	8	13251	15	20050
Transmission	1	20968	1	24982
Grand Total	49	18653	60	19819

 ISSN 2987-677x



Gambar 3 Rata-Rata Waktu Kerusakan Komponen *Heavy Dump Truck* HD785-7

Pada Tabel 4 dan Gambar 3 terkait dengan tren kerusakan komponen yang terjadi pada komponen *heavy dump truck* HD785-7 dapat disimpulkan bahwa semakin bertambahnya usia unit semakin menurun juga performa major komponennya dan hal ini sesuai dengan rekomendasi dari pihak pabrikan dimana pada usia komponen 18000 jam sampai 24000 jam akan mengalami *fatigue material* sehingga diperlukan perawatan extra untuk memaksimalkan usia komponen.



Gambar 4 Tren Penurunan Performa Komponen

Analisis Data

Pada Tabel 4 dan Gambar 3 kita melihat tren penurunan performa terjadi di rata-rata *working hours* 19000 jam hal ini dapat dibuktikan pada gambar 4. Sehingga peneliti mencoba menganalisa lebih lanjut terhadap konsep pendekatan CBM. Hal ini dikarenakan perawatan alat berat menjadi aspek yang sangat penting dalam *industry* modern, terutama kaitannya dengan peningkatan durabilitas komponen. Diharapkan dengan pendekatan CBM penurunan performa pada major komponen dapat dipertahankan pada kondisi terbaiknya. Hal ini dapat dibuktikan pada Tabel 5 dimana event kerusakan major komponen berkurang hingga 25% pada tahun berikutnya dan juga dengan pendekatan CBM performance major mengalami peningkatan sebanyak 11% dari persentase plan scrap unit di working hours 34000 sesuai dengan *Voice of Board Direction* PPA pada tahun 2024. Sedangkan, jika menghitung waktu *breakdown* operasional dengan CBM, maka perusahaan akan dapat mengurangi waktu operasinal yang diakibatkan oleh kerusakan pada major komponen sebesar 14%. Hal ini dikarenakan deteksi dini komponen pada interval sevice kelipatan 250 jam hal ini perlu dilakukan mengingat target *Physical avaibility* yang ditargetkan 92,2% per bulan sehingga diharapkan aktifitas pemeliharaan bisa dioptimalkan pada 56 jam dengan MOHH (*Man On Hand Hours)* 720 jam dalam satu bulan.

Tabel 5 Kerusakan Komponen *Heavy Dump Truck* HD785-7 Periode Tahun 2024

Jenis Komponen	2024	
	Jenis Kerusakan	Average lifetime
Bevel Gear	16	22939
Engine	2	24111
Final Drive LH	2	23537
Final Drive RH	2	21604
Transmission	0	0
Grand Total	22	23066

Pada dasarnya proses perawatan yang baik merupakan suatu proses dimana perawatan dikerjakan sesuai dengan *shop manual dan operation manual and maintenance* yang dikeluarkan oleh pabrikan. Secara keseluruhan komponen pasti akan mengalami *fatique material* mengingat *Heavy Dump Truck* HD785-7 memiliki peranan sebagai alat vital untuk mengangkut dan memindahkan material dari *loading point* atau *fleet* ke *disposal* sehingga diharapkan selalu dalam kondisi prima sesuai dengan tujuan dari perawatan yaitu *high avaibility, best performance, dan reliable cost*. Dengan demikian, meningkatnya persaingan dalam industri batubara menuntut peningkatan pemeliharaan, yang bertujuan untuk mengurangi pengeluaran pemeliharaan sambil menjaga keselamatan operasi agar supaya target substainability bisa dicapai oleh perusahaan (Khodabakhshian, 2013).

Namun, ketika pemeliharaan dikombinasikan dengan CBM, perawatan preventif dapat dioptimalkan untuk mengurangi *breakdown* yang tidak perlu dan meningkatkan efisiensi secara keseluruhan (Alaswad & Xiang, 2017). Strategi perawatan yang efektif dalam manajemen unit bergantung pada teknik pemantauan berbasis kondisi (CBM), termasuk analisis pelumas, pemantauan getaran, dan termografi, untuk mendeteksi potensi kegagalan sebelum perbaikan besar diperlukan (Bakana, 2015). Menerapkan pemantauan CBM tidak hanya menyediakan data yang andal untuk perencanaan pemeliharaan yang kuat tetapi juga berkontribusi pada peningkatan umur mesin dan produktivitas pertanian secara keseluruhan (Salawu, 2023). Pendekatan ini sangat penting, terutama untuk alat berat, dimana kerusakan pada komponen dapat menimbulkan dampak finansial yang signifikan dan mengganggu kelancaran operasional (Elisabeth, 2019).

Pada dasarnya penerapan CBM secara masif menghasilkan konteks pengambilan keputusan yang dinamis dan sangat kompleks, tidak hanya dari informasi yang tersedia tetapi juga jumlah kejadian dan kondisi temuan pada komponen, banyak di antaranya yang saling berhubungan. Penanganan semua skenario kompleks ini merupakan hambatan bagi penerapan praktis solusi CBM dalam rencana pemeliharaan preventif. Di samping itu, diperlukan juga untuk menganalisis hasil CBM dampaknya terhadap tingkat risiko kegagalan, cara memprogram dan mengelola pengambilan keputusan pemeliharaan terkait dengan evolusi risiko yang dinamis. Strategi ini tidak hanya membantu pengoptimalan manajemen pemeliharaan tetapi juga memfasilitasi hubungan pemeliharaan yang baik dengan manajemen risiko global dalam organisasi, yang sejalan dengan prinsip-prinsip manajemen aset modern. (Pablo, 2022). Beberapa faktor yang mempengaruhi performa major komponen karena pelumasan yang tidak memadai, beban yang diberikan berlebihan, masalah

 ISSN 2987-677x

pemasangan, kesalahan produksi, medan area kerja, serta prosedur pengoprasian. Karena kerusakan *gear roller dan bearing* secara alami melibatkan ketidakmampuan sistem pada komponen untuk menjalankan fungsi yang diperlukan, konsekuensi dari kerusakan tersebut dapat sangat serius dan mahal. Untuk mengurangi jumlah kerusakan yang tidak direncanakan, strategi CBM dapat diadopsi yang bertujuan untuk mengoptimalkan jadwal tindakan pemeliharaan, berdasarkan analisis keadaan sebenarnya dari komponen tersebut, sebagaimana ditentukan dengan menerapkan CBM (Mohammed, 2020).

Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian yang bertujuan untuk menganalisis konsep pemeliharaan dengan implementasi pendekatan *condition base monitoring* pada *heavy dump truck* HD785-7 di PT PPA sebagai salah satu kontraktor yang bergerak di bidang pertambangan di Indonesia. Maka, dapat disimpulkan bahwa pendekatan CBM efektif dalam mendeteksi gejala kerusakan sejak dini melalui analisa kondisi yang ada berbasis data. Pendekatan berbasis CBM terbukti efektif dikarenakan dalam implementasinya bersifat *predictive* berdasarkan kondisi aktual komponen. Hal tersebut sesuai dengan hasil analisa data terhadap tren kerusakan komponen pada periode tahun 2022 sampai tahun 2024. Pemeliharaan prediktif berbasis CBM dengan mengoptimalkan interval perawatan dan memilih teknik diagnostik yang tepat dengan sistem *rating* (A, B, C, X) guna membantu memprioritaskan tindakan berdasarkan tingkat keparahan kondisi komponen. Strategi ini terbukti dapat meningkatkan durabilitas komponen pada *heavy dump truck* HD785-7, peningkatan umur unit dan produktifitas perusahaan. Di samping itu, pendekatan berbasis CBM juga berkontribusi terhadap *substainability* perusahaan dikarenakan dapat menguransgi potensial limbah sebesar 25%.

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang berkontribusi dan berperan langsung pada proyek tersebut di antaranya:

1. Ir. Lusia Permata Sari Hartanti, S.T., M.Eng., CIOMP., IPM., ASEAN Eng. sebagai dosen pembimbing atas bimbingan dan arahan yang telah diberikan dalam proses penyelesaian tulisan ini,
2. Segenap rekan kerja di PT Putra Perkasa Abadi yang sudah membantu bekerja sama dalam mensukseskan proyek ini.

Referensi

Alaswad, S., & Xiang, Y. (2017). A review on condition-based maintenance optimization models for stochastically deteriorating systems. *Reliability Engineering & System Safety*, *157*, 54–63. https://doi.org/10.1016/j.ress.2016.08.003.

Bagaskara, F. S., Aditya, M. R., Aldyansyah, D., Aji, D. M., Sitanggang, F. A., Khairi, M. M., & Paundra, F. (2023). Perawatan mesin alat berat wheel loader PT. XYZ. *Jurnal Teknik Mesin*, *20*(1), 18–23. https://doi.org/10.9744/jtm.20.1.18-23.

Bekana, D., Antoniev, A., Zach, M., & Marecek, J. (2015). Monitoring of agricultural machines with used engine oil analysis. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, *63*(1), 15–22. https://doi.org/10.11118/actaun201563010015.

Darsini, & Hartanto, T. (2022). Periodical maintenance service Volvo Truck FMX 440 di PT Madhani Talatah Nusantara. *Indonesian Journal of Mechanical Engineering*, *2*, 71–75. https://doi.org/10.58466/injection.v2i2.393.

Elisabeth, K., John, L., Lars, H., Magnus, K., & Jing, L. (2019). Vibration-based condition monitoring of heavy-duty machine driveline parts: Torque converter, gearbox, axles and bearings. *International Journal of Prognostics and Health Management*, *10*(1), 1–10.

Jonge, B., Teunter, R., & Tinga, T. (2017). The influence of practical factors on the benefits of condition-based maintenance over time-based maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*, *158*, 21–30. https://doi.org/10.1016/j.ress.2016.09.014.

Khodabakhshian, R. (2013). A review of maintenance management of tractors and agricultural machinery: Preventive maintenance systems. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, *15*(4), 147–157.

Martínez-Galán Fernández, P., Guillén López, A. J., Crespo Márquez, A., Gómez Fernández, J. F., & Marcos, J. A. (2022). Dynamic risk assessment for CBM-based adaptation of maintenance planning. *Reliability Engineering & System Safety*, *223*, 108359. https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108359.

Mohammed, O., & Rantatalo, M. (2020). Gear fault models and dynamics-based modelling for gear fault detection. *Engineering Failure Analysis*, *117*, 104798. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104798.

Poppe, J., Boute, R., & Lambrecht, M. (2018). A hybrid condition-based maintenance policy for continuously monitored components with two degradation thresholds. *European Journal of Operational Research*, *268*, 515–532. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.01.008.

PT Putra Perkasa Abadi. (2021). *Standar Operasional Prosedur Condition Based Monitoring Departemen Plant*. Kalimantan Selatan: PT Putra Perkasa Abadi.

PT Putra Perkasa Abadi. (2021). *Tujuan, sasaran, dan program K3PLM Departemen Plant*. Kalimantan Selatan: PT Putra Perkasa Abadi.

Salawu, E. Y., Airewa, I., Akerekan, O. E., & Edun, B. M. (2023). Condition monitoring of farm machinery: A maintenance strategy for sustainable livestock production – A review. *E3S Web of Conferences*, *430*, 01227. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343001227.

ISSN 2987-677x

Implementasi Perbaikan Beton dengan Fosfroc Patchroc RSP pada Ruas Bakauheni-Terbanggi Besar Tol

Daniel Marthen Turot[1] Suratno Lourentius[2]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
[2] PT.Hutama Karya (Persero)
[3] PT.Bakauheni-terbanggi Besar Tol

✉ daniel.marthen@hutamakarya.com
✉ suratno.lourentius@ukwms.ac.id

Perbaikan beton pada infrastruktur jalan tol memerlukan solusi yang cepat dan andal untuk meminimalkan gangguan lalu lintas. Fosroc Patchroc RSP adalah material perbaikan beton siap pakai yang dirancang untuk aplikasi cepat dan berkinerja tinggi. Artikel ini membahas implementasi Patchroc RSP pada ruas Tol Bakauheni–Terbanggi Besar, menyoroti efisiensi waktu pengerjaan, kinerja mekanis, dan keunggulan teknis material ini dalam konteks perbaikan jalan tol.

Kata kunci: beton, implementasi, Fosfroc Patchroc RSP

Pendahuluan

Jalan tol merupakan elemen vital dalam sistem transportasi nasional yang berfungsi sebagai tulang punggung distribusi logistik dan mobilitas antarwilayah. Salah satu ruas penting dalam jaringan Tol Trans-Sumatera adalah Bakauheni–Terbanggi Besar, yang membentang sepanjang ±140 km dan menjadi koridor utama penghubung pelabuhan Bakauheni dengan wilayah tengah Pulau Sumatera. Dengan volume lalu lintas harian yang tinggi, terutama dari kendaraan berat, perkerasan beton pada ruas ini mengalami tekanan dinamis yang signifikan, sehingga berisiko mengalami kerusakan struktural dan fungsional dalam waktu singkat apabila tidak ditangani dengan tepat.

Kerusakan umum yang terjadi pada perkerasan beton meliputi *spalling*, retak struktural, delaminasi, dan abrasi permukaan, yang apabila dibiarkan dapat menurunkan kualitas layanan jalan, meningkatkan risiko kecelakaan, serta mempercepat degradasi struktur beton. Oleh karena itu, diperlukan metode perbaikan yang efisien secara waktu, tangguh secara mekanis, dan adaptif terhadap beban lalu lintas tinggi. Dalam konteks ini, pemilihan material perbaikan menjadi krusial untuk memastikan bahwa umur layan dari perkerasan beton dapat diperpanjang tanpa mengganggu kelancaran arus lalu lintas.

Fosroc Patchroc RSP merupakan salah satu material mortar perbaikan cepat *(rapid setting repair mortar)* yang diformulasikan secara khusus untuk aplikasi horizontal seperti jalan, apron bandara, dan pelabuhan. Produk ini berbasis semen, bersifat *non-shrink*, *self-compacting*, serta memiliki kekuatan tekan awal yang tinggi, yakni mencapai 30 MPa dalam 2 jam. Keunggulan ini memungkinkan pelaksanaan pekerjaan perbaikan dapat diselesaikan dalam waktu singkat dan jalan dapat segera dibuka kembali untuk lalu lintas, sehingga sangat cocok untuk proyek-proyek perbaikan dengan waktu henti minimal seperti pada jalan tol aktif.

Implementasi Patchroc RSP pada ruas Bakauheni–Terbanggi Besar menjadi studi penting dalam mengevaluasi efektivitas material ini dalam konteks kondisi lapangan Indonesia, yang memiliki tantangan khusus berupa iklim tropis basah, kondisi tanah ekspansif di beberapa titik, serta intensitas curah hujan tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis proses pelaksanaan perbaikan, kinerja teknis produk, serta tantangan operasional yang dihadapi selama implementasi Patchroc RSP di lapangan. Hasil dari studi ini diharapkan dapat menjadi acuan teknis dalam pemilihan material perbaikan beton cepat pada proyek infrastruktur jalan tol di Indonesia secara umum.

Metode

Kerusakan Beton pada Jalan Tol

Jalan tol merupakan infrastruktur vital yang menerima beban kendaraan berat secara terus-menerus. Beban lalu lintas tinggi, perubahan suhu ekstrem, dan kelembaban dapat menyebabkan berbagai kerusakan struktural pada permukaan beton, seperti retak, *spalling* (pengelupasan permukaan), dan deformasi (Tjokrodimuljo, 2007). Pada ruas Bakauheni–Terbanggi Besar yang merupakan bagian dari jaringan Tol Trans-Sumatera, intensitas lalu lintas truk angkutan barang sangat tinggi, sehingga potensi kerusakan beton lebih besar dan membutuhkan solusi perbaikan yang cepat serta tahan lama.

Metode Perbaikan Beton Cepat

Perbaikan beton pada jalan tol membutuhkan material yang memiliki kekuatan tinggi dalam waktu singkat. Mortar perbaikan cepat (*rapid setting mortar*) adalah salah satu solusi yang dirancang untuk mempercepat proses perbaikan tanpa mengorbankan kualitas. Bahan ini biasanya memiliki sifat non-shrink, daya rekat tinggi terhadap beton lama, dan tahan terhadap abrasi serta perubahan cuaca ekstrem (Neville, 2012).

 ISSN 2987-677x

Fosroc Patchroc RSP

Fosroc Patchroc RSP adalah material perbaikan cepat berbasis semen dengan performa tinggi yang dirancang khusus untuk perbaikan beton horizontal. Produk ini mampu mencapai kekuatan tekan awal 20 MPa dalam 2 jam dan 60 MPa dalam 28 hari, sehingga ideal untuk kondisi jalan tol yang menuntut pembukaan lalu lintas dalam waktu singkat (Fosroc, 2020). Karakteristik teknis Patchroc RSP meliputi:

1. Waktu setting cepat: lalu lintas dapat dibuka dalam 4 jam.
2. Ketebalan aplikasi: 25 mm – 100 mm (tanpa agregat), hingga 250 mm (dengan agregat).
3. *Self-compacting* dan *non-shrink*.
4. Ketahanan terhadap beban dinamis dan siklus beku-cair.

Produk ini telah banyak digunakan pada proyek infrastruktur besar di Indonesia, termasuk perbaikan di Tol Bakauheni–Terbanggi Besar, untuk memperbaiki kerusakan yang bersifat mendesak tanpa mengganggu operasional jalan tol secara signifikan.

Aplikasi di Lapangan

Dalam implementasinya di lapangan, Patchroc RSP diaplikasikan setelah dilakukan pemotongan dan pembersihan area beton yang rusak. Material dicampur dengan air bersih sesuai rasio, kemudian diaplikasikan langsung ke area yang telah disiapkan. Karena sifat pengerasan cepatnya, pelaksana harus bekerja dengan efisien dan terkoordinasi. Penggunaan Patchroc RSP terbukti mempercepat waktu perbaikan, mengurangi gangguan lalu lintas, serta meningkatkan umur layanan perkerasan beton di ruas tol. Hal ini sangat penting untuk ruas Bakauheni–Terbanggi Besar, yang menjadi jalur utama distribusi logistik di wilayah Sumatera bagian selatan.

Hasil Impelementasi

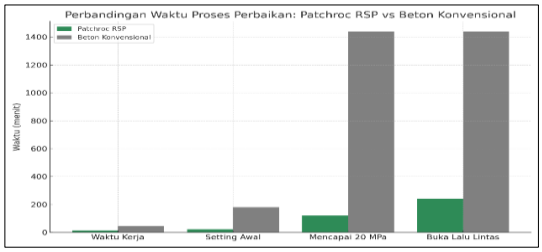
Kondisi Beton Setelah Perbaiki

Permukaan hasil perbaikan tampak padat, homogen, dan bebas rongga (voids) maupun segregasi. Tidak terdeteksi adanya delaminasi, yaitu kegagalan ikatan antara beton lama dengan material baru, bahkan setelah dilewati kendaraan berat selama 30 hari. Permukaan tetap keras dan kaku saat diinjak atau dipukul (pemeriksaan taktil), tanpa tanda keropos. Perbedaan warna antara perbaikan dan beton eksisting dapat diminimalkan dengan *finishing* tambahan, namun secara teknis tidak mempengaruhi performa.

Gambar 1 Hasil Pengaplikasian Fosroc Patchroc RSP

Efisieni Waktu

Dengan durasi pengerjaan ±2–3 jam per titik dan tanpa perlu curing panjang tim dapat menyelesaikan 3–5 titik per hari, dibanding hanya 1–2 titik dengan metode biasa.Menghemat waktu pelaksanaan proyek secara keseluruhan hingga 60%, termasuk pengurangan waktu *standby* alat dan personel yang bisa menghambat arus lalu lintas



Gambar 2 Perbandingan Waktu Perbaikan

Pembuatan Job Mix Formula *(JMF)*

Dalam perencanaan campuran didapatkan komposisi campuran untuk terdiri dari 2 dan 6 benda uji:

Tabel 1 Komposisi Campuran dengan Agregat

No.	Bahan	Jumlah
1	Patchroc RSP	30 kg
2	Air bersih	4.7–5.2 liter
3	Agregat 8–12 mm	12.5 kg
4	Pasir zona 2	7.5 kg

Tabel 2 Komposisi campuran tanpa Agregat

No.	Bahan	Jumlah
1	Patchroc RSP	30 kg
2	Air bersih	4.7 – 5.2 liter
3	Pasir zona 2 (opsional)	±7.5 kg

Pengujian Kuat Tekan Beton

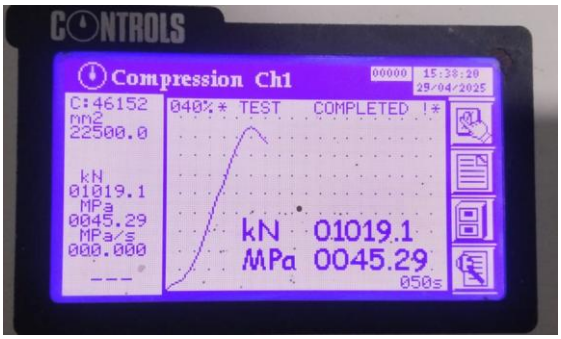
Berikut adalah hasil pengujian beton yang dilakukan di laboratorium di antaranya:

Tabel 3 Hasil Kuat Tekan Beton Tanpa Campuran Agregat

No	Tanggal Cor	Tanggal Uji	Umur Beton	Luas (mm2)	Berat Beton (gr)	Beban Maksimum (KN)	Beban Maksimum (kg)	Kuat Tekan saat diuji (N/mm2)
1	29/04/25	29/04/25	4 jam	2500	305,7	111,4	11356	44,56
2	29/04/25	29/04/25	4 jam	2500	314,4	108,2	11030	43,28
3	29/04/25	29/04/25	4 jam	2500	301,1	115,2	11743	46,08

Tabel 4 Hasil Kuat Tekan Beton dengan Campuran Agregat

No	Tanggal Cor	Tanggal Uji	Umur Beton	Berat Beton (gr)	Luas (mm^2)	Beban Maksimum (KN)	Beban Maksimum (kg)	Kuat Tekan (N/mm^2)
1	29/04/2025	29/04/2025	4 jam	8142	22500	1019.01.00	103884	45.29.00
2	29/04/2025	29/04/2025	4 jam	8053	22500	974.05.00	99337	43.31.00
3	29/04/2025	29/04/2025	4 jam	8051	22500	993.00.00	101223	44.13.00



Gambar 3 Hasil Pembacaan Pada Alat Uji

 ISSN 2987-677x

Gambar 4 Kontroling pengujian

Kesimpulan

Penerapan bahan Fosroc Patchroc RSP dalam proyek perbaikan perkerasan beton di ruas Tol Bakauheni–Terbanggi Besar dapat disimpulkan:

1. Fosroc Patchroc RSP terbukti efektif dalam menangani kerusakan perkerasan beton seperti *spalling*, retak struktural, dan lubang lokal pada ruas tol aktif dengan lalu lintas tinggi.
2. Material ini memiliki waktu pengerasan cepat dengan kekuatan tekan awal >20 MPa dalam waktu ±2 jam, memungkinkan pembukaan lalu lintas hanya dalam ±4 jam setelah aplikasi, sehingga sangat mengurangi waktu tutup lajur dan gangguan terhadap arus kendaraan.
3. Hasil evaluasi lapangan menunjukkan tidak terjadi delaminasi, retak ulang, maupun deformasi pada area perbaikan hingga 30 hari setelah aplikasinya, menunjukkan daya rekat dan durabilitas material yang tinggi.
4. Implementasi Patchroc RSP meningkatkan efisiensi waktu kerja hingga 80% dibanding metode konvensional, memungkinkan pengerjaan 3–5 titik per hari dalam kondisi optimal.
5. Penggunaan Patchroc RSP sangat direkomendasikan untuk proyek perbaikan jalan tol yang membutuhkan kecepatan pelaksanaan, mutu struktural tinggi, dan ketahanan terhadap beban lalu lintas berat.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kepada tim teknis, manajer proyek, serta pihak-pihak yang terlibat langsung dalam implementasi dan evaluasi proyek perbaikan beton ini, atas dedikasi dan kerja kerasnya yang tidak ternilai. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat yang besar bagi dunia konstruksi, khususnya dalam bidang perbaikan beton yang lebih efisien dan berkualitas.

Referensi

Wardi, S., Sridewi, A. K., & Arman, A. (2021). Pengaruh penambahan zat adiktif Fosroc Conplast R dan Fosroc SP 337 terhadap kuat tekan beton dengan variasi kadar air: *Effect of Fosroc Conplast R and Fosroc SP 337 additives on the compressive strength of concrete with variation of water-cement ratio*. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, *10*(1), 10–16.

AASHTO. (2003). *Standard method of test for sieve analysis of fine and coarse aggregates (AASHTO T 27-99)*. American Association of State Highway and Transportation Officials. https://www.in.gov/indot/div/mt/aashto/testmethods/aashto_t27.pdf.

ISSN 2987-677x

Kesehatan dan Keselamatan Kerja dengan Standar Operasional Prosedur (SOP) Las Listrik Busur Manual di CV Four BR

Sri Mulyo Bondan Respati [1,2] Lusia Permata Sari Hartanti [1] Muhammad Nailul Anwar [2]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[2] Jurusan Teknik Mesin, Universitas Wahid Hasyim

✉ bondan@unwahas.ac.id

UMKM bengkel manufaktur merupakan sebuah industri manufaktur yang di dalamnya terdapat mesin-mesin berat yang mengandung bahaya. Dalam perkembangan teknologi manufaktur perlu adanya standar pengerjaan untuk menjadikan efisien. Efisien ini termasuk dalam penghematan energi. Salah satu upaya dalam pengerjaan manufaktur agar lebih efisien yaitu dengan mengupayakan pengoperasian mesin-mesin alat berat sesuai prosedur. Selain efisien, juga lebih kepada pengingat pekerja akan keselamatan dan kesehatan kerja jika mengikuti prosedur. Prosedur ini dituangkan dalam standar operasi prosedur (SOP) yang nantinya dapat dibaca oleh pekerja. Dalam SOP ini selain prosedur juga terdapat standar keselamatan dan kesehatan kerja (K3) dalam pengoperasian alat. Kebanyakan UMKM bengkel manufaktur belum memiliki SOP baik operasi pengerjaan maupun K3. Penelitian ini bertujuan untuk membuat SOP pada UMKM bengkel manufaktur agar pekerja dapat melakukan pekerjaan sesuai dengan standar baik operasi maupun K3.

Kata kunci: Manufaktur, Las, SOP, K3

Pendahuluan

CV Four BR berdiri tahun 2016 oleh manajer berpengalaman dan mempunyai skill dalam bidang manufakturing. CV four BR menyediakan jasa pembuatan dan perbaikan part komponen mesin. Lokasi CV Four BR terletak di Jl. Kedungpane, Wates, Kec. Ngalian, Kota Semarang, Jawa Tengah. CV Four BR salah satu UMKM yang sedang mengembangkan diri agar dapat berkompetisi di Industri manufaktur. Kemajuan pesat dalam teknologi manufaktur telah memicu peningkatan persaingan di sektor industri, mendorong perusahaan untuk terus meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses produksi. Efisien ini termasuk penghematan energi yang menjadikan tujuan dari pengembangan keberlanjutan (*sustainability*).

Salah satu strategi yang dilakukan adalah dengan memperpanjang masa operasional fasilitas industri serta meminimalkan kerugian produksi akibat kerusakan peralatan. Pada CV Four BR mempunyai divisi las. Divisi las ini adalah divisi yang mengerjakan pekerjaan las. Pekerjaan las adalah menyambung kontruksi berbahan logam. Penyambungan ini memerlukan sebuah mesin. Mesin merupakan salah satu fasilitas penting yang memengaruhi kelancaran proses produksi dan perlu mendapatkan perhatian khusus. Salah satu jenis mesin dalam bidang manufaktur adalah mesin las.

Mesin las berfungsi untuk menggabungkan dua atau lebih material logam dengan cara melelehkan sebagian dari material tersebut (Zhu et al., 2021). Mesin las memiliki berbagai jenis, salah satunya adalah mesin las arus bolak-balik (mesin AC), yang beroperasi dengan memanfaatkan arus listrik bolak-balik (AC) dari sumber seperti pembangkit listrik, listrik PLN, atau generator AC, yang berfungsi sebagai sumber daya dalam proses pengelasan. Namun, tegangan listrik yang dihasilkan oleh sumber tersebut umumnya belum sesuai dengan kebutuhan pengelasan dan perlu disesuaikan. Sementara itu, mesin las arus searah (mesin DC) menggunakan arus listrik searah (DC) untuk menghasilkan nyala busur listrik yang dibutuhkan dalam proses pengelasan. Mesin las ganda (mesin AC-DC) merupakan jenis mesin las yang dapat digunakan untuk proses pengelasan dengan arus searah (DC) maupun arus bolak-balik (AC). Mesin ini dilengkapi dengan transformator satu fasa dan alat perata yang tergabung dalam satu unit. Arus bolak-balik yang dihasilkan berasal dari terminal lilitan sekunder transformator dan dialirkan melalui regulator arus (Bhirawa, 2013). Hasil pengelasan juga dipengaruhi oleh parameter las, yaitu penentuan jenis mesin las, penunjukan operator las, pemilihan arus listrik yang sesuai, pemilihan elektroda, serta pengaturan jarak dan posisi pengelasan merupakan faktor-faktor penting yang perlu diperhatikan dalam proses pengelasan (Zulfadly & Ghony, 2022) (Bagaskara et al., 2019). Mesin las yang ada di CV Four BR masih belum adanya prosedur operasi standar.

Standar Operasional Prosedur (SOP) merupakan serangkaian langkah atau tata cara kerja yang telah ditetapkan secara baku. SOP berfungsi sebagai panduan atau acuan dalam pelaksanaan suatu kegiatan. Menurut (Rahmawati & Nazhifah Suryana, 2024) SOP berperan sebagai pedoman untuk menjamin bahwa seluruh aktivitas operasional dalam suatu organisasi atau perusahaan dilakukan secara konsisten, efisien, efektif, terstruktur, dan terorganisir dengan baik. SOP merupakan rangkaian tahapan dalam suatu proses atau prosedur kerja yang dilakukan secara rutin, tetap, dan konsisten, yang kemudian dituangkan dalam bentuk dokumen tertulis (Subandi et al., 2024). SOP juga mengutamakan tahapan yang berkaitan dengan aktifitas pekerja (operator) agar dapat mengikuti petunjuk yang menghasilkan kerja yang efisen, nyaman, dan aman.

Penyusunan SOP yang baik dan benar menghasilkan pekerjaan yang aman nyaman dan tepat, juga menghindarkan dari kesalahan maupun kecelakaan kerja (Nabilla & Hasin, 2022). Umumnya SOP disahkan oleh

 ISSN 2987-677x

manajemen perusahaan kemudian dijadikan acuan saat pelaksanaan pekerjaan. Suatu perusahaan wajib memiliki SOP pada semua aspek sebagai pedoman untuk memudahkan pelaksaan kerja. Salah satunya adalah SOP operasional mesin perkakas. Selain itu pada divisi las ini perlu adanya indentifikasi bahaya kemungkinan terjadi. Bahaya pada mesin alat las yaitu adanya radiasi sinar ultraviolet, percikan api, panas, asap yang ditimbulkan (Winiarto & Mariawati, 2013). Adapun bahaya lain terkait dengan posisi pengelasan yaitu ergonomi pengelasan dan berhubungan dengan bahaya listrik yang sering ditimbulkan seperti tersengat listrik, kebakaran. Untuk itu perlu adanya pengendalian penggunaan.

CV Four BR merupakan UMKM yang masih berkembang, sehingga memerlukan beberapa standarisasi pengerjaan yang ada. Permasalahan yang ada, pekerja tidak melakukan pekerjaan yang sesuai standar yang ada. Tujuan dari pekerjaan ini adalah membuat standar operasional prosedur dalam pengoperasian las listrik busur manual sesuai dengan teori serta standar keselamatan kerja.

Metode

Di dalam melakukan pengambilan data untuk menyusun laporan dimulai dari studi literatur, observasi dan interview (wawancara). Kemudian, dilanjutkan dengan menganalisa data dari hasil wawancara dan pengamatan untuk dibuat sebuah SOP mesin las beserta K3 yang ada didalamnya.

Kondisi Sarana dan Fasilitas yang ada di CV Four BR

CV Four BR mempunyai tempat Workshop. Gambaran *workshop* dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1 *Workshop* CV Four BR

Workshop pada perusahaan ini kurang lebih untuk tempat produksi yang mana letak semua mesin dan alat-alat produksi berada. Workshop perusahaan ini dibagi menjadi 3 devisi, yaitu divisi bubut, divisi bor, dan divisi las. Pada divisi las pengerjaan yang ada yaitu penyambungan material dengan bahan logam. Divisi ini dilengkapi mesin las listrik.

Cara kerja mesin las listrik adalah dengan mengubah tegangan listrik menjadi arus listrik yang menghasilkan panas pada tingkat tertentu. Mesin las listrik dapat digunakan untuk mengelas berbagai jenis logam. Beberapa logam yang dapat disambung menggunakan mesin las listrik antara lain besi, baja, *stainless steel*, *alloy*, magnesium, baja karbon, dan lainnya. Gambar mesin las listrik dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2 Mesin Las Listrik

Identifikasi Peralatan

Identifikasi peralatan yang ada pada divisi las yaitu, mesin las listrik SMAW, kawat elektroda, kabel massa, penjepit elektroda, penjepit massa, penyangga material las, helm atau kaca mata las, sarung tangan dan apron, penggaris, meteran, spidol, gerinda, ampelas, sikat baja atau kikir, tang penjepit, palu terak dan palu konde, sepatu safety, serta material logam yang akan dilas dan elektroda las. Selain peralatan yang ada, diamati juga cara penggunaannya.

Cara penggunaannya mesin las listrik pada CV Four BR dari hasil pengamatan yang ada yaitu:

1. Hubungkan kabel massa ke terminal negatif (-) dan penjepit elektroda ke terminal positif (+).
2. Atur arus listrik (ampere) sesuai dengan jenis dan ketebalan material yang akan dilas. Semakin tinggi ampere, maka panas yang dihasilkan akan semakin besar, yang dapat menyebabkan logam menjadi berlubang.
3. Pasang elektroda ke dalam penjepit elektroda dengan kuat dan benar.
4. Kenakan pelindung mata seperti kacamata las sebelum mulai mengelas, karena sinar ultraviolet yang dihasilkan sangat berbahaya bagi mata. Kacamata las yang ideal memiliki tingkat kegelapan tinggi dan hanya memungkinkan kita melihat sinar UV. Di bengkel ini, digunakan helm las dengan fitur autodarkening, yang secara otomatis menjadi gelap ketika terkena cahaya terang dari proses pengelasan.
5. Jepit kabel massa pada bagian benda kerja yang akan disambung agar arus dapat mengalir dengan baik selama proses pengelasan.
6. Mulailah pengelasan dengan menempelkan elektroda pada permukaan benda kerja. Pada awalnya mungkin sulit untuk mendapatkan hasil las yang baik, namun dengan latihan dan pengalaman, keterampilan akan meningkat secara bertahap.
7. Ketika membeli mesin las, biasanya disertai alat bantu yang memiliki ujung logam dan sikat di bagian belakang. Alat ini digunakan untuk membersihkan lapisan flux yang menutupi permukaan hasil las. Proses membersihkan dilakukan dengan mengetok dan menyikat area las agar hasilnya terlihat rapi dan bersih.

Indentifikasi Permasalahan

CV Four BR Semarang adalah perusahaan yang berbasis pembuatan sparepart. Adanya permintaan pembuatan

 ISSN 2987-677x

sparepart sesuai dengan spesifikasi atau ukuran dari konsumen yang tidak bisa dipenuhi oleh perusahaan besar sehingga dibangun CV Four BR untuk memenuhi kebutuhan sesuai keinginan konsumen. Permasalahan yang ada di CV Four BR karena belum adanya standar operasional prosedur (SOP). Hal ini menjadikan kurangnya efisien pada divisi ini pada penggunaan las, sehingga para pekerja sering kali pada penggunaan las diulang untuk melakukan perbaikan. SOP memiliki tujuan untuk mengatur cara kerja setiap individu dalam suatu organisasi sekaligus meningkatkan kualitas kerja.

Secara umum, tujuan SOP adalah untuk memastikan bahwa setiap unit kerja melaksanakan tugas dengan tepat, cepat, efektif, efisien, dan bebas dari kecelakaan. Meskipun fungsi utama SOP adalah sebagai panduan, SOP juga dapat berfungsi sebagai alat pengukur, pemantau, dan pelatihan. Biasanya, SOP disusun dalam bentuk dokumen teks dan diagram alir. Fungsi SOP antara lain sebagai pedoman kerja, dasar hukum, identifikasi hambatan kerja, dan tolok ukur kedisiplinan. Yang menjadi permasalahan SOP dalam perusahaan CV Four BR adalah sebagai berikut:

1. Belum adanya adanya pamflet atau tulisan yang tertera di perusahaan tersebut. Hal ini diketahui setelah melakukan wawancara pihak yang bersangkutan, yaitu mekanik.
2. Tidak menggunakan alat pelindung diri (APD) sesuai dengan standar opersional prosedur (SOP). Hal ini diketahui pada saat proses pengelasan yang dilakukan di perusahaan.
3. Kurangnya pengetahuan perawatan pada mesin las seperti tidak memperhatikan kestabilan arus listrik.
4. Kurangnya kebersihan mesin las dan *workshop*.

Hasil Kerja

Perawatan yang benar dan menyeluruh memastikan mesin las berfungsi dengan baik dan dapat diandalkan dalam jangka panjang. Sebaliknya, pemeliharaan yang tidak sesuai dapat menyebabkan kerusakan pada mesin, yang dalam kasus yang lebih parah dapat mengakibatkan cedera atau bahkan kematian.

Perawatan mesin las

Sebelum memakai mesin las, ada hal yang perlu diperhatikan, yaitu perawatan mesin las sebelum digunakan. Hal yang diperhatikan dalam perawatan yaitu:

- Memeriksa tombol sumber listrik dan tombol inspeksi untuk memastikan berfungsi dengan baik, serta mendengarkan apakah ada suara berisik pada bagian yang bergerak, penggerak, dan kipas pendingin.
- Melumasi bagian yang berputar, seperti tuas pengatur arus dan permukaan gesek, guna mencegah keausan.
- Jika debu menumpuk di dalam mesin, hal ini dapat mengurangi efektivitas pendinginan dan kapasitas isolasi kumparan transformer. Oleh karena itu, kumparan perlu dibersihkan dengan meniup debu menggunakan udara kompresi, serta mengukur tahanan isolasi dan tahanan pembumian kumparan secara berkala dan memastikan hasil pengukurannya memadai.
- Memeriksa sisi kabel input dan output, apakah bungkusnya mengelupas, penyambungannya kendor dan kondisi isolasinya. Pemeriksaan dan pemeliharaan harian adalah penting untuk keamanan dan pengoperasian yang efisien dari mesin las busur. Mengikuti rincian instruksi dari petunjuk operasional dan menegaskan sebelum mulai pemeriksaan, apakah sumber dayanya sudah hidup.

Setelah memastikan mesin las sudah siap, maka perlu diperhatikan juga perawatan selama mesin las digunakan. Perawatan selama mesin las digunakan yaitu:

- Hindarkan mesin dari berbagai macam cairan saat mesin digunakan Karena dapat mengakibatkan terjadinya hubungan pendek arus listrik atau konsleting.
- Sesuaikan kawat atau elektroda las dengan kapasitas yang diperbolehkan berdasarkan spesifikasi mesin.
- Pastikan arus listrik stabil sehingga hasil las lebih baik.

Mesin las yang sudah digunakan juga perlu perawatan. Perawatan mesin las setelah digunakan, yaitu:

- Pastikan semua listrik sudah dalam keadaan tidak terhubung dalam listrik utama dan dalam keadaan mati
- Merapikan alat-alat las seperti kabel-kabel, elektroda, dan sebagainya di tempatnya.
- Bersihkan bekas potongan elektroda yang sudah dipakai dan potongan benda kerja ke tempat yang seharusnya.
- Simpan mesin las dan jauhkan dari air dan tempat yang lembab sehingga mesin las tidak terjadi kerusakan komponen atau konsleting saat digunakan kembali

Alat Pelindung Diri (APD) pada Saat Mengoperasikan Mesin Las

Pengoperasian mesin las juga mempunyai bahaya yang sudah dijelaskan pada pendahuluan. Untuk itu, perlu adanya penjelasan tentang APD yang digunakan. Hal yang perlu diperhatikan yaitu:

- Menggunakan pakaian kerja las untuk melindungi tubuh dari percikan api seperti *wearpack*, sarung tangan las, dan apron.
- Menggunakan helm las digunakan untuk melindungi wajah dari percikan las, panas pengelasan, serta sinar las yang dapat membahayakan mata.
- Menggunakan sepatu kerja atau *safety shoes*. Untuk melindungi kaki dari benda berat yang jatuh atau benda tajam dan dari sengatan listrik.
- Masker berfungsi untuk melindungi pernafasan dari bahaya asap las.

STANDAR OPERASIONAL PROSEDUR PENGELASAN SMAW (*Shield Metal Arc Welding*)

Bagian muka dari SOP dapat dilihat pada Gambar 3

CV FOUR BR	
Document Number	**:**
Tanggal Terbit	**:**
Revisi	**:**

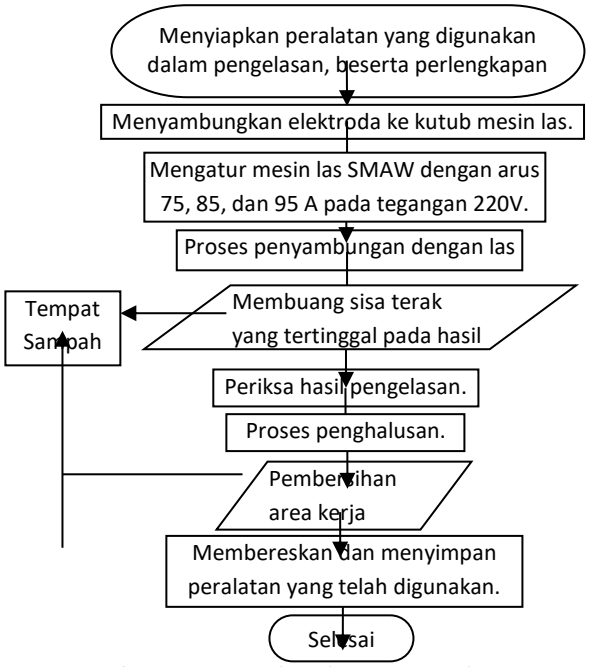
 ISSN 2987-677x

Document Title :

STANDARD OPERATIONAL PROCEDURE (SOP) PENGOPERASIAN MESIN LAS

DISETUJUI OLEH:	DIPERIKSA OLEH:	DISUSUN OLEH: *Internship Student*
(NAMA & TANDA TANGAN)	*(NAMA & TANDA TANGAN)*	*(NAMA & TANDA TANGAN)*
	SM Bondan Respati	**M. Nailul Anwar**

- Tujuan:
  SOP diberikan dengan tujuan menjadi pedoman operator dalam pengoperasian mesin las dan terhindar dari resiko kecelakaan kerja yang mengakibatkan kerugian dari pihak pekerja atau pemilik perusahaan.
- Prosedur Pekerjaan:
  1. Mempersiapkan material yang akan digunakan, peralatan kerja, serta perlengkapan keselamatan sebelum melakukan pekerjaan las.
  2. Menyambungkan elektroda ke kutub positif atau negatif pada mesin las SMAW.
  3. Mengatur mesin las SMAW dengan arus 75, 85, dan 95 A serta tegangan 220V.
  4. Melakukan pengelasan sesuai garis pada pelat atau alur dalam pekerjaan
  5. Membuang sisa terak pada hasil pengelasan dengan menggunakan palu
  6. Cek hasil pengelasan apakah sudah sesuai, jika sudah sesuai, lanjutkan dengan penghalusan hasil pengelasan. Namun, jika belum sesuai, ulangi pengaturan mesin las dan proses pengerjaan pada mesin las.
  7. Melakukan penghalusan pada hasil pengelasan dengan hati-hati agar tidak merusak hasil lasan.
  8. Membersihkan area kerja dari terak dan kotoran lainnya yang dihasilkan selama proses pengelasan.
  9. Merapikan dan menyimpan kembali peralatan yang telah digunakan dalam proses pengelasan.
- Diagram Alir Percobaan:
  Adapun langkah-langkah percobaan ini dapat digambarkan melalui diagram alir seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram Alir Pekerjaan pengelasan

Kesimpulan

Dari hasil pembahasan di atas disimpulkan bahwa setelah dibuat standar operasional prosedur mengoperasikan dan perawatan mesin las SOP tersebut digunakan sebagai acuan dalam perngerjaan las, poin utama dalam SOP di atas adalah sebagai berikut:

- Saat akan mengelas pekerja harus mengetahui SOP sebelum mengoperasikan mesin las hingga sesudah mengoperasikan mesin las.
- Pada saat mengelas pekerja harus mengetahui apa saja yang dibutuhkan untuk menghindari pekerja dari kecelakaan kerja yang serius.

Untuk menghindari kecelakaan kerja dan kesalahan proses pekerjaan pada setiap perusahaan diharuskan mempunyai standar yang telah di tentukan yaitu berupa SOP (standar operasional prosedur). Agar lebih meningkatkan kualitas pekerja dan kualitas pekerjaan yang baik dan benar sehingga dapat sesuai dengan permintaan konsumen. Jadi, selama proses pengoperasian mesin dan pengerjaan bahan tidak asal-asalan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih sebesar-besarnya kepada CV Four BR yang telah memberikan izin untuk pengambilan data dalam penelitian ini. Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim

 ISSN 2987-677x

yang telah memberikan fasilitas untuk menyelesaikan laporan kerja ini.

Referensi

Bagaskara, B., Respati, S. M. B., & Dzulfikar, M. (2019). Pengaruh posisi pengelasan terhadap kekuatan tarik, foto makro dan mikro pada baja ST 37 dengan pengelasan SMAW untuk rangka billboard. *Jurnal Ilmiah Momentum, 15*(2). https://doi.org/10.36499/jim.v15i2.3078.

Bhirawa, W. T. (2013). Proses pengelasan menggunakan electric welding machine. *Jurnal Teknik Industri*, *4*(1), 72–83. https://doi.org/10.35968/jtin.v4i1.830.

Nabilla, D. R., & Hasin, A. (2022). Analisis efektivitas penerapan Standard Operating Procedure (SOP) pada Departemen Community & Academy RUN System (PT Global Sukses Solusi Tbk). *Selma: Jurnal Ilmu Sosial dan Humaniora*, *1*(6), 58–75. https://journal.uii.ac.id/selma/article/view/26602.

Rahmawati, F., & Suryana, N. N. (2024). Pentingnya standar operasional prosedur (SOP) dalam meningkatkan efisiensi dan konsistensi operasional pada perusahaan manufaktur D4 Administrasi Bisnis/Administrasi Niaga Politeknik Negeri Bandung. *Jurnal Manajemen Bisnis Digital Terkini (JUMBIDTER)*, *1*(3), 2–15. https://doi.org/10.61132/jumbidter.v1i2.112.

Subandi, O., Rahmawati, E., & Inayati, H. (2024). Pemahaman konseptual tentang standard operating procedure (SOP): Dasar, tujuan, manfaat, dan penerapan. *Jurnal Manajemen Akademik (JMA)*, *2*(6), 3031–5220.

Winiarto, B. H., & Mariawati, A. S. (2013). Identifikasi penilaian aktivitas pengelasan pada bengkel umum dengan pendekatan Job Safety Analysis. *Jurnal Teknik Industri Untirta*, *1*(1), 59–65. https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jti/article/view/119.

Zhu, Z., Zhang, G., Wang, K., Shi, Y., & Zhu, M. (2021). Joint penetration monitoring in low-frequency pulsed GTA root pass welding of medium-thick steel plates. *Welding Journal, 100*(9), 281–290. https://doi.org/10.29391/2021.100.025.

Zulfadly, Z., & Ghony, M. A. (2022). Variasi ampere terhadap kekuatan tarik pada hasil pengelasan dengan posisi down hand. *Hexatech: Jurnal Ilmiah Teknik, 1*(1), 39–50. https://doi.org/10.55904/hexatech.v1i01.75

ISSN 2987-677x

Rekayasa Umur *Setting* Beton dengan Penambahan *Chemical Retarder* untuk Memperpanjang Waktu *Setting* Beton dalam Upaya Meningkatkan Produktifitas Pekerjaan Pengecoran *Pile Cap* Tiang Pancang Proyek Terminal LPG Tuban

Lukmanul Hakim[1,2] Suratno Lourentius[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[2] PT Pertamina Energy Terminal (PT PET)

✉ lukman.oe10@gmail.com

✉ suratno.lourentius@ukwms.ac.id

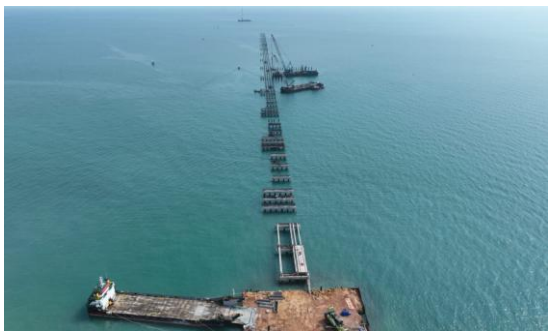
Dalam upaya memakssimalkan progres pekerjaan pembangunan terminal *liquefied petroleoum gas* (LPG) di Tuban, PT Pertamina Energy Terminal (PET) bersama PT Wijaya Karya (WIKA) menemui kendala kritis dalam proses pengecoran struktur *jetty* sebagai fasilitas infrasturktur yang ada di sana. Mengingat betapa pentingnya proyek ini dalam program distribusi energi di wilayah Indonesia Timur, progres harus dimaksimalkan tercapai dalam tiap *mailstone* yang ditargetkan. Salah satu problem kritis yang ditemui adalah pada pekerjaan pengecoran beton untuk struktur *jetty*, dimana adanya *gap* waktu *setting* beton yang lebih cepat daripada waktu proses *pouring* atau penuangan beton dilokasi pengecoran. Adapun solusi yang dipilih adalah dengan menambahkan bahan kimia yang berfungsi menghambat proses *setting* beton, sehingga waktu *setting*-nya dapat lebih lama dan meng-*cover* proses yang dibutuhkan dalam pekerjaan ini. Material tersebut adalah *chemical retarder*. Sebelumnya, dilakukan *trial mix* dan pengetesan beton ulang dengan *job mix formula (JMF)* yang lama dan ditambahakan *chemical retarder*. Sampel dari adonan beton baru tersebut akan dites kompresif sehingga dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan *chemical retarder* pada *JMF* nya masih didapatkan mutu beton dengan *design* sebelumnya dan waktu *setting* yang lebih lama.

Kata kunci: *jetty, chemical retarder*, beton, *Liquefied Petroleoum Gas* (LPG), *pile cap.* produktifitas

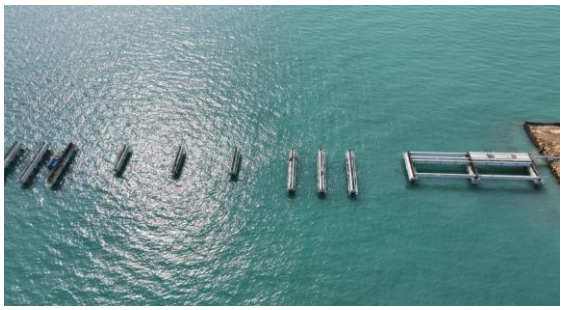
Pendahuluan

Dalam pelaksanaan proyek infrastruktur skala besar, pemilihan metode kerja yang tepat sangat menentukan keberhasilan dan efisiensi proyek. Salah satu hal yang menjadi tantangan dalam pembangunan struktur di wilayah perairan adalah distribusi material termasuk beton *ready mix*. Artikel ini membahas penerapan metode pengecoran setempat menggunakan kapal *barge* dalam pembangunan jetty sepanjang 3 kilometer untuk terminal *liquefied petroleoum gas* (LPG) di Tuban, serta solusi rekayasa yang diterapkan untuk mengatasi kendala waktu *setting* beton.

Dalam lima tahun terakhir PT Pertamina Energy Terminal (PET) bersama PT Wijaya Karya (WIKA) sebagai kontraktor utamanya sedang melaksanakan pembangunan terminal khusus untuk LPG di wilayah Tuban. Fasilitas struktur *Jetty* pada terminal ini memiliki panjang total sekitar 3 kilometer dan lebar 12 meter serta dibangun di atas perairan dengan menggunakan struktur pondasi pancang sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1 dan 2 berikut. Dalam proses pengecoran beton *pilecap*, keterbatasan akses lokasi yang berada jauh di laut menjadi tantangan besar. Pengecoran dilakukan dengan mengangkut truk *mixer* beton dan truk pompa betonnya menggunakan *barge* yang membawa truk mixer dan pompa beton ke lokasi pengecoran. Dalam prosesnya, estimasi waktu pengangkutan dan pengecoran memakan waktu sekitar 4 hingga 5 jam, sedangkan beton yang digunakan memiliki waktu *setting* hanya 2 jam (PT Wijaya Karya, 2023). Keterbatasan waktu *setting* beton inilah yang menjadi problem utama pada kegiatan ini, tentunya membutuhkan proses rekayasa beton yang mampu menyesuaikan waktu transportasi betonnya ke lokasi pengecoran.



Gambar 1 Pembangunan Struktur *Jetty* Terminal LPG Tuban (Tampak Atas)



Gambar 2 Pembangunan Struktur *Jetty* Terminal LPG Tuban (Tampak Samping)

Tujuan dari penyusunan artikel ini adalah untuk mengidentifikasi solusi teknik yang dapat diterapkan untuk memperpanjang waktu *setting* beton. Selain itu, juga dapat

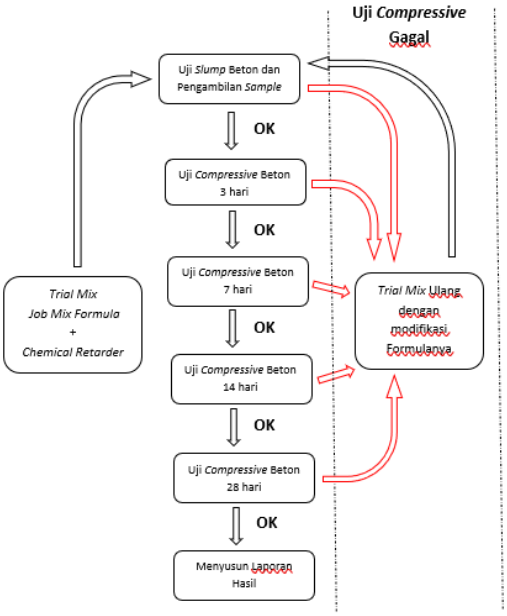
ISSN 2987-677x

mengevaluasi pengaruh dan efektivitas dari metode *mixing* beton menggunakan *chemical retarder* sebagai bahan kimia penghambat proses ikatan semen pada agregat penyusun adonan beton terhadap mutu beton yang dihasilkan.

Dengan penambahan bahan *chemical retarder* pada campuran beton, maka waktu *setting* beton dapat diperpanjang sehingga memungkinkan proses pengecoran berlangsung lebih lama dan sesuai dengan estimasi waktu kerja di lokasi pengecoran yang sulit dijangkau. Hal ini tentunya akan banyak memberikan dampak positif pada produktifitas dan efisiensi pekerjaan di proyek serupa, baik untuk proyek pembangunan *jetty* dan fasilitas pelabuhan, infrastruktur jembatan, anjungan lepas pantai atau struktur perlindungan pantai lainnya. Sebagaimana kita tahu bahwasanya sebagai negara kepulauan, Indonesia memiliki banyak infrastruktur di area perairan khususnya di area laut. Tentunya sangat membutuhkan mutu atau kualitas bangunan yang baik. Sehingga metode pekerjaan pengecoran yang lebih fleksibel dan efisien akan sangat dibutuhkan secara berkelanjutan.

Metode Kerja

Metode kerja yang diterapkan dan disepakati antara PT PET dan PT WIKA adalah dengan melakukan *trial mix* beton ulang. Dengan acuan *job mix formula (JMF)* beton lama yang sudah dilakukan sebelumnya, ditambahkan material tambahan yang berfungsi menghambat proses *setting* beton yang umumnya disebut *chemical retarder*. Adapun panjang waktu *setting JMF* awal adalah sekitar 2 jam sesuai metode kerja dan akan di*setting* menjadi 4 Jam. *Trial mix* dilakukan dengan menambahkan material *chemical retarder* sebanyak 1 liter sesuai *design criteria* dari *engineering* PT WIKA dan *batching plant* beton (PT Wijaya Karya, 2025). Kemudian, dilakukan *mixing* adonan beton dan diambil sampel untuk diuji berapa lama waktu *setting*-nya dan mutu yang dihasilkan. Untuk tahapan *trial mix* beton akan menggunakan acuan SNI 1974-2011 mengenai metode uji sample beton berbentuk silinder (SNI1974-2011, 2011) dan dijelaskan dalam kerangka atau bagan sebagaimana pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3 Bagan Alur Penelitian Tahapan *Trial Mix* Beton

Hasil Kerja

Permasalahan utama yang muncul adalah tidak seimbangnya waktu *setting* beton standar 2 jam (PT Wijaya Karya, 2023) dengan waktu pelaksanaan pengecoran 4 sampai 5 jam (PT Wijaya Karya, 2025). Beton yang digunakan memiliki mutu *compressive strength* (fc') 35,69 MPa. Jika *gap* ini tidak diatasi, maka hal ini dapat menyebabkan beton mengeras sebelum proses pengecoran selesai, berisiko terhadap mutu dan kekuatan struktur. Penambahan *chemical retarder* terbukti mampu memperpanjang waktu setting hingga 4 jam bahkan lebih, sehingga sangat memungkinkan pengecoran dilakukan secara menyeluruh dalam satu kali tahap tanpa risiko pengerasan dini. Namun, penyesuaian dosis *chemical retarder* harus dilakukan secara hati-hati untuk menjaga *workability* proses pengecoran beton dan tidak mempengaruhi kekuatan akhir beton tersebut.

Berikut data *JMF* yang digunakan dan akan diuji, dengan acuannya menggunakan formula *JMF design* awal yang ditambahkan *chemical retarder* dengan dosis tertentu. Dosis *chemical retarder* ini akan mengikuti formula yang pernah diuji oleh PT Varia Usaha Beton (VUB) sebagai perusahaan vendor penyedia *ready mix* beton atau yang umum disebut *batching plant* pada proyek ini. Dalam trial mix ini akan menggunakan 2 macam *slump JMF* untuk *slump* 8-12 dan *slump* 16-20 MPa. Informasi detail mengenai komposisi formula yang akan digunakan dengan volume dan presentasi tiap material disajikan dalam Tabel 1 dan 2 berikut, seperti kandungan semen, air, pasir, batu *aggregate,* dan *chemical retarder* sebagai bahan adonan beton.

Tabel 1 *Job Mix* Beton dengan *Chemical Retarder* oleh PT Varia Usaha Beton (VUB) untuk *JMF Slump* 8-12 (PT Wijaya Karya, 2025)

SPECIFICATION

STRENGTH CLASS	:			W/C RATIO	:	0,39
CYLINDER STRENGTH	:	35,69	Mpa	MIN. CEMENT CONTENT	:	454 kg
CUBE STRENGTH	:	430	kg/cm2	MAX. SIZE OF AGGREGATE	:	25 mm
SLUMP	:	8-12	cm (Retensi 4 jam)			

MIX DESIGN CALCULATION

MATERIAL	TYPE/SIZE	PROPORTION (%)	MATERIAL CONTENT (kg/M3)	REMARKS
CEMENT	Type - I	-	454	Ex. PT Semen Gresik
WATER	-	-	190	Sucorejo
	SILICAFUME	8,00	39	Jepara
AGGREGATES	SAND	48,17	815	Lumajang
	5-10	11,66	197	Pamotan
	10-20	40,16	679	Pamotan
ADMIXTURE	Tamcem 6 RH	0,55	2,49	Dosage % by Cement Content
	Tamcem 12 RM	0,20	0,99	Dosage % by Cement Content
	:		Concrete Density : 2.374	(kg/M3)

Tabel 2 *Job Mix* Beton dengan *Chemical Retarder* oleh PT Varia Usaha Beton (VUB) untuk JMF *Slump* 16-20 (PT Wijaya Karya, 2025)

SPECIFICATION

STRENGTH CLASS	:			W/C RATIO	:	0,41
CYLINDER STRENGTH	:	35,69	Mpa	MIN. CEMENT CONTENT	:	489 kg
CUBE STRENGTH	:	430	kg/cm2	MAX. SIZE OF AGGREGATE	:	25 mm
SLUMP	:	16-20	cm (Retensi 4 jam)			

MIX DESIGN CALCULATION

MATERIAL	TYPE/SIZE	PROPORTION (%)	MATERIAL CONTENT (kg/M3)	REMARKS
CEMENT	Type - I	-	489	Ex. PT Semen Gresik
WATER	-	-	220	Sucorejo
	SILICAFUME	8,00	43	Jepara
AGGREGATES	SAND	47,28	747	Lumajang
	5-10	12,13	192	Pamotan
	10-20	40,60	641	Pamotan
ADMIXTURE	Tamcem 6 RH	0,55	2,69	Dosage % by Cement Content
	Tamcem 12 RM	0,20	1,06	Dosage % by Cement Content
	:		Concrete Density : 2.332	(kg/M3)

 ISSN 2987-677x

Dari formula tersebut didapatkan waktu *setting* beton sesuai kebutuhan yaitu 4 jam. Sampel yang diambil dilakukan *slump test* 2 kali, pertama dari *fresh mix* beton setelah adonan beton dituang pada truk *mixer*, dan yang kedua setelah menunggu 4 jam. Hasil yang diperolah adalah bahwa setelah waktu tunggu 4 jam, *slump* dari beton didalam truk *mixer* masih masuk dalam *range slump* ijin yaitu antara 8 cm sampai 12 cm untuk *JMF* 1, dan 16 cm sampai 20 cm untuk *JMF* 2. Hasil pada test secara rinci ditunjukkan pada Gambar 4.

PT VARIA USAHA BETON
Your Concrete Partner

NOTULEN TRIAL MIX

KONTRAKTOR : PT. WIJAYA KARYA (PERSERO) TBK
PROYEK : PROYEK PEMBANGUNAN TERMINAL LPG REFRIGERATED JAWA TIMUR (TAHAP 2)

Pada hari ini Selasa, tanggal 21 Januari 2025, telah dilakukan trial mix beton di PT.Varia Usaha Beton plant Tuban. Dengan data sebagai berikut :

1. Mutu **FC 35.69 + SF (Slump Retention 4 Jam)** slump 10 ± 2 cm, didapatkan :
   a. Slump aktual awal 12 cm.
   b. Slump aktual setelah 4 jam 10 cm.
   c. Jumlah benda uji 11 silinder.
2. Mutu **FC 35.69 + SF (Slump Retention 4 Jam)** slump 18 ± 2 cm, didapatkan :
   a. Slump aktual awal 19 cm.
   b. Slump actual setelah 4 jam 16,5 cm.
   c. Jumlah benda uji 11 silinder.

Gambar 4 Hasil Uji Slump Beton (PT Wijaya Karya, 2025)

Selanjutnya sampel beton dilakukan *compressive test* untuk mengetahui besar mutu beton yang dihasilkan. Hasil uji beton yang dilakukan dengan periode waktu *setting* 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari sesuai SNI 1974-2011 (SNI1974-2011, 2011). Hasil uji beton dengan rinci sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 3.

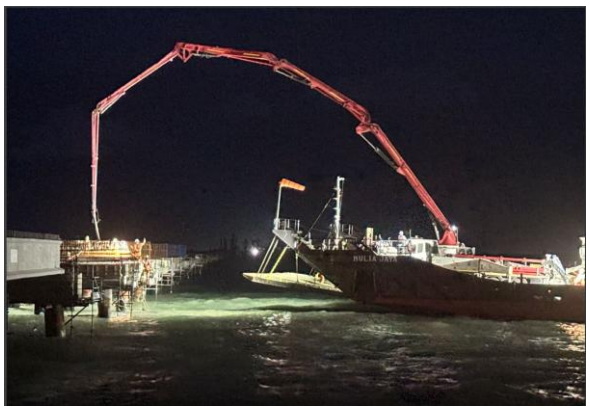
Tabel 3 Hasil Uji Sample Beton *Compressive Test* di Laboratorium

No	Mutu Beton (Fc')	Slump	Tanggal			Area	Berat	Compressive Strength	Status	Keterangan
		(cm)	Pouring	Test	Umur	cm2	Kg	Mpa		
1	35.69 + Retarder	8-12	21-Jan-25	24-Jan-25	3	176.71	12.5	61.76	OK	
2	35.69 + Retarder	8-12	21-Jan-25	24-Jan-25	3	176.71	12.5	70.86	OK	
3	35.69 + Retarder	16-20	21-Jan-25	24-Jan-25	3	176.71	12.4	68.52	OK	
4	35.69 + Retarder	16-20	21-Jan-25	24-Jan-25	3	176.71	12.5	65.32	OK	
5	35.69 + Retarder	8-12	21-Jan-25	30-Jan-25	9	176.71	12.63	43.99	OK	Konversi dari 7
6	35.69 + Retarder	8-12	21-Jan-25	30-Jan-25	9	176.71	12.58	41.36	OK	hari dikarenakan
7	35.69 + Retarder	16-20	21-Jan-25	30-Jan-25	9	176.71	12.54	39.18	OK	Lab libur
8	35.69 + Retarder	16-20	21-Jan-25	30-Jan-25	9	176.71	12.56	40.23	OK	Nasional
9	35.69 + Retarder	8-12	21-Jan-25	04-Feb-25	14	176.71	12.7	42.8	OK	
10	35.69 + Retarder	8-12	21-Jan-25	04-Feb-25	14	176.71	12.73	44.79	OK	
11	35.69 + Retarder	16-20	21-Jan-25	04-Feb-25	14	176.71	12.53	33.7	Failed	
12	35.69 + Retarder	16-20	21-Jan-25	04-Feb-25	14	176.71	12.67	41.16	OK	
13	35.69 + Retarder	8-12	21-Jan-25	18-Feb-25	28	176.71	12.8	42.89	OK	
14	35.69 + Retarder	8-12	21-Jan-25	18-Feb-25	28	176.71	12.7	49.3	OK	
15	35.69 + Retarder	16-20	21-Jan-25	18-Feb-25	28	176.71	12.7	44.19	OK	
16	35.69 + Retarder	16-20	21-Jan-25	18-Feb-25	28	176.71	12.6	42.39	OK	

Pada umur 3 hari, beton menunjukkan hasil kuat tekan awal yang sangat tinggi, berkisar antara 61,76 MPa hingga 70,86 MPa, menunjukkan bahwa penggunaan *chemical retarder* tidak menghambat kekuatan awal secara signifikan. Untuk umur 9 hari, yang merupakan pengganti pengujian 7 hari (karena Laboratorium pengujian libur nasional), kekuatan beton masih berada dalam kisaran yang stabil dan memadai, yaitu antara 39,18 MPa hingga 43,99 MPa. Pengujian umur 14 hari menunjukkan hasil bervariasi. Tiga dari empat sampel menunjukkan kekuatan di atas 40 MPa, namun satu sampel menunjukkan hasil gagal sebesar 33,7 MPa lebih rendah dari mutu 35.69 MPa. Terdapat beberapa faktor yang mengakibatkan kegagalan *compressive test* tersebut, diantaranya karena *treatment* terhadap sampel beton atau memang dari segi kekuatan sampel sendiri. Pada umur 28 hari, seluruh sampel menunjukkan hasil yang baik dan melampaui mutu rencana sebesar 35,69 MPa, dengan rentang kekuatan antara 42,39 MPa hingga 49,3 MPa. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan *chemical retarder* tidak menurunkan mutu akhir, bahkan tetap menghasilkan performa struktur yang aman dan baik.

Secara keseluruhan, data yang ditunjukkan pada tabel menunjukkan bahwa formula beton dengan *chemical retarder* tetap mampu mencapai kekuatan yang sesuai standard *design*, dengan tetap menjaga pengendalian mutu yang dikontrol dengan baik selama proses produksi dan pelaksanaan di lapangan. Dengan hasil tersebut pekerjaan pengecoran di area perairan dapat tetap dilanjutkan dengan metode pekerjaan yang telah disepakati dan formula beton yang telah diuji sebelumnya. Berikut beberapa dokumentasi pekerjaan pengecoran struktur *jetty* dengan mengangkut truk *mixer* dan truk pompa beton ke area laut menggunakan kapal *barge*. Untuk *arrangement* truk mixer beton dan truk pompa beton di atas deck kapal *barge* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6. Dan, dokumentasi pengecoran dilokasi *pilecap* yang ditunjukkan dengan Gambar 7 dan 8.

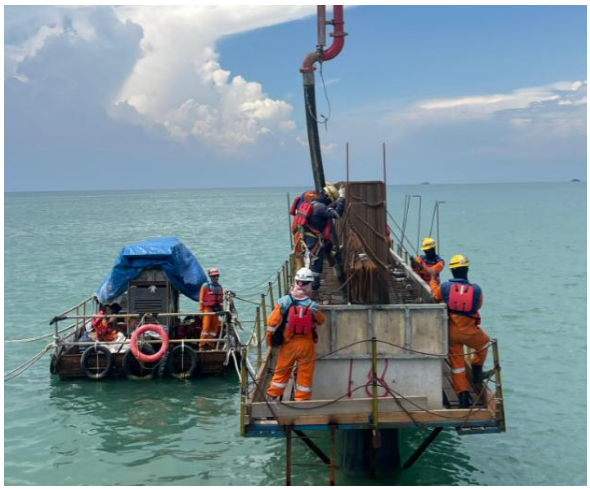
Gambar 5 Penerapan Proses Pengecoran di Wilayah Laut Menggunakan *Barge*



Gambar 6 Penerapan Proses Pengecoran di Wilayah Laut

 ISSN 2987-677x

Gambar 7 Persiapan Pekerjaan Pengecoran *Pilecap* Struktur *Jetty*



Gambar 8 Proses Pekerjaan Pengecoran *Pilecap* Struktur *Jetty*

Bagaimanapun juga menggunakan material *chemical retarder* ini juga beresiko terjadinya *bleeding* pada adonan beton apabila jumlahnya terlalu banyak. *Bleeding* pada beton adalah dimana kadar air terlepas dari ikatan semen sehingga mempercepat proses penguapan terhadap airnya dari adonan beton. Lebih lanjut proses ini akan membuat beton yang dihasilkan mengalami segregasi dikarenakan banyaknya kadar air yang lepas pada saat proses *bleeding* sebelum beton keras sempurna. Karena semen dan air sebagai material pengikat agregat dan pasir akan kehilangan salah satu kompenen penting dan menurunkan daya ikatnya. Oleh karena itu, penggunaan *chemical retarder* harus menggunakan rasio atau takaran yang seimbang dengan volume air dan semen yang akan digunakan dalam satu *batch* atau proses *mixing* adonan beton.

Kesimpulan

Penerapan metode pengecoran setempat menggunakan alat angkut *barge* pada proyek *jetty* LPG di Tuban merupakan solusi efektif dalam kondisi lokasi kerja yang sulit dijangkau. Kendala teknis berupa waktu *setting* beton yang terbatas berhasil diatasi dengan inovasi penggunaan material *chemical retarder*, sebagai material penghambat waktu *setting* beton. Dengan penambahan 1 liter retarder, slump beton tetap berada dalam rentang izin setelah 4 jam transportasi, dan kuat tekan 28 hari mencapai rata-rata 46 MPa melebihi mutu beton yang disyaratkan. Dengan metode rekayasa ini, efisiensi biaya dan kualitas struktur tetap terjaga. Keberhasilan metode ini menunjukkan pentingnya fleksibilitas teknik dalam menghadapi tantangan lapangan di proyek konstruksi perairan.

Ucapan Terima Kasih

Akhir kata, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar - besarnya kepada tim *quality control* PT Pertamina Energy Terminal dan PT Wijaya Karya yang membantu dan terlibat dalam proses penyusunan artikel ini sehingga artikel ini dapat disusun dengan baik.

Referensi

Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 1974:2011 – Cara uji kuat beton dengan benda uji silinder*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional Indonesia.

PT Wijaya Karya (Persero) Tbk. (2023). *Specification for concrete work TTU2-00-SP-50-0007-A4*. Jakarta: Departemen Engineering.

PT Wijaya Karya (Persero) Tbk. (2025). *Uji kuat tekan beton trial mix concrete with slump retention: Report_TTU2-00-RFI-71-0349-A4*. Jakarta: Departemen Quality Control.

ISSN 2987-677x

Optimalisasi Proses Pengiriman Bulk Tangker ke *Customer* dengan *Fluidizing System Scada*

Iwan Suhanda[12], Tarsisius Dwi Wibawa Budianta[2], Rasional Sitepu[2]

[1] PT. Nutrindo Bogarasa, Cilegon, Banten.

[2] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya.

✉ iwan.suhandaa@gmail.com
✉ tdwiwibawabudianta@ukwms.ac.id
✉ rasional@ukwms.ac.id

PT Nutrindo Bogarasa yang berlokasi di Cilegon, Banten memproduksi tepung terigu untuk menyediakan kebutuhan *group*, sering mengalami *complain* dari *customer* karena keterlambatan pengiriman. Ini berdampak pada berhentinya proses produksi karena ketidaktersediaan bahan baku tepung terigu di *customer*. Dampak kerugian sangat besar, yaitu biaya tenaga kerja, biaya energi, *service level*, dan pemenuhan fdis. Dari masalah yang ada, dilakukan analisa berdasarkan diagram pareto, diagram sebab akibat, *survey* lapangan, dan *study* pustaka hingga didapatkan solusi perbaikan, yaitu dengan *improvement* menggunakan *fludizing system*. Ini memberikan dampak yang luar biasa, yaitu mengakselerasi *loading* ke bulk tangker, memaksimalkan kapasitas bulk tangker, menghentikan sewa bulk tangker, dan memudahkan sistem transfer karena sudah menggunakan program Scada. Keuntungan lain adalah area *loading* bersih, *driver* tidak *complain* karena lama menunggu untuk *loading*, dan *supply* ke *customer* dapat lebih cepat. Ini sejalan dengan pembangunan yang berkelanjutan (SDGs) dalam hal *improvement*, pertumbuhan ekonomi, dan kemitraan untuk mencapai tujuan.

Kata kunci: tepung terigu, *fluidizing system, bulk tangker, pareto, improvement,* SDGs.

Pendahuluan

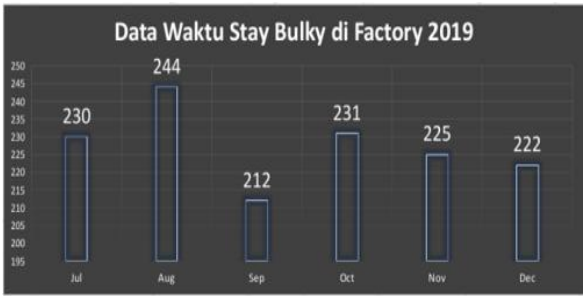
Permintaan *raw material* tepung terigu untuk pemenuhan kebutuhan Mayora Group sangat tinggi untuk produk Noddle, Biscuit, Wafer, dan Energen sehingga PT Nutrindo Bogarasa, Ciwandan, Cilegon, Banten harus terus mengakselerasi pengiriman tepung terigu agar dapat segera sampai di *customer*.

Karena hal tersebut, sering kali mendapatkan *complain* dari *customer* dampak dari pengiriman yang terhambat sehingga menyebabkan *shortage* tepung terigu di *customer,* sehingga menyebabkan produksi terhenti. Pengiriman tepung terigu dengan bulk tangker hanya untuk *customer* yang memiliki silo *flourbin* (tempat penampungan tepung terigu). Karena hal tersebut, dilakukan solusi alternatif awal, yaitu menyewa tangker untuk memenuhi kebutuhan pada *customer*.

Pengambilan data pada tahun 2019 (Tabel 1 dan Gambar 1), menunjukkan ada dua penyebab pengiriman tidak maksimal, yaitu lamanya aktifitas *loading* tepung terigu ke bulk tangker dan tidak maksimalnya kapasitas muat setiap bulk tangker.

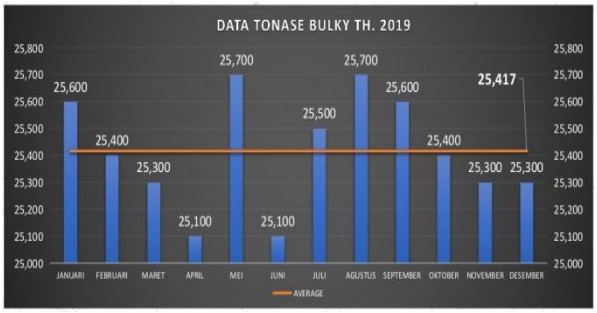
Tabel 1 Data Waktu *Loading* Bulk Tangker 2019

Aktifitas	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	*Average*
Loading truck	122	131	126	124	127	119	**125**
Truck Out	61	62	44	64	49	43	**54**
Truck In	47	51	42	43	49	60	**49**
Total	**230**	**244**	**212**	**231**	**225**	**222**	**227**



Gambar 1 Pareto Data Waktu *Loading* Bulk Tangker

Dari data di atas, dapat dilihat bahwa waktu yang dibutuhkan untuk proses *loading* tepung terigu ke bulk tangker rata-rata 125 menit per bulk tangker berdasarkan data periode Juli – Desember 2019.



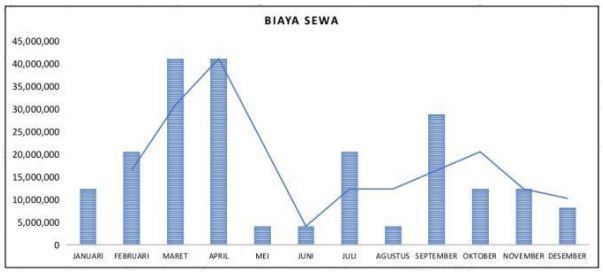
Gambar 2 Data Kapasitas Muat Bulk Tangker

Pada grafik kapasitas bulk tangker yang dapat terlihat pengisian tepung terigu, didapatkan maksimum kapasitas tertinggi adalah 25.700Kg, sedangkan rata-rata kapasitas bulk tangker selama tahun 2019 adalah 25.417Kg (Gambar 2).

Untuk mengatasi kebutuhan tepung terigu di *customer,* dilakukan penyewaan bulk tangker dari *external* untuk dapat

 ISSN 2987-677x

memenuhi kebutuhan pada *customer* agar produksi tidak *shortage* (stop produksi).



Gambar 3 Biaya Sewa Bulk Tangker Selama Tahun 2019

Total biaya sewa bulk tangker dari eksternal selama tahun 2019 (Gambar 3), adalah Rp. 209.100.000,- untuk memenuhi kebutuhan *customer*.

Menentukan prioritas utama masalah:

1. Mempercepat waktu *loading* ke bulk tangker
2. Memaksimalkan kapasitas *loading* ke bulk tangker
3. Menghilang sewa bulk tangker
4. *Upgrade system control* dari manual dengan Program Scada.

Program Scada memudahkan pengontrolan dan *monitoring* suatu *system* produksi melalui *control room* yang dilakukan oleh seorang operator (Almuhtarom dan Priyo Sasmoko, 2015) sehingga memudahkan dalam proses pengisian bulk tangker.

Melalui penelitian ini, akan dilakukan analisa penyebab, serta tindakan perbaikan dari lamanya pengisian dan tidak maksimalnya kapasitas *loading,* tidak optimalnya pengiriman bulk tangker, serta *system control* yang masih dengan manual.

Metode

Metode yang digunakan, yaitu melakukan tinjauan objek masalah dengan *diagram pareto*, *diagram fishbone*, *survey* lapangan, dan studi pustaka untuk mencari alternatif solusi (Yusup et al, 2025). Sebelum *improvement* sudah dilakukan berbagai upaya perbaikan dari *system* yang ada, baik secara *system software weighing* maupun secara *mechanical* untuk mengatasi masalah yang ada.

Hasil Kerja

Tahap awal, yaitu mengevaluasi menggunakan *diagram pareto* dan *diagram fishbone* dari penyebab yang ada. Diagram *fishbone* atau yang biasa disebut diagram sebab akibat merupakan salah satu alat untuk menganalisa secara sistematis seluruh penyebab potensial yang dapat menyebabkan suatu masalah yang terjadi.

Penggunaan metode analisa sebab akibat didasari oleh diagram pareto untuk mengidentifikasi masalah utama (Sinaga et al, 2025). Selain itu, dilakukan *survey* lapangan untuk melihat setiap potensi masalah dan studi pustaka untuk mendapatkan literatur dari solusi untuk pemecahan masalah.

Analisa Perhitungan dari *Design Bulk* Tangker

Dari studi pustaka , mendapatkan data untuk spesifikasi dari bulk tangker adalah sebagai berikut:

Tabel 2 Data Spesifikasi Bulk Tangker

Serial Number	160264
Capacity	47 M^3
Tank Type	BULK TANGKER
Overall Length	10245 mm

Berdasarkan *design spesification* di atas, maka kapasitas bulk tangker (Tabel 2) dapat menampung sampai dengan kapasitas 47M^3. Dimana nilai *density* tepung terigu adalah 593 Kg/M^3, maka kapasitas dari bulk tangker seharusnya dapat menampung sebanyak 27.871Kg/bulk tangker.

Perhitungan kapasitas *flowrate* tepung:

- **Diameter Pipa:** Diameter pipa 15 cm (0,15 m) memiliki luas penampang sekitar 0,0177 m^2.
- **Kecepatan Aliran:** Kecepatan aliran yang aman untuk mencegah penyumbatan atau kerusakan pipa biasanya sekitar 0,6 - 1,2 m/detik.
- **Laju Aliran:** Menggunakan kecepatan aliran 1,2 m/detik. Laju aliran tepung dapat dihitung dengan rumus:

  Laju aliran = Luas Penampang x Kecepatan Aliran
  = 0,0177 m^2 x 1,2 m/detik
  = 0,02124 m^3/detik

  Konversi ke m^3/jam = 0,02124 m^3/detik x 3600 detik/jam
  = 76,3 m^3/jam atau 1.272kg/menit

Rumus *flow rate* (laju aliran) tepung adalah Q = V / T, dimana:

Q = laju aliran (dalam satuan volume per satuan waktu, seperti liter/detik atau kg/menit).
V =volume tepung yang mengalir (dalam liter atau kg).
T = waktu yang dibutuhkan untuk tepung mengalir (dalam satuan detik atau menit).

Diketahui:
Diameter dalam pipa (id) = 15 cm
Memiliki *max* debit (Q) = 1272 kg/menit
Kapasitas yang diinginkan (V) = 27.871 kg
(target kapasitas bulk)

Berapa waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan target kapasitas 27 ton?

Δt = V/Q
= 27.871 Kg / (1272 kg/min)
= **22 min** (waktu yang dibutuhkan untuk *loading* bulk tangker)

Pada data di atas, berdasarkan analisa didapatkan bahwa:

- Kapasitas tepung terigu pada bulk tangker adalah 27.871 kg.
- Waktu yang dibutuhkan untuk *loading* ke bulk adalah 22 menit.

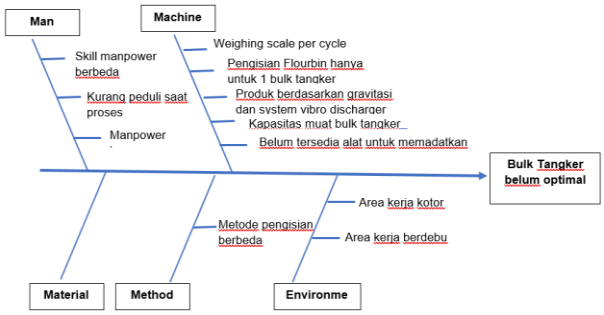
Tabel 3 Faktor Penyebab

No	Masalah	Kemungkinan Penyebab
1	Waktu loading Bulk tangker rata-rata 125 menit	• Transfer produk saat proses loading hanya mengandalkan gravitasi dan system vibro discharger. • Weighing Scale menghambat pengeluaran produk ke Bulk tangker karena 1 cycle 60kg/discharge
2	Kapasitas loading bulky belum maksimal	• Pengisian produk di dalam bulky mengunakan gravitasi
3	Penambahan sewa unit Bulk tangker	• Tidak dapat memenuhi permintaan FDIS bulky karena proses pengisian bulky lama sehingga membutuhkan sewa unit tambahan diluar 9 bulky yang tersedia
4	Kapasitas Flourbin 51 & 52 hanya 25 ton sesuai kebutuhan 1 Bulk tangker	• Tepung di flourbin 51 & 52 akan blocking karena produk akan padat jika diisi melebihi 25 ton

Dari faktor penyebab (Tabel 1) menjelaskan bahwa turunnya produk hanya mengandalkan gravitasi untuk pengisian ke bulk tangker sehingga tidak terdapat dorongan untuk pengeluaran produk dari *flourbin* ke bulk tangker.

 ISSN 2987-677x

Berikut adalah gambar *fishbone* berdasarkan hasil dari analisa masalah (Gambar 4).



Gambar 4 *Diagram fishbone*

Dari *diagram fishbone* didapatkan bahwa, beberapa faktor dominan, yaitu dari faktor mesin, metode, manusia, dan lingkungan. Sedangkan, dari material tidak berdampak terhadap *loading* tepung terigu.

Pendekatan yang efektif untuk menganalisis masalah adalah menggunakan diagram sebab akibat atau *fishbone diagram* (George, 2002). Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Kaoru Ishikawa pada tahun 1968 dan berfungsi untuk mengidentifikasi berbagai faktor yang berpotensi menjadi penyebab masalah dalam suatu sistem (Ishikawa, 1982).

Pada proses pengeluaran produk tepung terigu harus melewati *weighing scale* untuk proses penimbangan produk sehingga menyebabkan proses *loading* menjadi terhambat karena adanya *cycle batch* dimana 1 *cycle* batch hanya terisi 60kg per *cycle* sehingga butuh waktu yang lama untuk mencapai kapasitas *full* bulk tangker.

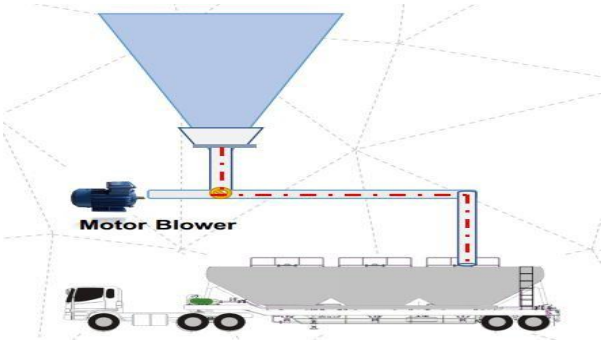
Masalah berikut adalah *flourbin* 51 dan 52 dengan kapasitas masing-masing 80 ton per *flourbin* menjadi tidak maksimal karena hanya dapat terisi dengan kapasitas 25 ton saja setiap *flourbin* karena untuk menghindari produk *blocking* jika diisi lebih dari 25 ton.

Merencanakan dan Menerapkan Perbaikan

Dilakukan alternatif solusi untuk mendapatkan metode yang tepat sehingga dapat menyelesaikan masalah yang ada. Berikut alternatif solusi untuk masalah tersebut adalah:

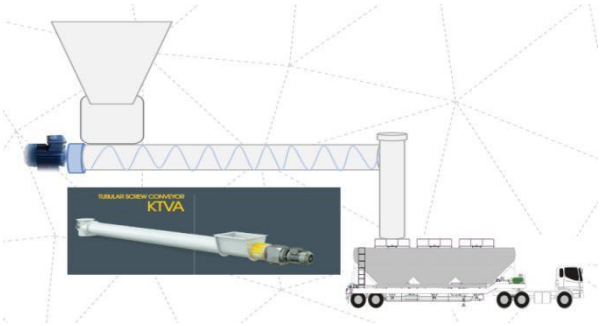
a. Transfer tepung dengan *blowing system*
b. Transfer tepung dengan *conveyor system*
c. Transfer tepung dengan *fluidizing system*

Pada *system blowing* (Gambar 5), didapatkan dampak adanya turbulens/pusaran produk tepung dalam bulk tangker, sehingga area menjadi cepat kotor karena tekanan angin pada saat produk di*blow* ke bulk tangker. Selain itu, adanya potensi kebocoran pada bulk tangker dampak dari adanya tekanan yang tinggi dari *blower* masuk ke bulk tangker.



Gambar 5 *Transfer* dengan *Blowing System*

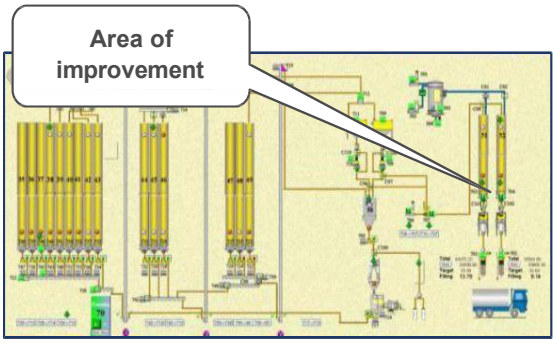
Pada *system conveyor* (Gambar 6), waktu transfer sangat lambat dan ketidakstabilan volume udara pada *system blower* dapat menyebabkan distribusi tidak merata (Tarigan et al, 2025) membutuhkan *area* yang luas untuk instalasi serta membutuhkan proses *cleaning* yang lama saat terjadi saat pergantian produk.



Gambar 6 *Transfer* dengan *Conveyor System*.

Alternatif terbaik yaitu dengan menggunakan *fludizing system* (Gambar 7). Metode *fluidizing* adalah proses dimana partikel padat diubah menjadi seperti fluida melalui *suspense* dalam gas atau cairan (Kunii & Levenspiel, 1991). Proses ini digunakan dalam pengisian tepung terigu ke dalam bulk tangker dengan metode menembakan udara ke dalam *hopper* pipa vertikal, untuk memperlancar aliran produk tepung terigu. Dampak dari *improvement* tersebut adalah waktu *transfer* lebih cepat sehingga kapasitas bulk tangker dan *flourbin* dapat maksimal karena potensi *blocking* sudah tidak terjadi lagi.

Gambar 7 *Transfer* dengan *Fludizing System*



Gambar 8 *Control Loading* Bulk Tangker dengan *System Scada*

Pada Gambar 8, perubahan yang dilakukan pada *system control loading* bulk tangker yang sebelumnya menggunakan *control* manual *push button* di*upgrade* dengan menggunakan *system scada.*

 ISSN 2987-677x

Evaluasi Hasil

Tabel 4 Data Waktu *Loading* Bulk Tangker

Before		After	
Bulan	**Waktu (menit)**	**Bulan**	**Waktu (menit)**
Juli 2019	122	Jan 2020	26
Aug 2019	131	Feb 2020	26
Sept 2019	126	Mar 2020	26
Okt 2019	124	Apr 2020	24
Nov 2019	127	Mei 2020	29
Des 2019	119	Jun 2020	28
Average	**125**	**Average**	**26**

Tabel 5 Data Kapasitas Bulk Tangker 2019 dan 2020

Data Tonase 2019		Data Tonase 2020	
Bulan	**Average Quantity**	**Bulan**	**Average Quantity**
Januari	25.600	Januari	26,400
Februari	25,400	Februari	27,260
March	25,300	March	26,750
April	25,100	April	26,660
Mei	25,700	Mei	26,780
June	25,100	June	27,150
Juli	25,500	Juli	26,900
Agustus	25,700	Agustus	26,180
September	25,600	September	26,860
Oktober	25,400	Oktober	26,450
November	25,300	November	26,680
Desember	25,300	Desember	26,680
Average	**25,417**	**Average**	**26,729**

Berikut hasil *improvement* dengan menggunakan *fludizing system* maka didapatkan data hasil yang ditunjukan pada Tabel 4 dan Tabel 5. Dari hasil *improvement* yang sudah dilakukan, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Waktu *loading* berkurang, dimana sebelumnya rata-rata dari 125 menit menjadi 26 menit (Tabel 4).
2. Kapasitas *loading* bulk tangker meningkat dari sebelumnya rata-rata 25.417 kg menjadi 26.729 kg (Tabel 5)
3. Sewa bulk tangker sudah tidak ada.
4. Kemudahan operator dalam *control loading* bulk tangker dari *system* manual ke *system* scada.

Kesimpulan

Improvement yang dilakukan pada *transfer* tepung terigu ke bulk tangker dengan menggunakan metode *fluidizing system,* sangat efektif karena mempercepat waktu *loading* dan menambah tekanan pada proses *transfer* sehingga produk dapat menjadi lebih cepat mengalir dan juga meningkatkan kapasitas *loading* ke bulk tangker.

Selain itu, kapasitas di *flourbin* 51 *dan flourbin* 52 dapat ditingkatkan yang sebelumnya hanya dapat menampung 25 ton, saat ini dapat dimaksimalkan menjadi 80 ton setiap *flourbin*nya karena produk sudah tidak *blocking* tetapi mengalir lancar pada saat *transfer*. Selain itu, waktu untuk *loading* berikut dapat lebih cepat untuk pengisian ke bulk tangker selanjutnya karena *flourbin* masih ada *stock* tepung terigu.

Penimbangan saat *loading* ditiadakan dan diganti dengan sensor level untuk pengaman dalam mengatasi produk penuh atau luber saat pengisian. Sedangkan untuk mengukur berat produk tepung terigu pada bulk tangker dilakukan penimbangan di jembatan timbang pada saat selesai *loading*. Dampak lain yang dirasakan oleh *driver* adalah peningkatan ritase pengiriman dan juga kebersihan area aktivitas *loading* dan bulk tangker.

Ucapan Terima Kasih

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat-Nya dan kasih karunia maka penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Alexander Pasangallo (MDH Nutrindo Bogarasa) atas kesempatan yang diberikan untuk mengikuti Program Studi Profesi Insinyur, pada keluarga, dan rekan-rekan yang selalu *support* dalam penyusunan FAIP dan artikel ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Dr. Ir. Ivan Gunawan, S.T., M.MT., CSCM., IPM., ASEAN Eng. sebagai Kaprodi PSPI, dan semua pihak yang telah membantu terselesaikannya tulisan ini.

Referensi

Almuhtarom, P. S. (2015). *Perancangan Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) menggunakan software CX Supervisor 3.1 pada simulasi sistem listrik redundant berbasis Programmable Logic Controller (PLC) OMRON CP1E NA-20-DRA* [Skripsi tidak diterbitkan]. Universitas Negeri Yogyakarta.

George, M. L. (2002). *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma quality with Lean production speed*. New York: McGraw-Hill.

Ishikawa, K. (1982). *Introduction to quality control* (3rd ed.). Tokyo: Kaoru Ishikawa Publishing.

Kunii, D., & Levenspiel, O. (1991). *Fluidization engineering* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

Tarigan, N., Silitonga, N., & Sitorus, I. J. (2025). Analysis of air volume requirements for blower in tapioca flour transfer from dryer unit to shifter unit. *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, *4*(1), 8–13. https://doi.org/10.56862/irajtma.v4i1.178.

Sinaga, T. S., Budiman, I., & Kartika, T. H. (2025). Analisis penyebab produk defect selama penyimpanan pada perusahaan manufaktur plastik dengan diagram Pareto dan Root Cause Analysis. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN)*, *8*(2), 1714–1722. https://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jutin/article/view/41632/27793.

Yusup, M., Purbawati, Atmaja, D. A., & Rosanti, I. (2025). Penerapan diagram sebab akibat (fishbone diagram) pada identifikasi kerusakan mekanisme pengumpan dan penyusunan Standard Operating Procedure mesin skrap. *Mars: Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Ilmu Komputer*, *3*(1), 139–151. https://journal.arteii.or.id/index.php/Mars/article/view/619/883

ISSN 2987-677x

Analisis Data Kecelakaan Kerja di PT. X Periode Tahun 2024 - 2025

Wahyu Prima Saputra[1] Rasional Sitepu[2] Tarsisius Dwi Wibawa Budianta[2]

[1] PT. X, Kabupaten Tangerang
[2] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ wahyuprimasaputra@yahoo.com
✉ rasional@ukwms.ac.id
✉ tdwiwibawabudianta@ukwms.ac.id

Pengamatan ini bertujuan untuk menganalisis kejadian kecelakaan kerja di sebuah perusahaan FMCG yaitu PT X, dengan mengevaluasi efektivitas tindakan perbaikan yang dilakukan untuk mengurangi jumlah kecelakaan kerja. Data kecelakaan kerja dikumpulkan selama periode tahun 2024 dan 2025. Hasil analisis menunjukkan bahwa potensi tertinggi terjadinya kecelakaan kerja adalah kecelakaan kerja terjepit, di area *packing*, karyawan berusia 21-23 tahun, dan masa kerja 1-6 bulan. Tindakan perbaikan yang dilakukan berdasarkan metode hirarki pengendalian risiko (*Hierarchy of Control*) meliputi eliminasi, subtitusi, rekayasa teknik, administratif, dan alat pelindung diri (APD). Hasilnya, jumlah kejadian kecelakaan kerja menurun 57% dilihat dari data kecelakaan bulan Januari-Mei tahun 2025 dibanding dengan data kecelakaan kerja bulan Januari-Mei tahun 2024.

Kata kunci: kecelakaan kerja; keselamatan dan kesehatan kerja (K3), pengendalian risiko, pencegahan, perbaikan

Pendahuluan

Industri *Fast Moving Consumer Goods* (FMCG) merupakan salah satu sektor yang berkembang pesat di Indonesia, seiring dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat akan produk-produk yang dikonsumsi sehari-hari. Pertumbuhan industri ini mendorong munculnya banyak pabrik baru yang beroperasi dengan teknologi dan sistem produksi modern. Namun, di balik perkembangan tersebut, aspek keselamatan dan kesehatan kerja (K3) menjadi tantangan tersendiri, terutama bagi pabrik - pabrik baru yang masih dalam tahap penyesuaian terhadap standar operasional dan budaya kerja yang aman.

Menurut Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970, kecelakaan kerja (KK) adalah suatu kejadian yang tidak diduga semula dan tidak dikehendaki, yang mengacaukan proses yang telah diatur dari suatu aktivitas dan dapat menimbulkan kerugian baik korban manusia maupun harta benda.

International Labour Organization (ILO, 2005) menekankan pentingnya pencegahan kecelakaan dan penyakit akibat bekerja. Dasar penerapan kesehatan dan keselamatan kerja di Indonesia adalah Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja, Peraturan Menteri Tenaga Kerja, Transmigrasi Republik Indonesia Nomor PER.03/MEN/1982 tentang Pelaksanaan Keselamatan dan Kesehatan Kerja, serta Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2012 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Meskipun telah terdapat undang - undang, berbagai peraturan, dan standar kesehatan dan keselamatan nasional serta internasional, kecelakaan di industri masih tinggi dan tidak dapat dihindari (ILO, 2005).

Menurut Undang-Undang RI No. 13 Tahun 2003, menyatakan bahwa mempekerjakan tenaga kerja berarti wajib memberikan perlindungan yang mencakup kesejahteraan, keselamatan, dan kesehatan baik mental maupun fisik tenaga kerja. Berbagai upaya dilakukan perusahaan untuk melindungi pekerjanya dari bahaya kecelakaan kerja (Suma'mur, 2009).

Hal tersebut sesuai dengan program SDG yang ke-3 tentang berkontribusi signifikan terhadap pencapaian berbagai SDGs, terutama yang berkaitan dengan kesehatan, pekerjaan, dan industri. Jumlah kecelakaan yang terjadi secara umum 80% disebabkan oleh faktor manusia, yaitu (*unsafe action*). *Unsafe action*, yaitu tindakan yang salah dalam bekerja atau tidak sesuai dengan yang telah ditentukan (*human error*), biasanya terjadi karena ketidakseimbangan fisik tenaga kerja dan kurangnya pendidikan. Serta, 20% disebabkan oleh *unsafe condition*. Oleh karena itu, penting bagi perusahaan untuk melaksanakan program keselamatan dan kesehatan kerja serta meningkatkan kualitas tenaga kerja (Tarwaka, 2015).

Pada kesempatan kali ini, penulis mencoba melakukan analisis data kecelakaan kerja di PT X periode tahun 2024 dan kemudian menjabarkan tindakan-tindakan perbaikan yang telah dilakukan perusahaan untuk menekan angka kecelakaan kerja.

Metode

Metode analisis yang digunakan adalah pengumpulan dan analisis data yang diambil dari data kecelakaan kerja PT X tahun 2024, kemudian dianalisa untuk dilakukan tindakan perbaikan menggunakan hirarki pengendalian risiko *(hierarchy of control)* yang terdiri atas eliminasi, subtitusi, rekayasa teknik, administratif, dan alat pelindung diri (APD).

Hasil Kerja

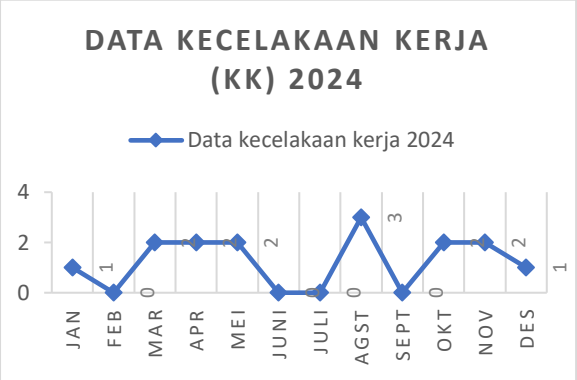
Pengumpulan data kecelakaan kerja yang terjadi di PT. X dilakukan tahun 2024. Kejadian kecelakaan kerja di PT X. mencapai total 15 kejadian kecelakaan kerja yang dijabarkan pada Tabel 1 – 4 di bawah ini:

Tabel 1 Data Kecelakaan Kerja PT X Tahun 2024

Bulan	Jumlah KK	Keterangan
Januari	1	Terjepit
Februari	0	-
Maret	2	Terpeleset, Terjepit
April	2	Terjepit
Mei	2	Tergores, Tertabrak

 ISSN 2987-677x

Juni	0	-
Juli	0	-
Agustus	3	Terjepit, Tergores, Terpeleset
September	0	-
Oktober	2	Terjepit, Tertusuk
November	2	Terjepit
December	1	Terjepit
Total	**15**	



Gambar 1 Data Kecelakaan Kerja PT X Tahun 2024

Tabel 1 dan Gambar 1, menunjukkan data KK di PT X selama periode tahun 2024. Ditemukan KK yang paling sering terjadi karena terjepit (46,7%).

Tabel 2 Kecelakaan Kerja PT X Tahun 2024 Berdasarkan Area Kejadian

Area Kejadian	Jumlah KK
Central Kitchen	2
Formulasi	1
Oven	2
Packing	7
Teknik	2
Fasum	1
Total	**15**

Tabel 2 menunjukkan data KK di PT X pada tahun 2024 berdasarkan area kejadian. Ditemukan KK paling tinggi terjadi di area *packing*, sebanyak 7 kejadian dari total 15 kejadian (46,7%).

Tabel 3 Kecelakaan Kerja PT X Tahun 2024 Berdasarkan Usia

Usia Karyawan (Tahun)	Jumlah KK
18 – 20	4
21 – 23	10
24 – 26	1
27 – 29	0
30 – 33	0
34 – 34	0
37 – 39	0
Total	**15**

Tabel 3 menunjukkan data KK di PT X berdasarkan usia karyawan. Ditemukan paling tinggi kejadian KK terjadi pada rentang usia 21 - 23 tahun, sebanyak 10 dari total 15 kejadian (66,7%).

Tabel 4 Kecelakaan Kerja Di PT X Tahun 2024 Berdasarkan Masa Kerja

Masa Kerja	Jumlah KK
< 1 bln	0
1 – 6 bln	9
7 – 12 bln	2
1 – 1,5 th	4
1,6 – 5,5 th	0
5,6 – 6 th	0
Total	**15**

Tabel 4 menunjukkan data KK berdasarkan masa kerja karyawan. Ditemukan paling tinggi kejadian KK terjadi pada rentang masa kerja 1 - 6 bulan, sebanyak 9 kejadian dari total 15 kejadian (60%).

Setelah menganalisis data, perusahaan melakukan beberapa tindakan perbaikan berdasarkan hirarki pengendalian risiko *(hierarchy of control):*

1. **Eliminasi:**

Tindakan eliminasi dilakukan dengan cara menghilangkan cara kerja yang berbahaya (contoh: membuka drum dengan cara manual) dengan menyediakan alat bantu (contoh: *drum stacker*) (Gambar 2).

Gambar 2 *Drum Stacker*

2. **Subtitusi:**

Tindakan substitusi dilakukan dengan cara penilaian terhadap metode *cleaning* agar tidak menjadi sumber bahaya -> mesin berputar wajib dalam posisi *OFF* saat *cleaning* dilakukan (Gambar 3). Tindakan pencegahan yang dilakukan setelah dilakukan penilaian adalah penggunaan LOTO sebagai pengamanan saat pekerjaan *maintenance* dan *cleaning* mesin dilakukan.

Gambar 3 Mesin *OFF* dan Penggunaan LOTO

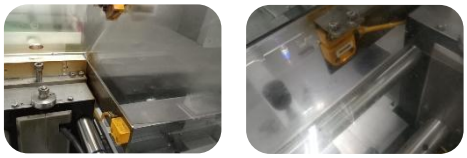
 ISSN 2987-677x

3. Rekayasa Teknik:

Tindakan rekayasa teknik dilakukan dengan modifikasi mesin (contoh: modifikasi pengaman mesin bungkus menjadi *full cover* dengan tujuan tidak ada celah untuk jari karyawan masuk ke dalam mesin) (Gambar 4).

Gambar 4 Contoh Modifikasi Mesin dengan Penambahan *Cover* Mesin

Dan pemasangan cover mesin yang dilengkapi dengan *limit switch* dan atau penambahan *limit switch* apabila belum tersedia pada mesin produksi (Gambar 5).



(a) *Limit switch* terbuka (b) *Limit switch* tertutup

Gambar 5 Pemasangan *Cover* Mesin yang Dilengkapi dengan *Limit Switch*

4. Administratif:

Tindakan adminsitratif yang dilakukan meliputi kegiatan sebagai berikut:

1. Peningkatan kompetensi dan kesadaran karyawan melalui *training* K3 secara berkala (Gambar 6).

Gambar 6 Karyawan PT X Mengikuti *Training* K3

2. Penyusunan *matrix training* yang sesuai dengan kebutuhan karyawan.
3. Penyusunan Instruksi Kerja (IK) *cleaning* mesin dan memberikan sosialisasi secara menyeluruh kepada *PIC cleaning* mesin.
4. Penilaian potensi bahaya pada area kerja.
5. Penempelan *sign* bahaya (permukaan panas, terjepit, terpotong, terbentur, tersetrum, terpleset) pada area / mesin produksi (Gambar 7).

Gambar 7 Penempelan *Sign* Bahaya

5. Alat Pelindung Diri:

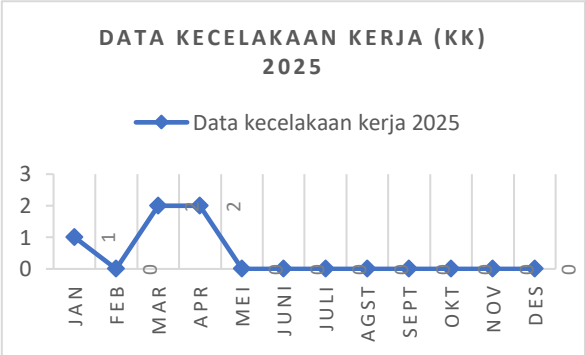
Menyediakan APD sesuai dengan potensi bahaya pada setiap area kerja, contohnya seperti apron las, *back support, earmuff, earplug, face shield, googles*, helm, kedok las, *masker, respirator*, sarung tangan, dan sepatu boot.

Setelah dilakukan perbaikan, selanjutnya kecelakaan kerja dipantau, dengan hasil sebagaimana pada Tabel 5 dan Gambar 8.

Tabel 5 Data Kecelakaan Kerja PT X Tahun 2025

Bulan	Jumlah KK	Keterangan
Januari	2	Tersayat, Terjatuh
Februari	1	Terbentur
Maret	0	-
April	0	-
Mei	0	-
Total	**3**	

Tabel 5 menunjukkan data kecelakaan kerja di PT X pada periode bulan Januari - Mei tahun 2025 (hingga makalah ini dibuat). Terdapat total 3 kejadian kecelakaan kerja.

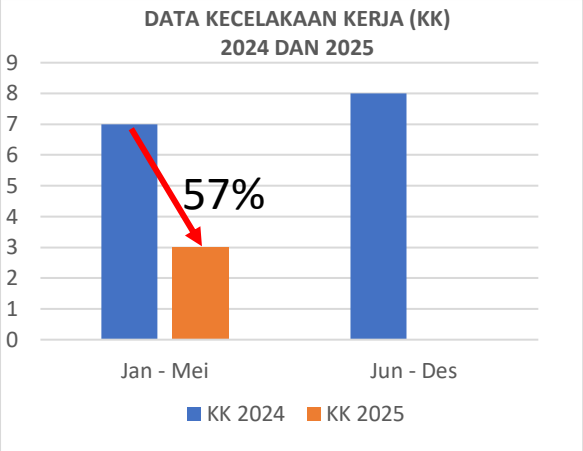


Gambar 8 Data Kecelakaan Kerja PT X Tahun 2025

Kesimpulan

Dari hasil analisis data KK tahun 2024 di PT X, dapat disimpulkan bahwa kecelakaan kerja yang paling berpotensi terjadi adalah kecelakaan kerja terjepit, area kerja di area *packing*, dalam rentang usia 21 - 23 tahun, dan masa kerja 1 - 6 bulan. Setelah dilakukan tindakan perbaikan, jumlah kejadian kecelakaan kerja menurun 57% dilihat dari data kecelakaan kerja bulan Januari -Mei tahun 2025 dibandingkan dengan data kecelakaan kerja bulan Januari – Mei tahun 2024 (Gambar 9).

 ISSN 2987-677x



Gambar 9 Data Kecelakaan Kerja PT X Tahun 2024 – 2025

Dengan demikian, tindakan perbaikan yang telah dilakukan oleh PT X dapat mengurangi jumlah kecelakaan kerja.

Ucapan Terima Kasih

Puji dan syukur atas kasih dan anugerahNya Tuhan Yesus Kristus sehingga penulis dapat mengikuti Program Profesi Insinyur semester genap 2024 / 2025 di Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya. Terima kasih kepada istri penulis, Inge Yossiska Wirawan, anak-anak penulis, Nathania Gwen Saputra dan Felicia Karen Saputra, atas kasih dan dukungannya kepada penulis. Terima kasih kepada Papa Mama dan Papa Mama Mertua penulis. Dan juga, terima kasih kepada Manajemen PT X, serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Referensi

Adi, Y. K., & Kushartomo, W. (2023). Analisis penerapan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) pada proyek X di Jakarta Pusat. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, *6*(2), 589–594.

International Labour Organization. (2005). *Pedoman praktis keselamatan dan kesehatan kerja*. Jakarta: Departemen Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia & Dewan Keselamatan dan Kesehatan Tenaga Kerja Nasional.

Indonesia. (2018). *Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia No. 05 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja*. Berita Negara RI Nomor 567.

PT X. (2024). *Report data kecelakaan kerja tahun 2024* [Laporan tidak dipublikasikan].

PT X. (2025). *Report data kecelakaan kerja tahun 2025* [Laporan tidak dipublikasikan].

Suma'mur. (2009). *Higiene perusahaan dan kesehatan kerja (HIPERKES)*. Jakarta: CV. Sagung Seto.

Tarwaka. (2015). *Keselamatan, kesehatan kerja dan ergonomi (K3) dalam perspektif bisnis*. Surakarta: Harapan Press.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1970 tentang keselamatan kerja. Tambahan Lembaran Negara RI Nomor 2918.

ISSN 2987-677x

Pengentasan Kemiskinan dan Pengangguran Melalui Program Perikanan Budi daya Untuk Menjaga Ketahanan Pangan di Kabupaten Sumenep

Edie Ferrydianto[12] Tarsisius Dwi Wibawa Budianta[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[2]Dinas Perikanan Kabupaten Sumenep, JL Raung No. 5a Pabian - Sumenep

✉ dhydiet20@gmail.com

Guna mencapai target program ketahanan pangan yang sekaligus berdampak pada penurunan angka keluarga terdampak kemiskinan ekstrim dan penurunan jumlah pengangguran usia produktif serta mendukung program makan bergizi gratis (MBG) perlu dilakukan beberapa terobosan diantaranya pendampingan pada masyarakat secara langsung dengan kegiatan pelatihan teknis sesuai potensi dan peluang usaha serta pemberian stimulan agar masyarakat sasaran mampu berdaya dan mandiri dengan memiliki kepercayaan diri untuk berkembang dan bahkan bangkit menjadi penggerak bagi masyarakat sekitarnya. Sejalan dengan 17 program SDGs yang dicanangkan oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) poin 1 tanpa kemiskinan (*no poverty*): Mengakhiri kemiskinan dalam segala bentuknya di seluruh dunia, dan poin 8 yaitu pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi (*decent work and economic growth*): Mempromosikan pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan, inklusif, dan berkelanjutan, serta menciptakan pekerjaan layak dan layak untuk semua. Potensi kelautan dan perikanan Kabupaten Sumenep sangat besar. Namun, kalau tidak mampu menjaganya serta menciptakan peluang baru, maka semua tidak akan bertahan lama. Sedangkan, sebagaian besar masyarakat Kabupaten Sumenep saat ini bekerja di sektor kelautan dan perikanan khususnya masyarakat yang berada di pesisir. Peran Dinas Perikanan Kabupaten Sumenep sangat besar untuk menggali potensi yang memungkinkan bisa dikembangkan dengan cara selalu menjalin kerjasama dengan lembaga-lembaga penelitian, akademisi, dan Unit Pelaksana Teknis milik DKP Provinsi Jawa Timur, serta Kementerian Kelautan dan Perikanan.

Kata kunci: mengurangi kemiskinan, hidup sehat, *green economy*, *sustainibility*

Pendahuluan

Kabupaten Sumenep yang terletak di ujung timur Pulau Madura memiliki 128 pulau dan ini menjadikan Kabupaten Sumenep kaya potensi sektor kelautan dan perikanannya. Di Tahun 2024, Kabupaten Sumenep mendapat penghargaan dari Gubernur Jawa Timur sebagai Kabupaten dengan produksi hasil kelautan dan perikanan terbesar se-Jawa Timur. Sektor kelautan dan perikanan di Kabupaten Sumenep terbagi menjadi 4 (empat), yaitu:

1. Perikanan tangkap
2. Perikanan budi daya
3. Perikanan pengolahan
4. Garam

Dinas Perikanan Kabupaten Sumenep saat ini sedang mengembangkan perikanan budi daya sebagai penggerak perekonomian masyarakat dengan beberapa sasaran program, yaitu antara lain program ketahanan pangan, program penurunan masyarakat terdampak kemiskinan ekstrim, dan program pengurangan angka pengangguran, dimana dalam 17 program SDGs yang dicanangkan Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) pada poin 8 berbunyi pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi (*decent work and economic growth*): Mempromosikan pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan, inklusif, dan berkelanjutan, serta menciptakan pekerjaan layak dan layak untuk semua.

Dipilihnya perikanan budi daya (budi daya ikan lele) sebagai solusi penyelesaian permasalahan seperti tersebut di atas karena perikanan budi daya memiliki beberapa kelebihan antara lain, yaitu:

1. Sangat mudah dilaksanakan;
2. Pasar terbuka luas ;
3. Tidak membutuhkan lahan yang terlalu luas;
4. Hasil analisa usaha masih sangat menguntungkan.

Perikanan budi daya sendiri terbagi lagi dalam beberapa kategori, yaitu:

1. Perikanan budi daya air laut (karamba apung, rumput laut, dll);
2. Perikanan budi daya air payau (udang, bandeng, mujair, dll);
3. Perikanan budi daya air tawar (gurami, nila, patin, lele, dll).

Di tahap awal, saat ini perikanan budi daya yang dikembangkan oleh Dinas Perikanan Kabupaten Sumenep adalah perikanan budi daya air tawar (Ikan lele). Mengingat produksi ikan lele yang ada di Kabupaten Sumenep masih belum mampu memenuhi tingginya permintaan pasar, budi daya ikan lele ini masih sangat memungkinkan untuk dijadikan pilot projek dengan target awal semua sasaran diberikan pelatihan teknis mulai dari persiapan lahan

ISSN 2987-677x

pemilihan bibit, pemberian pakan, sampai panen. Program budi daya ikan lele sangat berguna karena memberikan manfaat ekonomi, sosial, dan lingkungan. Secara ekonomi, budi daya lele dapat meningkatkan pendapatan masyarakat dan menciptakan lapangan kerja. Secara sosial, lele merupakan sumber protein hewani yang terjangkau dan mudah didapatkan, sehingga membantu memenuhi kebutuhan gizi masyarakat. Secara lingkungan, budi daya lele dapat dilakukan dengan sistem ramah lingkungan seperti bioflok yang mengurangi limbah dan meningkatkan efisiensi penggunaan pakan. Sistem bioflok dinilai sebagai metode yang paling ramah lingkungan. Sistem bioflok menawarkan solusi yang lebih berkelanjutan dalam budi daya lele. Dengan mengadopsi teknologi ini, pembudi daya tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga berkontribusi dalam menjaga kelestarian lingkungan (Sucofindo, 2025).

Budi daya ikan lele di Kabupaten Sumenep untuk saat ini telah berkembang sampai ke wilayah kepulauan, dan di usaha budi daya ikan lele ini ada beberapa peluang usaha antara lain:

1. Pembenihan (memproduksi benih);
2. Pembesaran (memproduksi Ikan Lele konsumsi);
3. Pengolahan dan pemasaran.

Sejalan dengan Program Bapak Presiden Prabowo, yaitu makan bergizi gratis (MBG), nantinya akan membutuhkan ikan sebagai sumber gizi hewani, dan ikan lele memiliki beberapa kelebihan daripada ikan lainnya dimana ikan lele kaya akan protein, asam lemak omega-3, vitamin B12, dan zat besi, serta memiliki kandungan kalori yang rendah. Kelebihan ikan lele dibandingkan ikan lainnya antara lain kandungan vitamin B12 yang tinggi, yang berperan penting dalam pembentukan sel darah merah, kesehatan otak, dan sintesis DNA, serta kandungan asam lemak omega-3 yang baik untuk kesehatan jantung dan fungsi otak, selain juga memiliki kandungan gizi yang tinggi, dimana komposisi gizi ikan lele seperti pada (Tabel 1), meliputi:

Tabel 1 Komposisi Kandungan Gizi Ikan Lele per 100 gr

NO.	NUTRISI	JUMLAH / 100 gr
1.	Kandungan air	78 %
2.	Sumber energi	90 kal
3.	Protein	18,7 gr
4.	Lemak	1,1 gr
5.	Kalsium	15 mg
6.	Fosfor	126 mg
7.	Zat besi	2 mg
8.	Natrium	15 mg
9.	Thiamin (Vit B1)	0,1 mg
10.	Riboflavin (Vit B2)	0,05 mg
11.	Niacin	2 mg

Ikan lele juga kaya akan leusin dan lisin yang berperan penting untuk pertumbuhan dan perkembangan anak, menjaga keseimbangan nitrogen, serta perombakan dan pembentukan protein otot, apalagi daging ikan merupakan salah satu protein hewani yang paling minim lemak jahat, ikan kaya nutrisi, seperti pilfood-3, serat protein, asam amino, zat besi, dan yodium. Selain itu, ikan juga kaya vitamin, seperti vitamin A, D, B6, dan B12. Oleh karena itu, masyarakat Indonesia selalu dianjurkan makan ikan karena ikan memiliki banyak manfaat bagi kesehatan (Minapoli, 2023). Ini membuat perikanan budi daya semakin menjanjikan untuk diusahakan sebagai penggerak perekonomian masyarakat. Selama ini, usaha sektor perikanan hanya dirasakan oleh masyarakat pesisir (sebagai nelayan dan petambak). Namun, dengan pengembangan perikanan budi daya air tawar, sektor perikanan bisa dirasakan dan diusahakan oleh semua masyarakat, mulai daerah pesisir sampai ke daerah pedalaman, bahkan perkotaan. Budi daya ikan lele memiliki banyak keunggulan. Salah satunya bisa dibudidayakan di lahan yang sempit atau terbatas. Budi daya ikan lele bisa memanfaatkan pekarangan rumah yang tidak terlalu luas atau bahkan di dalam ember (AgroMedia, 2022).

Metode

Untuk metode pelaksanaan kegiatan program ketahanan pangan, pengentasan kemiskinan, dan pengangguran ini, yaitu dengan metode pelatihan pendampingan dan pemberian stimulan sebagai modal awal usaha.

Hasil Kerja

Pelatihan, Pendampingan, dan Pemberian Stimulan Untuk Menjawab Peluang Pengembangan Budi Daya Lele

Kabupaten Sumenep selain memiliki potensi hasil perikanan tangkapnya yang besar, di sektor perikanan budi daya laut produksinya juga tak kalah dimana Kabupaten Sumenep sebagai penghasil rumput laut terbesar se-Jawa Timur dengan produksi Tahun 2024 sebesar 735.131,50 ton. Namun, semua itu sampai saat hanya bisa dirasakan oleh masyarakat pesisir. Oleh karenanya, Dinas Perikanan Kabupaten Sumenep melalui bidang perikanan budi daya mencari peluang usaha perikanan yang bisa dilakukan oleh semua masyarakat baik di pesisir, pedalaman, bahkan perkotaan. Salah satunya yang memiliki peluang cukup menjanjikan, yaitu budi daya ikan lele, karena selain perawatannya yang mudah, ikan lele juga dapat dipanen dengan waktu yang singkat kurang lebih 2,5 – 3 bulan. Ini membuat perputaran uang sangat cepat dan bisa kembali modal dengan cepat pula.

Kegiatan budi daya ikan lele setiap tahunnya selalu mendapat dukungan anggaran, baik dari APBD Kabupaten Sumenep, APBD DKP Prov. Jatim, dan bahkan dari Pemerintah Pusat (Kementerian Kelautan dan Perikanan). Sehingga, lambat laun jumlah pelaku usaha budi daya ikan lele di Kabupaten Sumenep terus bertambah dan sejalan dengan produksinya yang terus meningkat. Sebagai contoh, Kabupaten Sumenep setiap tahunnya selalu mendapatkan Program Kolam Lele Keluarga (Kolega) dan Program Peti Koin Bermantra dari Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Jawa Timur yang menyasar keluarga kurang mampu agar memiliki penghasilan tambahan, serta guna memenuhi gizi keluarganya. Program Kolega dan Program Peti Koin Bermantra ini memiliki potensi besar untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan mendukung pencapaian *sustainable development goals* (SDGs) terkait kemiskinan. Penerapan program ini memerlukan kolaborasi dan koordinasi yang kuat antara berbagai pihak, serta pemantauan dan evaluasi secara berkelanjutan. Kabupaten Sumenep merupakan wilayah kepulauan dan kaya akan potensi ikan lautnya, namun dari hasil survei lapangan serta dari data produksi ikan lele yang masih jauh di bawah jumlah

 ISSN 2987-677x

permintaan pasar, menandakan telah terjadi fenomena dimana masyarakat Kabupaten Sumenep mulai tertarik untuk mengkonsumsi ikan air tawar dan ini sejalan dengan program Dinas Perikanan Kabupaten Sumenep serta Program Pemerintah Pusat yang ingin meningkatkan ketahanan pangan di setiap daerah serta membuka peluang usaha agar tingkat pengangguran menurun dan kesejahteraan masyarakatnya meningkat.

Setiap tahunnya Dinas Perikanan melalui bidang perikanan budi daya tidak hanya menganggarkan budi daya ikan lele, seperti tahun anggaran 2025 ini ada beberapa program yang dianggarkan antara lain (Juknis Anggaran Dinas Perikanan Kab. Sumenep, 2024):

1. Budi daya ikan lele
2. Budi daya ikan nila
3. budi daya udang vaname
4. budi daya rumput laut *echeuma cottonii*
5. Budi daya di Karamba Apung di perairan umum
6. Budi daya di Karamba Apung laut (kerapu, lobster, dll)

Demi kesuksesan program di atas tersebut, Dinas Perikanan selalu memberikan pendampingan serta pelatihan sehingga calon penerima bantuan (hibah) sudah benar-benar menguasai cara budi daya ikan yang baik, dengan harapan program ini akan berhasil. Dinas Perikanan Kabupaten Sumenep selalu bekerja sama dengan Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Jawa Timur untuk memberikan pelatihan – pelatihan (Gambar 1) melalui UPT untuk teknisnya, mengingat Dinas Perikanan Kabupaten Sumenep masih belum memiliki fasilitas pelatihan teknis untuk pengembangan usaha budi daya ikan.

Pelatihan Pembenihan dan Pembesaran Ikan Lele | Pembinaan dan Pendampingan Pokdakan Lele | Bimtek Calon Penerima Hibah Sarpras Budi daya Lele

Gambar 1 Pelatihan, Pembinaan, dan Bimtek

Dalam melakukan usaha budi daya ikan yang harus diperhatikan selain pemilihan bibit adalah kualitas air. Jadi, air memiliki peranan penting untuk kesuksesan dalam budi daya ikan. Oleh karena itu, setiap pendampingan atau pembinaan terhadap kelompok pembudi daya ikan (Pokdakan) selalu ditekankan tentang pentingnya manajemen kualitas air, baru selanjutnya cara pemberian pakan dan obat-obatan. Selain itu, dalam budi daya ikan juga harus mengenal karakteristik ikan yang akan dipelihara. Contohnya, pertama, ikan lele merupakan ikan yang aktif dimalam hari (nokturnal) jadi prosentase pemberian pakan harus lebih banyak di malam hari, kedua, adalah ikan lele bersifat kanibal maka dalam pemberian pakan ketepatan waktu harus tetap dijaga untuk menghindari ikan lele sampai kelaparan dan apabila itu terjadi lele bisa saling memangsa (kanibal). Ikan lele dilengkapi pernafasan tambahan berupa modifikasi dari busur insangnya dan bernafas dengan bantuan labirin yang berbentuk seperti bunga karang di bawah badannya (Direktorat Produksi dan Usaha Budi daya, 2017).

Ikan lele merupakan salah satu jenis ikan air tawar yang bisa dibudidayakan dan memiliki peluang permintaan konsumen yang tinggi di berbagai wilayah Indonesia. Ikan lele merupakan komoditas ikan yang berpotensi tinggi untuk bisa dikembangkan, baik dalam skala rumah tangga sampai dengan skala industri, yaitu dengan penerapan metode budi daya yang baik serta usaha untuk tetap memperluas segmentasi pasar (Kurniawan et al., 2021).

Saat ini jumlah pelaku usaha budi daya lele di Kabupaten Sumenep sebanyak 238 orang dengan jumlah produksi tahun 2024 sebesar 1.0531,11 ton. Dari hasil survei, permintaan pasar total produksi tersebut baru bisa memenuhi permintaan pasar sebesar 25%. Dengan kata lain, masih ada kebutuhan sebesar 75% lagi yang belum terpenuhi, ini sekaligus membuka peluang juga untuk budi daya pembenihan (produksi benih). Program budi daya lele sangat memungkinkan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan menjaga ketahanan pangan, dengan membuat generasi muda Kabupaten Sumenep lebih produktif dalam melakukan usaha budi daya ikan. Budi daya ikan lele terdiri dari dua tahap, pertama, melalui pembenihan dengan memelihara induk dan menghasilkan benih. Yang kedua, yaitu usaha pembesaran atau budi dayanya. Budi daya ikan lele dikembangkan dengan metode kolam terpal dengan pemberian bantuan kolam terpal (Sari, 2024).

Hasil analisa usaha sederhana yang dilakukan oleh Bidang Perikanan Budi Daya Dinas Perikanan Kabupaten Sumenep dalam usaha budi daya ikan lele per 1000 ekor akan didapat keuntungan bersih sekitar Rp. 250.000 s/d Rp. 300.000. Apabila pelaku budi daya yang hanya memiliki 2 kolam saja ukuran 3” dengan sekali tebar, masing-masing kolam diisi sebanyak 5000 ekor, maka hasil bersih yang akan didapat berkisar antara Rp. 2.500.000 s/d Rp. 3.000.000. Analisa usaha sederhana tersebut sudah sesuai dan telah diujicobakan di kolam percontohan milik Dinas Perikanan Kabupaten Sumenep. Dengan hasil analisa seperti tersebut, dapat dikatakan usaha ini sangat menguntungkan mengingat usaha dapat dilakukan di pekarangan rumah dan pembudi daya masih bisa melakukan aktivitas lain agar bisa menambah pendapatannya. Jadi, peluang pasar sebuah usaha adalah penentu terakhir apakah sebuah usaha itu bisa berkelanjutan atau tidak. Budi daya ikan lele sangat diminati para peternak karena pasarnya yang terus berkembang (Wikipedia, 2025).

Pengeluaran terbesar dalam satu siklus budi daya ikan adalah pada pembelian pakan. Jadi, ketika melakukan usaha budi daya ikan harus memperhatikan manajemen pemberian pakan, jangan sampai pemberian pakan tanpa perhitungan. Artinya, ketika salah dalam perhitungan ada 2 kemungkinan yang bisa terjadi, yaitu:

- Apabila kurang dalam pemberian pakan maka bisa menghambat pertumbuhan dan ikan lele bisa bersifat kanibal;
- Sebaliknya, kalau pemberian pakan secara berlebihan, maka sisa pakan akan mengendap di dasar sehinga mempengaruhi kualitas air (bersifat racun) dan biaya pengeluaran dalam setiap siklus budi daya ikan lele khususnya pembelian pakan akan membengkak sehingga mengurangi keuntungan.

 ISSN 2987-677x

Yang paling kencang dikeluhkan pembudi daya ikan adalah mahalnya harga pakan ikan lele. Memang benar bahwa pakan memberikan konstribusi biaya yang tinggi hingga 70%, tetapi memang untuk pertumbuhan. Sebab, jika pakannya tidak tepat makan, ikan lelenya akan "sombong", hanya kepalanya yang besar, ikannya kurus, dan rasanya tidak gurih (bahasa Jawanya 'sepo') (PT. Matahari Sakti, 2023).

Selain pengeluaran dalam setiap siklus budi daya, modal awal yang harus disiapkan, yaitu pengadaan kolam, dimana dalam budi daya ikan air tawar ada beberapa model maupun bahan kolam antara lain :

- Kolam terpal (bundar dan kotak);
- Kolam beton;
- Kolam tanah; dll.

Keunggulan penerapan kolam terpal bulat selain praktis, efisien, dan murah, juga mampu menampung lebih banyak bibit ikan lele. Padat tebarnya mencapai 700 ekor lele/meter kubik (AgroMedia, 2017). Budi daya lele di kolam bundar terpal menawarkan banyak keuntungan, di antaranya kemudahan dalam penerapan, efisiensi penggunaan air, dan potensi panen yang tinggi. Kolam bundar terpal juga memudahkan pengelolaan kualitas air, hemat pakan, dan dapat menampung lebih banyak bibit lele. Dengan keunggulan-keunggulan tersebut, budi daya lele di kolam bundar terpal menjadi pilihan yang menarik bagi pemula maupun pelaku usaha perikanan yang ingin meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Penggunaan kolam terpal bulat untuk budi daya ikan lele dimaksudkan agar lebih efektif dan efisien karena mudah dalam pemasangan, biaya relatif lebih murah, dapat menyesuaikan kondisi lahan, mudah dirawat, mudah dipindah, dan mudah untuk disimpan sehingga lebih fleksibel dengan tetap bisa dimaksimalkan dalam proses budi dayanya. Kelebihan utama budi daya ikan lele dengan memakai kolam terpal adalah modal yang tidak terlalu besar dan kebutuhan lahan yang sedikit. Penggunaan kolam – kolam berukuran kecil dalam jumlah banyak bisa memungkinkan panen dilakukan secara berkala dalam selisih waktu yang singkat sehingga modal lebih cepat berputar (Alfa Farm, 2021).

Budi Daya Ikan Lele Sistem Aquaponik dan *Bioflock*

Dalam mencapai program ketahanan pangan, saat ini Kabupaten Sumenep melalui Dinas Perikanan sedang mengembangkan budi daya ikan lele sistem aquaponik dan *bioflock*, yaitu metode yang menggabungkan akuakultur (budi daya ikan lele) dengan hydroponik (budi daya tanaman) dalam satu sistem yang saling mendukung. Tanaman yang dibudidayakan dalam hal ini adalah sayuran seperti, sawi, kangkung, pakcoy, dll. Sayur hydroponik saat ini memeiliki pasar yang bagus, selain permintaannya tinggi, harga jualnya juga tinggi. Setidaknya ada dua keuntungan budi daya lele dengan sistem aquaponik, yakni pertama bisa panen lele dan kedua juga bisa panen sayuran. Karena sistem ini memadukan atau mengintegrasikan antara usaha perikanan dan pertanian (Wiradesa, 2022).

Dalam sebuah usaha juga harus memperhatikan kelestarian lingkungan, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjangnya, termasuk dalam melakukan budi daya ikan lele ini. Bidang Perikanan Budi Daya telah mengkaji dan mempelajari terlebih dahulu sebelum disebarluaskan ke masyarakat, dan hasilnya limbah buangan sisa budi daya setelah diujicobakan disiramkan ke tanaman pertanian maupun perkebunan hasilnya tanaman lebih subur dan berbuah lebih lebat. Artinya, usaha budi daya lele dengan sistem aquaponik dan *bioflock* tidak memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Malah sebaliknya, dapat membantu menyuburkan tanaman dan dengan sistem *bioflock* ini selama proses budi daya juga tidak mencemari udara (tidak bau) sehingga bisa berdampingan dengan pemukiman masyarakat. Dalam sistem bioflok, limbah organik seperti sisa pakan dan kotoran ikan akan diuraikan oleh bakteri heterotrof menjadi senyawa organik yang lebih sederhana. Bakteri autotrof kemudian akan memanfaatkan senyawa organik tersebut untuk tumbuh dan berkembang biak. Proses ini menghasilkan gumpalan-gumpalan kecil yang disebut flok. Flok ini mengandung protein, karbohidrat, dan lemak yang sangat baik sebagai pakan alami bagi ikan lele (Sucofindo, 2025).

Selain itu keagiatan ini juga sudah sejalan dengan 17 program SDGs yang dicanangkan oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa poin 6, yaitu air bersih dan sanitasi layak (*clean water and sanitation*): Memastikan ketersediaan dan pengelolaan air bersih dan sanitasi yang layak dan berkelanjutan bagi semua orang.

Bukti Nyata Entas Kemiskinan dan Pengangguran dengan Budi Daya Lele

Program budi daya ikan lele gencar dilakukan oleh Bidang Perikanan Budi Daya Dinas Perikanan Kabupaten Sumenep sejak Tahun 2022 mengingat permintaan pasar terus meningkat namun peningkatan produksinya masih sangat lambat. Ini diakibatkan oleh pelaku usaha budi daya lele banyak yang berhenti karena harga pakan terus mengalami kenaikan namun harga jual lele tidak naik. Dinas Perikanan melalui Bidang Perikanan Budi Daya langsung bergerak mecari alternatif pakan mandiri dan produsen pakan pabrikan yang bisa mendukung kegiatan usaha budi daya lele dengan memberikan keringanan bisa membayar setelah panen, sehingga pembudi daya mulai bersemangat lagi dan harga jual yang juga mengalami kenaikan, sedangkan untuk pengembangan pakan mandiri untuk budi daya lele berarti membuat pakan sendiri, bukan membeli pakan pabrikan.

Pakan mandiri ini bisa dibuat dari bahan-bahan, seperti tepung ikan, tepung kedelai, dedak halus, tepung jagung, dan bungkil kelapa. Selain itu, bisa juga menggunakan bahan alternatif seperti maggot, ampas tahu fermentasi, atau limbah peternakan, sehingga dapat menekan biaya produksi (biaya budi daya). Saat ini, dari tahun ke tahun produksi ikan lele konsumsi telah mengalami kenaikan walaupun masih jauh di bawah permintaan pasar yang menandakan peluang usaha ini masih sangat menjanjikan. Hampir di setiap kecamatan, dari daratan sampai kepulauan, bermunculan pembudi daya lele. Bahkan, ada beberapa Bumdes yang tertarik melakukan usaha budi daya ikan lele sebagai implementasi program pemerintah pusat yang mewajibkan minimal 20% dana desa harus dimanfaatkan untuk mendukung ketahanan pangan.

Program ketahanan pangan dan program makan bergizi gratis (MBG) pemerintahan saat ini sangat berdampak positif bagi kemajuan sektor kelautan dan perikanan. Pengembangan budi daya ikan lele ini juga dapat memanfaatkan limbah sisa olahan dari dapur

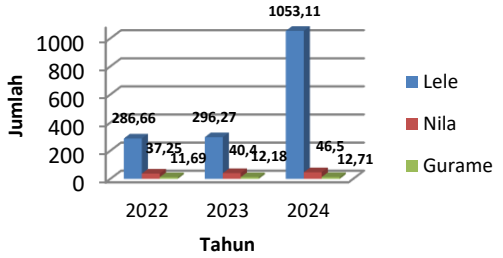
 ISSN 2987-677x

MBG, baik berupa sisa sayuran, lauk, dan nasi sehingga program ketahanan pangan budi daya lele ini dapat saling mendukung dan berkolaborasi agar program pemerintah tercapai dengan sempurna.

Keberhasilan program pengembangan budi daya ikan lele sebagai upaya pengurangan angka keluarga terdampak kemiskinan ekstrim dan penurunan angka pengangguran demi tercapainya ketahanan pangan sudah mulai terlihat dan ini tercermin pada tabel produksi dari tahun 2022 s/d 2024, yang menunjukkan di tahun 2024 ikan lele mengalami peningkatan produksi yang sangat signifikan di atas 300% bila dibandingkan dengan tahun 2022, seperti Tabel 2 dan Gambar 2, di bawah ini:

Tabel 2 Produksi Budi Daya Ikan Air Tawar

Jumlah Pelaku	Tahun		
	2022	2023	2024
Lele	286.66	296.27	1053.11
Nila	37.25	40.4	46.5
Gurami	11.69	12.18	12.71



Gambar 2 Data Produksi Budi Daya Ikan Air

Kesimpulan

Kabupaten Sumenep termasuk Kabupaten di Jawa Timur yang jumlah penduduk miskinnya tinggi yaitu di Tahun 2024 berada diangka 196,42 ribu jiwa dan ini merupakan permasalahan yang harus segera diselesaikan. Seiring dengan program pemerintah pusat, yaitu peningkatan ketahanan pangan maka program yang dirasa sangat cocok dan relevan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut yaitu dengan program budi daya ikan air tawar khususnya budi daya ikan lele. Ke depannya, program ini akan di pertajam dengan membentuk kampung-kampung budi daya yang melibatkan generasi muda produktif di setiap desa, Seperti yang ada di 17 program SDGs yang dicanangkan oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) pada poin 1, yaitu tanpa kemiskinan (*no poverty*): Mengakhiri kemiskinan dalam segala bentuknya di seluruh dunia.

Ucapan Terima Kasih

1. Pertama, terima kasih saya ucapkan kepada Istri yang selalu mendukung dan mendorong untuk ikut kuliah Profesi Insinyur.
2. Kedua, saya ucapkan terima kasih kepada teman-teman di Bidang Perikanan Budi Daya Dinas Perikanan Kabupaten Sumenep yang selalu kompak dan semangat menjalankan program oengembangan perikanan budi daya di Kabupaten Sumenep.

Referensi

AgroMedia. (2017). *Makin untung budi daya lele di kolam bulat dengan sistem Biogreen*. https://agromedia.net/makin-untung-budi-daya-lele-kolam-bulat-sistem-biogreen/

AgroMedia. (2022). *Budi daya ikan lele di lahan terbatas* (Marel Bintang Mahardika, Penulis). Program Studi Agribisnis, Fakultas Sains dan Teknologi – Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta. https://agromedia.net/budi-daya-ikan-lele-di-lahan-terbatas/

Alfa Farm. (2021). *Kelebihan dan langkah budi daya lele kolam terpal*.

https://alfafarm.co.id/blog/kelebihan-dan-langkah-budi-daya-lele-kolam-terpal/

Direktorat Produksi dan Usaha Budidaya, Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2017). *Budi daya ikan lele sistem bioflok*. https://upt-bbi.pangkalpinangkota.go.id/wp-content/uploads/2023/07/buku-saku-lele-bioflok_revisi-_FINAL_compressed.pdf

Dinas Perikanan Kabupaten Sumenep. (2022–2024). *Buku laporan produksi tahunan*. Kabupaten Sumenep: Dinas Perikanan Kabupaten Sumenep.

Dinas Perikanan Kabupaten Sumenep. (2024). *Juknis anggaran Dinas Perikanan Kabupaten Sumenep*. Kabupaten Sumenep: BKAD Kabupaten Sumenep.

Kurniawan, I., Saloko, S. A., & Aji, W. A. (2021). *Pelatihan budi daya lele dalam kolam terpal bulat untuk keterampilan warga binaan di Lapas IIB Sleman*. Universitas Sarjana Wiyata Taman Siswa.

Minapoli. (2023). *Budi daya lele semakin untung dengan bioflok dan RAS*. Jaringan Informasi dan Bisnis Perikanan. https://www.minapoli.com/info/ikan-lele-budi-daya-lele-semakin-untung-dengan-bioflok-dan-ras

PT Matahari Sakti. (2023). *Peluang dan tantangan dalam budi daya lele*. https://www.mataharisakti.com/article/peluang-dan-tantangan-dalam-budi-daya-lele

Sari, D. K. (2024). *Budi daya lele mampu mengentaskan kemiskinan ekstrem di Sulsel*. https://www.rri.co.id/umkm/567516/budi-daya-lele-mampu-mengentaskan-kemiskinan-ekstrim-di-sulsel

Sucofindo. (2025). *Adakah cara budi daya lele dengan sistem yang ramah lingkungan?* https://www.sucofindo.co.id/artikel-1/adakah-cara-budi-daya-lele-dengan-sistem-yang-ramah-lingkungan/

Wiradesa. (2022). *Budi daya lele dengan sistem aquaponik*. https://www.wiradesa.co/budi-daya-lele-dengan-sistem-aquaponik/

ISSN 2987-677x

Implementasi Program Forikan dan Gemari di Kabupaten Sumenep

Yanuar Yudha Bachtiar[12]

[1]Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[2]Sekretariat DPRD Kabupaten Sumenep, Jl. Raya Trunojoyo Km 03 Desa Gedungan, Kec. Batuan Kab. Sumenep

✉ yanuaryudhabachtiar_sby@ukwms.ac.id

Indonesia merupakan sebuah negara martimin dan kepulauan karena memiliki wilayah laut yang luas dan ribuan pulau dari sabang sampai merauke sehingga Indonesia memiliki potensi laut yang sangat besar sehingga bisa bermanfaat bagi masyarakat luas khususnya di Kabupaten Sumenep. Potensi perikanan di Kabupaten Sumenep sangat besar baik dari segi produksi hingga konsumsi masyarakat luas terhadap ikan. Kabupaten Sumenep pada Tahun 2017 berhasil meningkatkan produksi dan konsumsi ikan dengan dilaksanakannya Program Forikan dan Gemari. Forikan merupakan kegiatan yang bertujuan untuk meningkatkan konsumsi ikan sehingga diharapkan menjadi faktor meningkatnya kualitas SDM masyarakat Kabupaten Sumenep. Untuk mewujudkan peningkatan angka konsumsi ikan nasional, pemerintah menyuarakan agar masyarakat untuk terus meningkatkan pola konsumsi ikan dengan dengan meluncurkan Program Forum Komunikasi Peningkatan Konsumsi Ikan (Forikan) dan Gerakan Memasyarakatkan Makan Ikan (Gemari). Program Forikan ditujukan guna mendongkrak tingkat konsumsi ikan di masyarakat melalui kegiatan yang dilaksanakan secara masif dan berkelanjutan, hal ini karena ikan memiliki banyak manfaat terhadap kesehatan dan kecerdasan manusia. Pendekatan yang digunakan adalah pendekatan kualitatif dengan tipe penelitian deskriptif, Kabupaten Sumenep merupakan salah satu daerah yang melaksanakan Program ini dengan melakukan berbagai kegiatan dan bekerjasama antar pihak. Program ini berhasil mendapatkan penghargaan baik di tingkat provinsi maupun nasional. Hasil yang didapatkan oleh Program Forikan dan Gemari adalah meningkatnya perolehan tangkapan ikan di tiap-tiap kecamatan, meningkatnya budidaya perairan tangkap, meningkatnya produksi olahan perikanan sehingga meningkatkan pendapatan per kapita masyarakat yang menggeluti usaha pengolahan perikanan serta peningkatan modernisasi alat tangkap perikanan dan pembinaan kepada para nelayan di Kabupaten Sumenep.

Kata kunci: kesejahteraan, konsumsi, produksi, forikan, gemari

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara maritim dan kepulauan yang memiliki sekitar 17.000 pulau serta wilayah laut yang mecapai 5,8 juta km^2. Wilayah laut yang lebih luas daripada daratan memberikan efek positif terutama dalam hal potensi alam yang berlimpah seperti minyak bumi, gas, dan ikan. Salah satu sumber daya yang sangat berdampak dan bersentuhan langsung dengan kehidupan manusia adalah ikan. Potensi perikanan Indonesia sangat potensial dengan banyaknya hasil laut dan luas kota administrasi laut yang dimiliki sebesar 70 persen dari total Kota Administrasi Indonesia. Indonesia sangat berpeluang untuk menjadikan ikan sebagai sumber protein utama guna meningkatkan gizi masyarakat, karena memiliki potensi ikan melimpah (Andarwulan et al., 2022 dan Yolla et al., 2021).

Potensi ikan hampir menyebar luas di seluruh perairan dan kepulauan di Indonesia seperti halnya di Kabupaten Sumenep. Kabupaten Sumenep merupakan salah satu daerah yang manghasilkan ikan dalam jumlah banyak setiap tahunnya. Dengan potensi alam tersebut Kabupaten Sumenep membuat sebuah program Forikan dan Gemari untuk memaksimalkan potensi yang ada. Forum komunikasi peningkatan konsumsi ikan (Forikan) dan gerakan memasyarakatkan makan ikan (Gemari) merupakan kegiatan yang bertujuan untuk mendorong peningkatan konsumsi ikan masyarakat Kabupaten Sumenep sehingga diharapkan terjadi peningkatan kualitas sumber daya manusia sesuai dengan program SDG Indonesia. Secara medis, konsumsi ikan dapat meningkatkan kesehatan dan kecerdasan, serta meningkatkan nilai ekonomis produksi perikanan yang diharapkan berpengaruh pada pertumbuhan ekonomi serta mendukung tercapainya pangan dan mempersiapkan generasi emas Indonesia tahun 2045 (Website Pemerintah Kabupaten Sumenep, 2017).

 ISSN 2987-677x

Kegiatan ini sebagai ajang informasi dan promosi berbagai macam produk olahan yang berbahan dasar ikan melalui lomba cipta menu. Hal ini menjadi penting untuk dipublikasikan guna meningkatkan daya tarik masyarakat untuk menkonsumsi makan ikan sehingga konsumsi makan ikan di Kabupaten Sumenep diharapkan semakin meningkat. Pelaksanaan Program Forikan dan Gemari di Kabupaten Sumenep mulai dilaksanakan pada tahun 2017. Program tersebut merupakan program unggulan Kabupaten Sumenep dengan Dinas Perikanan dan Kelautan sebagai *leading sectornya* (Website Pemerintah Kabupaten Sumenep, 2017).

Metode

Pendekatan yang digunakan adalah pendekatan kualitatif dengan tipe penelitian deskriptif. Jenis penelitian deskriptif kualitatif merupakan sebuah metode penelitian yang memanfaatkan data kualitatif dan dijabarkan sejara deskriptif. Unit analisis dalam penelitian ini adalah Dinas Perikanan dan Kelautan Kabupaten Sumenep.

Hasil dan Pembahasan

1. Lokasi dan Bentuk Kegiatan

Kegiatan sosialisasi Forikan dan Gemari dilaksanakan di aula Kecamatan Batuan pada tanggal 13 April 2017 dalam bentuk lomba mewarnai di tingkat Kecamatan. Sedangkan untuk pelaksanan lomba di tingkat Kabupaten, bertempat di Islamik Center Bindara Saod Desa Batuan Kecamatan Batuan pada tanggal 29 Agustus 2017 dalam bentuk lomba mewarnai dan lomba cipta menu berbahan dasar ikan laut. Di samping itu sosialisasi juga dilakukan di SDN Kasengan, SDN Daramesta, dan Guluk-Guluk pada tanggal 8 November 2017, serta di SDN Batuan, An-Najah, dan SDN Ganding II pada tanggal 22 November 2017 dalam bentuk sosialisasi dengan sasaran siswa SD yang berada di kecamatan daratan yang tidak berpantai (Gambar 1).

Hal tersebut meningkatkan kualitas sumber daya manusia serta nilai ekonomis produksi perikanan yang diharapkan berpengaruh pada pertumbuhan ekonomi, kemudian dengan diadakannya kegiatan sosialisasi Forikan dan Gemari dapat memberikan informasi dan promo berbagai macam produk olahan yang berbahan dasar ikan. Hal ini menjadi penting untuk di*publish* guna meningkatkan daya tarik masyarakat untuk mengkonsumsi makan ikan (Website Pemerintah Kabupaten Sumenep, 2017).

Gambar 1 Sosialisasi Program Forikan dan Gemari

2. Jumlah Pertumbuhan Tingkat Konsumsi Ikan

Jumlah pertumbuhan tingkat konsumsi ikan cukup bagus dari tahun ke tahun, terbukti pada tahun 2017 terealisasi sebesar 49,20 kg/kap/th dari target 40,68 kg/kap/th. Hal ini melebihi target yang ditentukan sehingga capaian kinerja mencapai sebesar 120,94%. Dibandingkan dengan tahun 2016, jumlah pertumbuhan tingkat konsumsi ikan sebesar 40 kg/kap/th meningkat sebesar 9,20 kg/kap/th (23%) pada tahun 2017 (LKJIP Dinas Perikanan Kabupaten Sumenep Tahun 2017).

Dengan demikian sosialisasi konsumsi makan ikan yang dikemas dalam bentuk kegiatan Forikan dan Gemari perlu terus ditingkatkan pola penganggarannya sehingga sasaran yang dituju lebih luas.

Rumus Perhitungan Konsumsi Ikan

Konsumsi ikan (Kg/Kap/Tahun) = A + B + C

Keterangan:
A = Hasil sensus nasional untuk Kabupaten Sumenep (38,57 kg)
B = Konsumsi ikan luar rumah tangga (15% dari A)
C = Konsumsi ikan yang tidak tercatat (17% dari A + B)

Jumlah konsumsi ikan (Kg/Kap/Tahun)
= 38,57 + 5,48 + 7,15
= 49,20 (Kg/Kap/Tahun)

Data tersebut diperoleh dari Dinas Perikanan dan Keluatan Kabupaten Sumenep. Jika dibandingkan dengan data pada tahun sebelumnya, tingkat konsumsi ikan di Kabupaten Sumenep mengalami peningkatan yang signifikan. Pada tahun 2015 sebesar 39,88 (Kg/Kap/Tahun) dan pada tahun 2016 mengalami kenaikan meskipun tergolong kecil yakni sebesar 40,00 (Kg/Kap/Tahun). Dari data di atas diperoleh bahwa Program Forikan dan Gemari memiliki dampak yang sangat banyak bagi peningkatan konsumsi ikan di Kabupaten Sumenep.

Pada Tabel 1 dijelaskan bahwa dari Program Forikan dan Gemari sudah telaksana dengan baik dan mencapai target sebanyak > 100%. Hal itu dicapai dikarenakan ada kerjasama dan sinergi antara pihak-pihak yang memiliki tanggung jawab utamanya Dinas Perikanan dan Kelautan Kabupaten Sumenep, para nelayan yang menjadi ujung tombak dalam penangkapan ikan dan pelaku industri (UMKM) yang memproduksi, memasarkan, serta memperkenalkan produk tersebut kepada masyarakat tentang kandungan gizi makanan yang berbahan dasar ikan.

Program Forikan dan Gemari setiap tahunnya mengalami penyempurnaan dan peningkatan dalam hal teknologi, meskipun dalam beberapa aspek atau kegiatan yang belum tercapai secara maksimal sehingga menjadi bahan evaluasi ke depannya. Kegiatan Forikan dan Gemari dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1 Target dan Realisasi Kinerja Program Forikan dan Gemari Tahun 2023 (Sumber: Sulasno, 2023)

No	Kegiatan	Indikator Target	Kinerja		
			Target (%)	Realisasi (%)	Capaian Kinerja (%)
1.	Program Pengelolaan Perikanan Tangkap -	Persentase peningkatan produksi perikanan	1	1,54	154

 ISSN 2987-677x

No	Kegiatan	Indikator Target	Kinerja		
			Target (%)	Realisasi (%)	Capaian Kinerja (%)
	Kegiatan Pemberdayaan Nelayan Kecil dalam Daerah Kabupaten/Kota	tangkap			
2.	Program Pengelolaan Perikanan Budidaya - Kegiatan Pemberdayaan Pembudi Daya Ikan Kecil - Kegiatan Pengelolaan Pembudidayaan Ikan	Persentase pertumbuhan produksi perikanan budidaya	17	-4,17	-123
3.	Program Pengolahan dan Pemasaran Hasil Perikanan - Kegiatan Penyediaan dan Penyaluran Bahan Baku Industri Pengolahan Ikan dalam 1 (satu) Daerah Kabupaten/Kota Optimalisasi Usaha Pemanfaatan Ikan	Persentase pertumbuhan produksi olahan perikanan	1,5	82,05	5470

Pada Tabel 1 dijelaskan terkait target dan realisasi Program Forikan dan Gemari, dari tabel tersebut diperoleh data bahwa ada peningkatan dalam hal pengelolaan perikanan tangkap dimana difokuskan pada pemberdayaan nelayan kecil yang tersebar di Kabupaten Sumenep dengan melaksanakan pembinaan. Pembinaan dan pelatihan terhadap lembaga/kelompok perikanan untuk meningkatkan kapasitas sumber daya manusia, serta ditunjang dengan peningkatan pengetahuan masyarakat tentang peraturan perundang undangan tentang perikanan (Gambar 2).

Pada pelaksanaan kegiatan budi daya ikan mengalami ketidakberhasilan yang disebabkan oleh beberapa faktor antara lain :

1. Serangan penyakit yang melanda semua jenis ikan dan utamanya pada udang vanamei sehingga berpengaruh terhadap produktifitas produksi;
2. Serangan penyakit juga dipengaruhi oleh rusaknya ekosistem/lingkungan akibat pembuangan limbah hasil aktifitas budidayai ikan tanpa melalui sistem pengolahan limbahn yang layak;
3. Menurunnya harga komoditas perikanan budidaya menyebabkan masyarakat enggan untuk melakukan pembudidayaan ikan.

Dan yang terakhir, pada kegiatan pengolahan dan pemasaran hasil perikanan. Pencapaian kinerja indikator hasil produksi olahan perikanan tahun 2023 sebesar 39.156 ton dari target 21.207,33 ton sehingga tercapainya target persentase indikator program pertumbuhan produksi olahan perikanan sebesar 82,05% dari target 1,5%. Pencapaian ini didukung keberhasilan beberapa faktor di antaranya:

1. Meningkatnya kualitas dan kuantitas sarana dan prasarana pengolahan dan pemasaran perikanan yang dimiliki oleh masyarakat;
2. Semakin terbukanya akses pasar terhadap hasil olahan perikanan;
3. Hadirnya investasi bidang perikanan Kabupaten Sumenep sehingga nilai jual hasil perikanan dapat meningkat.

Gambar 2 Pembinaan terhadap Para Nelayan

Pada tahun 2023 terjadi laju peningkatan yang signifikan yakni sebesar 44.377,63 ton sehingga pertumbuhan produksi perikanan tangkap sebesar 1,54% dari target sebesar 1% dengan capaian kinerja sebesar 154%. Meskipun di dalam pencapian kinerja peningkatan pertumbuhan produksi perikanan tangkap tumbuh positif, ada beberapa kendala yang masih menjadi hambatan di dalam pencapaian kinerja yang bisa lebih baik. Di antaranya, kondisi cuaca, alat tangkap yang masih kurang modern, dan produksi perikanan yang bergantung pada cuaca. Capaian indikator kinerja persentase pertumbuhan produksi olahan perikanan didukung oleh program Forikan dan Gemari.

Dari program tersebut capaian produksi perikanan olahan perikanan pada tahun 2022 sebesar 21.507,33 ton dan capaian produksi olahan perikanan pada tahun 2023 sebesar 39.156 ton sehingga pertumbuhan produksi olahan perikanan pada tahun 2023 mencapai 82,05% dari target sebesar 1,5%. Peningkatan tersebut didukung oleh meningkatnya sarana dan prasarana dalam penangkapan dan produksi perikanan, akses pasar yang semakin mudah dan investasi (Sulasno, 2023). Dampak kesejahteraan terhadap masyarakat adalah dengan meningkatnya pendapatan sebesar 38,32% pada tahun 2023 dari tahun 2022 sebesar 37,74% atau naik sebesar 0,58% yang mereka peroleh dikarenakan peningkatan konsumsi ikan di masyarakat (Santoso, 2023).

3. Evaluasi Terhadap Tujuan Program dan Faktor - Faktor yang Berpengaruh

Tujuan dilaksanakannya Program Forikan dan Gemari:

1) Meningkatnya Produksi Perikanan Tangkap dan Budi daya;

Peningkatan jumlah ikan tangkap sangat berpengaruh terhadap tingkat produksi dan konsumsi masyarakat khususnya di Kabupaten Sumenep. Jumlah ikan yang

 ISSN 2987-677x

dipasokkan ke industri perikanan semakin meningkatkan pula keanekaragaman. Keanekaragaman hasil produksi menyebabkan tingkat konsumsi ikan juga bertambah dikarenakan masyarakat punya banyak pilihan olahan makanan yang berbahan dasar ikan.

2) **Meningkatnya Kecukupan Konsumsi Ikan Masyarakat;**
Peningkatan konsumsi ikan disebabkan oleh peningkatan produksi yang diperjual belikan kepada masyarakat. Peningkatan konsumsi ikan disebabkan oleh olahan-olahan ikan yang beragam sehingga meningkatkan daya tarik masyarakat terhadap olahan ikan.

3) **Meningkatnya Kualitas Kelembagaan Kelompok Perikanan;**
Kelompok Perikanan merupakan kelompok-kelompok nelayan yang tersebar di seluruh kecamatan se Kabupaten Sumenep. Kelompok tersebut membantu koordinasi antar nelayan sehingga memudahkan nelayan dalam melaksanakan pencarian ikan serta memudahkan para nelayan memasokkan hasil tangkapannya, mengingat ketahanan ikan yang sangat lemah serta menjaga kesegaran ikan yang baru ditangkap.

4) **Meningkatnya Pertumbuhan Pelaku Usaha Kegiatan Bidang Kelautan dan Perikanan;**
Pelaku usaha atau perorangan yang memiliki industri yang berbahan ikan, seperti rumah makan/restoran, keripik ikan, dll sangat bergantung terhadap ikan yang merupakan bahan dasar dalam pembuatannya, sehingga permintaan terhadap hasil produksi bisa berjalan lancar dan meningkatkan pendapatan. Jika usaha yang berbahan dasar ikan diminati oleh banyak orang, maka orang-orang akan berlomba-lomba untuk mendirikan usaha yang berbahan dasar ikan. Dikarenakan usahan produksi tersebut sangat bergantung terhadap pemasok ikan/nelayan, terjadi hubungan yang sama-sama menguntungkan antara nelayan dengan pelaku usaha.

5) **Meningkatknya Pemberdayaan Masyarakat Pesisir**
Masyarakat pesisir sebagian besar bermatapencaharian sebagai nelayan. Agar dapat bekerja secara efektif dan efisien Dinas Perikanan dan Kelautan Kabupaten Sumenep melakukan pemberdayaan terhadap masyarakat pesisir, seperti mengadakan sosialisasi dan pembinaan khususnya kepada nelayan. Sosialisasi tersebut diharapkan dapat memberikan pengatahuan dan cara serta teknik baru dalam hal menangkap ikan sehingga meningkatkan produktifitas para nelayan. Program kegiatan pendukung untuk meningkatkan produksi perikanan tangkap antara lain, yaitu fasilitasi teknis dan kelembagaan kelompok usaha masyarakat pesisir, peningkatan prasarana penangkapan ikan, pelatihan pengoperasionalan dan pengadaan alat bantu penangkapan ikan, pengadaan sarana penangkapan rajungan, pengadaan paket jaring milenium, pengadaan paket penangkapan ikan kakap, pengadaan paket penangkapan gurita, penebaran ikan di perairan umum, peningkatan pengelolaan kawasan konservasi, pengadaan sarana dan prasarana penangkapan ikan, yang pada umumnya bersumber dari dana APBD Kabupaten Sumenep dan dana DAK.

4. **Faktor-Faktor Penyebab Meningkatnya Produksi Perikanan.**
   1) Meningkatkan dan mengembangkan usaha penangkapan ikan dan budi daya hasil perikanan;
   2) Meningkatkan dan mengembangkan pengendalian di bidang perikanan serta menjaga kelestarian sumber daya ikan dan lingkungannya;
   3) Optimalisasi dan efisiensi pemanfaatan sumber daya dan jasa lingkungan kelautan dilakukan secara berkelanjutan;
   4) Peningkatan moral dan etos kerja masyarakat pesisir yang lebih berorientasi kepada budaya pembangunan berkelanjutan dan memacu terhadap akses modal, pasar, teknologi dan manajemen serta informasi;
   5) Menanamkan wawasan perikanan kepada masyarakat bahwa laut sebagai sumber kehidupan;
   6) Meningkatkan pendidikan, pelatihan, penelitian, dan penyuluhan di bidang kelautan dan perikanan yang disesuaikan dengan karakteristik dan potensi daerah.

5. **Faktor-Faktor Penyebab Menurunnya Produksi Perikanan.**
   1) Sumber daya manusia masyarakat perikanan yang masih sangat terbatas baik dari kuantitas maupun dari sisi kualitas, karena rendahnya tingkat pendidikan dan tidak didukung permodalan dan manajemen yang baik, serta masih minimnya alat tangkap yang digunakan;
   2) Peluang faktor eksternal tergantung dari situasi dan kondisi kesuksesan yang terjadi melalui dukungan kekuatan yang dimiliki untuk meraihnya dengan cepat dan tepat. Luas perairan laut Kabupaten Sumenep ± 50.000 km2, dengan estimasi produksi potensi sumber daya ikan diperairan laut Kabupaten Sumenep mampu menghasilkan per tahun sebesar 50.000 km2 x 4,58 ton = 229.000 ton/tahun. Sedangkan, menurut estimasi potensi sumber lestari dihitung 60% dari jumlah potensi yang ada atau 60% x 229.000 ton = 137.400 ton per tahun.
   3) Ancaman faktor eksternal peranan bidang perikanan merupakan situasi dan kondisi di luar kemampuan pengendalian manajemen, namun kemampuan mengadaptasi dan beradaptasi terhadap kondisi dan situasi yang selalu berubah sehingga dapat dilakukan antisipasi, melalui cara dengan mengamati perubahan situasi dan kondisi secara sistematis dan mengevaluasi peluang dan ancaman berdasarkan pengalaman masa lalu.

Kesimpulan

Secara garis besar Program Forikan dan Gemari di Kabupaten Sumenep sudah dilaksanakan secara maksimal dan memberikan dampak positif bagi masyarakat Kabupaten Sumenep, khususnya para nelayan dan pelaku usaha (industri) perikanan. Dampak yang dihasilkan adalah dengan meningkatnya pendapatan masyarakat yang mereka peroleh dikarenakan peningkaatan konsumsi ikan di masyarakat.

Adapun beberapa kendala yang dialami di lapangan adalah masih rendahnya sumber daya manusia yang

ISSN 2987-677x

bersentuhan langsung dengan perikanan dalam hal pengoperasian teknologi, adanya perubahan dan tumpang tindihnya regulasi, dan masih minimnya sarana dan prasarana usaha penangkapan perikanan dibandingkan dengan luas total potensi perikanan di Kabupaten Sumenep.

Ucapan Terima Kasih

- Ucapan terima kasih ditujukan kepada kedua orang tua saya yang sudah merawat saya dari kecil hingga bisa sampai pada titik ini.
- Terima kasih kepada Bapak Ir. Tarsisius Dwi Wibawa Budianta, S.TP., M.T., IPM. sebagai dosen pembimbing atas saran, bimbingannya, serta nasehatnya selama perkuliahan hingga selesai melaksanakan tugas akhir.
- Terima kasih kepada seluruh staf Sekretariat DPRD Kabupaten Sumenep yang sudah membantu pemikiran serta saran hingga saya bisa menyelesaikan tugas akhir perkuliahan.

Referensi

Andarwulan, S., & Waroh, Y. K. (2022). Pembuatan forikan (fortifikasi ikan): Upaya penurunan angka stunting melalui metode inovasi pengolahan ikan di masyarakat Kampung Nelayan Bulak. *Jurnal Pengabdian Mandiri*, *1*(6), 971–980.

Cahyani, Y. Y., Putera, R. E., & Ariany, R. (2021). Manajemen program Gerakan Masyarakat Makan Ikan oleh Dinas Pangan dan Perikanan Kabupaten Sijunjung. *Journal of Public Administration and Government*, *3*(2), 78–94.

Ren, E. (2017, Juli 20). Forikan Sumenep juara 1 menu makanan balita Jawa Timur 2017. *Website Pemerintah Kabupaten Sumenep*. Diakses 11 Mei 2025 dari https://sumenepkab.go.id/berita/baca/forikan-sumenep-juara-1-menu-makanan-balita-jawa-timur-2017

Rusdi, A. (2017). *Laporans kinerja instansi pemerintah*. Sumenep: Pemerintah Kabupaten Sumenep.

Santoso, J. (2023). *Pertumbuhan ekonomi Kabupaten Sumenep tahun 2023: Berita resmi statistik*. Sumenep: Badan Pusat Statistik Kabupaten Sumenep.

Sulasno, A. (2023). *Laporan kinerja instansi pemerintah*. Sumenep: Pemerintah Kabupaten Sumenep.

Yasih, E. (2017, Agustus 29). Forikan ajak masyarakat konsumsi ikan di keluarga. *Website Pemerintah Kabupaten Sumenep*. Diakses 11 Mei 2025 dari https://www.sumenepkab.go.id/berita/baca/forikan-ajak-masyarakat-konsumsi-ikan-di-keluarga

ISSN 2987-677x

Profesionalisme Insinyur dalam Peningkatan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik di Kawasan Desa Randuboto

Dessy Hermawati[1,2], Yulius Astana[1,3], Digma Primadianto[1,4], Suratno lourentius[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
[2] BAPPEDA Kabupaten Gresik
[3] Dinas Cipta Karya Perumahan dan Kawasan Permukiman, Kabupaten Gresik
[4] Dinas Kesehatan Kabupaten Gresik

✉ suratno.lourentius@ukwms.ac.id

Abstrak air limbah domestik yang tidak terkelola dengan baik menjadi salah satu penyebab utama pencemaran lingkungan dan gangguan kesehatan masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peran profesionalisme insinyur dalam pembangunan sistem pengelolaan air limbah domestik yang efektif dan berkelanjutan. Dengan pendekatan studi kasus di Desa Randuboto Kabupaten Gresik yang mempunyai permasalahan pada keterbatasan infrastruktur sanitasi yang layak dan aman. Dimana, masih banyak ditemui masyarakat yang belum memiliki sarana mandi cuci kakus (MCK) dan tangki septik yang belum kedap. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dan hasil penelitian menunjukkan bahwa kompetensi teknis, integritas profesional, dan kemampuan koordinatif insinyur memainkan peran strategis dalam keberhasilan implementasi pembangunan infrastruktur sanitasi. Analisis dampak pembangunan sistem pengelolaan air limbah domestik terpadu (SPALDT) di Randuboto memberikan dampak besar terhadap kondisi lingkungan dan kesehatan masyarakat, penurunan kasus penyakit berbasis air dan meningkatnya kesehatan lingkungan, peningkatan partisipasi masyarakat beserta Organisasi Perangkat Daerah (OPD) terkait dan yang paling utama adalah peningkatan capaian akses sanitasi layak dan aman sebagai kunci utama indikator keberhasilan program *sustainable development goals* (SDGs). Penelitian ini menegaskan pentingnya penguatan kapasitas profesionalisme insinyur dan sinergi antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta dalam mengatasi tantangan pengelolaan air limbah domestik.

Kata kunci: profesionalisme, insinyur, air limbah domestik, sanitasi, infrastruktur

Pendahuluan

Profesionalisme didefinisikan sebagai sikap mental dan komitmen pribadi untuk senantiasa meningkatkan kualitas diri dan hasil kerja secara berkelanjutan (Harefa, 2000). Harefa menekankan bahwa profesionalisme bukan hanya tentang keahlian teknis, tetapi juga mencakup etos kerja yang kuat, integritas, tanggung jawab moral, dan semangat untuk terus belajar serta berkembang. Berdasarkan buku tersebut, terdapat 12 (dua belas) ciri-ciri profesionalisme yang menggambarkan sosok manusia profesional, yaitu:

a. Bangga pada pekerjaan dan menunjukkan komitmen pribadi pada kualitas;
b. Berusaha meraih tanggung jawab;
c. Mengantisipasi dan tidak menunggu perintah;
d. Mengerjakan apa yang diperlukan untuk menyelesaikan tugas;
e. Melibatkan diri secara aktif;
f. Membantu membuat hal jadi mudah bagi yang dilayani;
g. Belajar mengenai bisnis orang yang dilayani;
h. Berpikir seperti orang yang dilayani;
i. Pemain tim;
j. Bisa dipercaya memegang rahasia;
k. Jujur, bisa dipercaya, dan setia;
l. Terbuka terhadap kritik.

Ciri-ciri ini menekankan bahwa profesionalisme tidak hanya berkaitan dengan keterampilan teknis, tetapi juga melibatkan sikap proaktif, tanggung jawab, integritas, dan kemampuan untuk bekerja sama, serta beradaptasi dengan kebutuhan orang lain. Pembangunan infrastruktur sanitasi merupakan bagian penting dari upaya peningkatan kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat. Salah satu tantangan utama adalah pengelolaan air limbah domestik yang belum optimal, baik dari segi teknis maupun kelembagaan. Dalam konteks ini, insinyur sebagai tenaga profesional di bidang teknik khususnya teknik lingkungan memiliki peran penting dalam merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem pengelolaan air limbah yang efektif, efisien, dan adaptif terhadap kebutuhan masyarakat.

Pengelolaan air limbah domestik tidak dapat dilepaskan dari agenda pembangunan berkelanjutan. Secara khusus, isu ini berkaitan langsung dengan tujuan pembangunan berkelanjutan atau *sustainable development goals* (*SDGs)*, terutama SDG 6: *Clean water and sanitation*, yang menargetkan tersedianya akses terhadap sanitasi yang aman dan pengelolaan air limbah yang layak. Selain itu, keberhasilan dalam sektor ini juga mendukung SDG 3: *Good health and well-being* melalui pengurangan risiko penyakit akibat sanitasi yang buruk, dan SDG 11: *Sustainable cities and communities*, dengan mendorong terciptanya lingkungan pemukiman yang sehat dan berketahanan. Oleh karena itu, pembangunan sistem pengelolaan air limbah domestik yang efektif dan berkelanjutan merupakan bagian integral dari upaya pencapaian target-target pembangunan

 ISSN 2987-677x

global tersebut. Pengelolaan air limbah domestik yang tepat dapat menunjang konservasi air bersih dengan indikator sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Dalam kerangka tersebut, profesionalisme insinyur memegang peranan strategis, tidak hanya sebagai perancang sistem teknis, akan tetapi insinyur juga dituntut untuk mampu menjawab tantangan sosial, ekonomi, dan lingkungan yang menyertai pengelolaan sanitasi, yang kompleks dan dinamis.

Desa Randuboto merupakan desa yang terletak di area pesisir yang berbatasan dengan DAS Bengawan Solo dan Laut Jawa, Kecamatan Sidayu Kabupaten Gresik. Berdasarkan SK Bupati, Desa Randuboto masuk pada kawasan pemukiman kumuh zona kawasan DAS Bengawan Solo Sidayu, dimana salah satu permasalahan indikator kumuh dialami pada sektor sanitasi. Desa Randuboto mempunyai permasalahan pada keterbatasan infrastruktur sanitasi yang layak dan aman. Di sana masih banyak ditemui masyarakat yang belum memiliki sarana mandi cuci kakus (MCK) dan tangki septik yang belum kedap sejumlah 535 KK dari jumlah keseluruhan KK di Desa Randuboto yaitu 1.136 KK. Dengan demikian diperlukan rencana dan aksi secara komprehensif dalam rangka pembangunan sistem sanitasi layak dan aman secara berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji lebih dalam peran profesionalisme insinyur dalam mendukung sistem pengelolaan air limbah domestik yang berkelanjutan, dengan studi kasus di Desa Randuboto, Kecamatan Sidayu, Kabupaten Gresik.

Metode

Metode penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif yang menggambarkan secara sistematis, faktual dan, akurat mengenai profesionalisme Insinyur dalam peningkatan sistem pengelolaan air limbah domestik di kawasan Desa Randuboto. Penelitian ini dilaksanakan dari tahap pengumpulan data melalui wawancara mendalam, observasi lapangan, studi literatur, dan studi dokumen proyek. Selanjutnya, penelitian mengkaji insinyur yang terlibat, ruang lingkup peran insinyur pada fungsi teknis, fungsi fasilitator dalam proses sosialisasi, dan edukasi masyarakat. Selanjutnya, akan dikaji implementasi profesionalisme insinyur, hasil implementasi profesionalisme insinyur, dan dampak profesionalisme insinyur terhadap pencapaian program *SDGs*.

Hasil Kerja

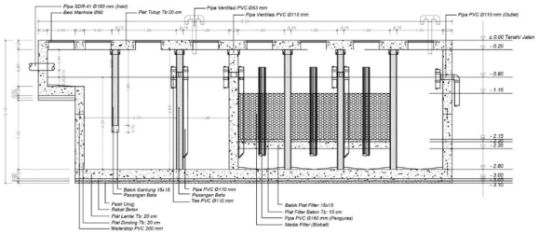
Peranan Profesionalisme Insinyur

Pada tahun 2018 Desa Randuboto mendapatkan program Dana Alokasi Khusus (DAK) infrastruktur bidang sanitasi melalui sumber pendanaan APBN dari Kementerian PUPR. Selanjutnya pada tahun 2022-2024, Desa Randuboto mendapatkan program Dana Alokasi Khusus (DAK) sanitasi tematik pengentasan permukiman kumuh terpadu, sumber pendanaan APBN dari Kementerian PUPR dalam penanganan sanitasi sebagai proyek percontohan nasional. Kabupaten lain yang mendapatkan program serupa di Jawa Timur, yaitu Kabupaten Jombang, Lumajang, Ponorogo, dan Kota Madiun. Dalam rangka mewujudkan keberhasilan pelaksanaan program pembangunan sanitasi di Desa Randuboto, tidak lepas dari profesionalisme insinyur. Profesionalisme insinyur memegang peranan strategis dalam perencanaan dan pelaksanaan sistem sanitasi. Insinyur bertanggung jawab secara teknis, namun juga etis dan sosial terhadap masyarakat dan lingkungan. Pengembangan sistem sanitasi harus mempertimbangkan prinsip keberlanjutan, partisipasi masyarakat, dan efisiensi sumber daya, yang seluruhnya memerlukan kompetensi lintas disiplin dari para profesional teknik. Keterlibatan insinyur pada proyek pembangunan sistem sanitasi terdiri dari Kementerian PUPR, Bappeda, Dinas Kesehatan, tim teknis Dinas Cipta karya, Perumahan dan Kawasan Permukiman, kontraktor, Tim Fasilitator lapangan (TFL), dan Kelompok Swadaya Masyarakat (KSM).

Hasil menunjukkan bahwa kehadiran insinyur profesional berkontribusi dalam:

1. **Perencanaan Program Dana Alokasi Khusus (DAK) Fisik Infrastruktur Bidang Sanitasi Sub Bidang Air Limbah Domestik**
   Perencanaan program meliputi perencanaan penganggaran berdasarkan pada pemetaan kondisi sanitasi di Desa Randuboto dengan memperhitungkan kondisi kerawanan sanitasi dan kepadatan penduduk. Penilaian kondisi rawan sanitasi berpedoman pada area berisiko air limbah domestik yang tertuang pada dokumen strategi sanitasi kabupaten dan data informasi dari Dinas Kesehatan yang diperoleh melalui sanitarian Puskesmas.
2. **Penyusunan Perencanaan Desain Sistem yang Responsif terhadap Kondisi Lokal**
   Insinyur melakukan kajian teknis dan lingkungan untuk memastikan sistem pengolahan air limbah yang dibangun sesuai dengan kebutuhan, kapasitas, serta keterbatasan wilayah. Pada tahap perencanaan dan perancangan, insinyur merancang struktur, sistem, dan komponen konstruksi berdasarkan kebutuhan fungsional, keamanan, efisiensi, dan regulasi yang berlaku. Selanjutnya, insinyur melakukan analisis teknis yaitu melakukan perhitungan struktur, material, dan sistem untuk memastikan kekuatan, stabilitas, dan efisiensi desain. Pada studi kasus Desa Randuboto, sistem yang dirancang disesuaikan dengan lahan terbatas dan kepadatan penduduk tinggi, menggunakan metode *anaerobic baffled reactor* (*ABR*) yang efektif dan sering digunakan terutama dalam sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal. ABR bekerja dengan memanfaatkan mikroorganisme untuk mendegradasi kontaminan organik dalam air limbah secara anaerobik. Prinsipnya adalah air limbah dialirkan melalui kompartemen-kompartemen yang dibatasi oleh sekat vertikal sehingga proses degradasi terjadi secara efisien. Selanjutnya, insinyur melakukan penyesuaian teknologi pengolahan yang hemat energi dan mudah dirawat. Insinyur memilih teknologi yang sesuai kondisi sosial dan ekonomi masyarakat setempat, seperti penggunaan sistem gravitasi tanpa pompa dan desain yang meminimalkan kebutuhan listrik. Hal ini membuat sistem lebih hemat biaya operasional dan memungkinkan masyarakat mengelola sistem secara mandiri. Metode *anaerobic baffled reactor* (ABR) yang diimplementasikan di kawasan Desa Randuboto disajikan pada gambar berikut:

 ISSN 2987-677x



Gambar 1 Detil IPAL
Sumber: Dinas Cipta Karya, Perumahan, dan Kawasan Pemukiman Kabupaten Gresik

Setelah mendapatkan konsep desain yang sesuai, maka peran insinyur selanjutnya adalah mengintegrasikan konsep desain perencanaan ke dalam dokumen perencanaan yang terdiri dari rencana anggaran biaya (RAB), gambar-gambar perencanaan, rencana kerja dan syarat-syarat, kerangka acuan kerja yang berpedoman pada dokumen petunjuk teknis, dan petunjuk pelaksanaan DAK Fisik Infrastruktur Bidang Sanitasi dari Kementerian PUPR.

3. **Peningkatan Kapasitas bagi Tenaga Fasilitator Lapangan (TFL)**
   Peran Insinyur pada kegiatan peningkatan kapasitas TFL adalah memberikan bekal pengetahuan tentang kegiatan dan tahapan DAK Fisik Infrastruktur. Hal tersebut dapat meningkatkan keahlian TFL dalam membantu masyarakat untuk mengidentifikasi masalah, merencanakan, melaksanakan, memutuskan, dan mengelola kegiatan DAK Fisik Infrastruktur Bidang Sanitasi. Pengetahuan dasar teknologi dan teknis bermanfaat dalam menyusun volume pekerjaan dan *Detail Engineering Design* (DED)/Rencana Anggaran Biaya (RAB), Rencana Kerja Masyarakat (RKM), menyusun kriteria teknis pemanfaatan DAK, jadwal pasokan material dan tenaga kerja, serta pelaporan keuangan (LPJ).

4. **Sosialisasi Program Dan Promosi Kesehatan**
   Peran insinyur Dinas Cipta Karya, Perumahan, dan Kawasan Pemukiman pada tahap sosialisasi adalah melakukan kolaborasi dengan Dinas Kesehatan untuk menyebarkan informasi tentang tahapan dan mekanisme pelaksanaan Program DAK Fisik Infrastruktur Bidang Sanitasi Sub Bidang Air Limbah Domestik dan promosi kesehatan. Sosialisasi tersebut melibatkan unsur pemerintah Desa/Kelurahan, perwakilan tokoh-tokoh kunci, seperti tokoh masyarakat, tokoh agama, kelompok pemuda, kader posyandu, dan kader PKK. Sosialisasi tersebut menjadi sangat penting pada tahap persiapan masyarakat sasaran dalam rangka membangun komitmen antara warga masyarakat desa/kelurahan. Adapun kegiatan sosialisasi kepada masyarakat bisa dilihat pada gambar berikut:

Gambar 2 Sosialisasi kepada Masyarakat

5. **Pelaksanaan Konstruksi**
   Pada tahap pelaksanaan pekerjaan konstruksi, peran insinyur pada tim pelaksana (kontraktor) sangat penting karena mencakup sistem yang kompleks dan harus memenuhi standar lingkungan. Pada tahap konstruksi, profesionalisme insinyur mencakup berbagai aspek teknis maupun manajerial. Berikut adalah beberapa peran utamanya insinyur profesional:
   a. Melakukan manajemen proyek dengan mengatur jadwal, anggaran, sumber daya tenaga kerja, material, alat bantu kerja, serta melakukan koordinasi antar tim agar proyek berjalan sesuai rencana;
   b. Melaksanakan pekerjaan sesuai dengan gambar teknis, spesifikasi desain, dan jadwal proyek;
   c. Melakukan pengawasan lapangan untuk memastikan pekerjaan konstruksi di lapangan sesuai dengan gambar kerja, spesifikasi teknis, dan standar mutu;
   d. Melakukan pengendalian mutu dan keselamatan dengan menyusun serta menerapkan prosedur untuk memastikan mutu konstruksi dan keselamatan kerja terjaga sepanjang proyek;
   e. Melakukan pemecahan masalah dengan menangani kendala teknis atau situasional yang muncul selama proses konstruksi;
   f. Melakukan komunikasi dan koordinasi dengan TFL serta pihak terkait lainnya agar semua pihak selaras terhadap tujuan proyek.

   Pelaksanaan kegiatan konstruksi disajikan pada gambar berikut:

Gambar 3 Konstruksi Pembangunan IPAL

6. **Pengawasan Pelaksanaan Konstruksi**
   Peran insinyur pada tahap pengawasan memegang peranan yang sangat penting untuk memastikan bahwa konstruksi bangunan SPALDT yang terbangun sesuai dengan konsep perencanaan, DED, spesifikasi teknis, dan standar mutu. Kegiatan pengawasan yang dilakukan meliputi pengawasan secara detil terkait pelaksanaan konstruksi dan pelaporan, baik fisik maupun administrasi pekerjaan swakelola. Selanjutnya, insinyur melakukan diskusi berkaitan dengan berbagai permasalahan di lapangan secara berkala setiap satu (minggu) sekali, melakukan peneguran jika kontraktor pelaksana tidak sesuai dengan rencana, dan melakukan peringatan kepada kontraktor pelaksana jika tidak sesuai dengan jadwal yang dibuat. Peran selanjutnya, insinyur melaksanakan rapat bersama TFL jika terjadi permasalahan dan/ perubahan dengan memperhatikan kondisi lapangan. Selanjutnya, menerima masukan dari TFL untuk menangani permasalahan yang dihadapi di lapangan untuk percepatan penyelesaian proyek. Kegiatan pengawasan konstruksi disajikan pada gambar berikut:

 ISSN 2987-677x

Gambar 4 Pengawasan dan *Monitoring* dari Kementerian PUPR

7. **Pelaporan Pelaksanaan Kegiatan**
   Peran profesionalisme insinyur dalam menyusun laporan pelaksanaan kegiatan sangat dibutuhkan, termasuk menjaga kerahasian informasi dan laporan internal proyek. Kejujuran dalam penyusunan pelaporan juga memegang peranan penting, karena pelaporan pelaksanaan kegiatan sebagai bentuk pertanggungjawaban terhadap penggunaan anggaran, transparansi, dan akuntabilitas dalam pelaksanaan program kegiatan. Laporan pelaksanaan pekerjaan terdiri dari realisasi penyerapan dana, capaian keluaran kegiatan, pelaksanaan teknis/kegiatan (laporan akhir yang berisi laporan harian, mingguan, bulanan, dan dokumentasi pelaksanaan proyek), serta capaian hasil jangka pendek.

8. **Penilaian Kinerja Pelaksanaan Kegiatan**
   Peran Insinyur pada tahap penilaian kinerja pelaksanaan kegiatan adalah melakukan evaluasi hasil pelaksanaan DAK Fisik Bidang Sanitasi sesuai dengan spesifikasi teknis dan peraturan perundangan yang berlaku. Pada tahap ini, insinyur harus bisa memastikan bahwa sistem air limbah domestik yang terbangun bisa berfungsi dengan baik, efektif, dan efisien sesuai dengan yang direncanakan. Adapun hasil capaian indikator keluarannya, yaitu terbangunnya sambungan rumah (SR) air limbah domestik sejumlah 535 KK dengan jumlah SPALDT sebanyak 10 unit. Adapun rincian data capaian tersebut dijelaskan sebagaimana Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Tabel Pembangunan infrastruktur SPALDT

Jenis Infrastruktur	2018	2019	2022	2023	2024
IPAL	1	1	1	2	5
SR	50	50	85	100	250

Sumber: Dinas Cipta Karya, Perumahan, dan Kawasan Pemukiman Kabupaten Gresik

   Selain itu capaian untuk indikator *immediate outcome*-nya adalah jumlah jiwa yang terlayani sesuai standar mutu layanan air limbah (memenuhi aspek penggunaan, jenis kloset, dan pengolahan air limbah) sejumlah 1.740 jiwa. Hal ini menunjukkan bahwa adanya peningkatan cakupan pelayanan terhadap akses sanitasi layak dan aman.

9. **Pelatihan Teknis Operasi dan Pemeliharaan kepada Kelompok Pemanfaat dan Pemelihara (KPP);**
   Peran insinyur pada tahap ini adalah memberikan penguatan kapasitas kepada KPP, pendampingan dalam menyusun optimasi pengembangan pelayanan, dan pendampingan dalam menyusun *business plan* untuk mendukung keberlanjutan. Kegiatan peningkatan kapasitas KPP bertujuan untuk keberlanjutan dari pelayanan aset yang sudah dibangun melalui upaya pemeliharaan yang tepat. Melalui pelatihan teknis sederhana dan diskusi kelompok, warga menjadi lebih memahami pentingnya sanitasi yang aman dan bersedia ikut terlibat aktif dalam pemeliharaan fasilitas. Hal ini menciptakan rasa memiliki dan tanggung jawab bersama terhadap infrastruktur yang telah dibangun, sehingga diharapkan KPP dapat melaksanakan kegiatan operasi dan pemeliharaan secara mandiri dan berkelanjutan.

Implementasi Profesionalisme Insinyur

Berdasarkan ciri-ciri profesionalisme yang disampaikan oleh Andrias Harefa (2000), maka implementasi profesionalisme insinyur pada kegiatan peningkatan sistem pengelolaan air limbah domestik di kawasan Desa Randuboto meliputi:

1. **Bangga pada Pekerjaan dan Menunjukkan Komitmen Pribadi pada Kualitas**
   Pada tahap perencanaan dan perancangan, insinyur merancang struktur, sistem, dan komponen konstruksi berdasarkan kebutuhan fungsional, keamanan, efisiensi, regulasi yang berlaku dan standar mutu yang telah direncanakan;

2. **Berusaha Meraih Tanggung Jawab**
   Insinyur melakukan analisis teknis, yaitu melakukan perhitungan struktur, material, dan sistem untuk memastikan kekuatan, stabilitas, dan efisiensi desain.

3. **Mengantisipasi dan Tidak Menunggu Perintah**
   Peran Insinyur dalam pengawasan, yaitu melakukan pengawasan secara detail terkait pelaksanaan konstruksi, melakukan diskusi berkaitan dengan berbagai permasalahan di lapangan secara berkala;

4. **Mengerjakan Apa yang Diperlukan untuk Menyelesaikan Tugas**
   Melakukan peneguran, jika kontraktor pelaksana tidak sesuai dengan rencana dan melakukan peringatan jika kontraktor pelaksana tidak sesuai jadwal yang dibuat;

5. **Melibatkan Diri Secara Aktif**
   Insinyur melaksanakan rapat bersama dengan TFL pada saat terjadi permasalahan dan perubahan dengan memperhatikan kondisi lapangan;

6. **Membantu Membuat Hal Jadi Mudah Bagi yang Dilayani**
   Melakukan penyesuaian teknologi pengolahan SPALDT yang hemat energi dan mudah dirawat;

7. **Belajar Mengenai Bisnis Orang yang Dilayani**
   Memahami kebutuhan masyarakat penerima manfaat SPALDT agar desain lebih tepat guna;

8. **Berpikir Seperti Orang yang Dilayani**
   Menyesuaikan teknologi SPALDT dengan kemampuan operasional desa atau daerah, yaitu menggunakan metode *anaerobic baffled reactor* (ABR) yang efektif. Insinyur memilih teknologi yang sesuai kondisi sosial dan ekonomi masyarakat setempat, seperti penggunaan sistem gravitasi tanpa pompa dan desain yang meminimalkan kebutuhan listrik;

9. **Pemain Tim**
   Bekerja sama dengan TFL, kontraktor, Dinas Kesehatan, pihak desa, tokoh masyarakat, KPP, dan masyarakat untuk keberhasilan proyek;

 ISSN 2987-677x

10. Bisa Dipercaya Memegang Rahasia
Kode etik untuk menjaga kerahasian informasi dan laporan internal proyek;

11. Jujur, Bisa Dipercaya, dan Setia
Penerapan kejujuran dalam penyusunan pelaporan sebagai bentuk pertanggungjawaban terhadap penggunaan anggaran, transparansi, dan akuntabilitas dalam pelaksanaan program kegiatan;

12. Terbuka Terhadap Kritik
Menerima masukan dari TFL untuk menangani permasalahan yang dihadapi di lapangan untuk percepatan penyelesaian proyek.

Hasil implementasi Profesionalisme Insinyur

Setelah mengimplementasikan profesionalisme Insinyur ditemukan bahwa:

1. Kualitas desain meningkat dengan keterlibatan insinyur tersertifikasi. Kualitas desain sangat dipengaruhi oleh keterlibatan insinyur yang memahami standar teknis dan kondisi lokal. Desain yang baik mencerminkan kecermatan dalam analisis kebutuhan dan inovasi teknis yang sesuai dengan lingkungan sosial dan fisik;
2. Proyek berjalan lebih efisien dan minim hambatan sosial;
3. Kehadiran insinyur mendorong efisiensi pelaksanaan proyek karena adanya kontrol mutu yang ketat serta kemampuan insinyur dalam menyusun jadwal kerja dan sistem *monitoring* yang efektif;
4. Secara administrasi, teknis, waktu pelaksanaan, ketepatan pemanfaatan, pembangunan SPALDT telah memenuhi standar profesi karena dalam pelaksanaannya telah memenuhi standar kaidah yang berlaku sesuai pedoman pelaksanaan pengelolaan dana alokasi khusus (DAK) fisik infrastruktur bidang sanitasi.
5. Tantangan utama tetap pada aspek pendanaan, kesadaran masyarakat dalam memanfaatkan, dan memelihara keberlanjutan operasional dan kapasitas kelembagaan lokal.
6. Peran serta dan keterlibatan insinyur dalam forum koordinasi dan advokasi lintas sektor dinilai mampu mempercepat didapatkannya solusi dan mendorong komitmen keberlanjutan dari berbagai pihak.

Dampak Profesionalisme Insinyur terhadap Pencapaian Program

Pembangunan SPALDT di Desa Randuboto memberikan dampak besar terhadap kondisi lingkungan dan kesehatan masyarakat. Beberapa perubahan signifikan yang diamati meliputi:

1. Penurunan kasus penyakit berbasis air dan kesehatan lingkungan;
2. Terbangunnya prasarana sanitasi berbasis partisipasi masyarakat pada tahap persiapan, tahap perencanaan, pelaksanaan konstruksi, dan pasca pelaksanaan;
3. Peningkatan cakupan sanitasi layak dan aman meningkat sebanyak 535 KK terhubung ke sistem IPAL komunal. Sehingga, capaian program penyediaan akses sanitasi layak dan aman dalam rangka mendukung pengurangan kemiskinan dan penanganan kawasan permukiman kumuh terpadu tercapai;
4. Penghapusan praktik BABS, seluruh warga telah menggunakan jamban sehat;
5. Peningkatan kesadaran masyarakat, terdapat inisiatif warga dalam merawat sistem dan mengatur jadwal penyedotan lumpur tinja;
6. Penurunan potensi pencemaran DAS Bengawan Solo akibat air limbah domestik.

Capaian ini membuktikan bahwa intervensi teknis yang tepat, disertai pendekatan sosial, mampu memberikan hasil nyata dalam waktu relatif singkat.

Kesimpulan

Profesionalisme Insinyur menjadi fondasi utama dalam keberhasilan pengelolaan air limbah domestik di kawasan Desa Randuboto. Insinyur tidak hanya sebagai perancang teknis, tetapi juga sebagai agen perubahan dalam mendorong sanitasi layak dan aman.

Saran :

1. Pemerintah daerah diharapkan mendukung peningkatkan pelibatan insinyur tersertifikasi dalam perencanaan, pelaksanaan konstruksi, dan pengawasan pada pekerjaan sanitasi;
2. Pelatihan insinyur sanitasi diperluas;
3. Regulasi diperkuat untuk memastikan standar teknis dan akuntabilitas.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sedalam-dalamnya atas penyelesaian artikel ini kepada:

1. Seluruh atasan dan rekan-rekan Dinas Cipta Karya Perumahan dan Kawasan Pemukiman, Bappeda, dan Dinas Kesehatan Kabupaten Gresik;
2. Seluruh atasan dan rekan program studi profesi Insinyur Kabupaten Gresik yang telah memberikan dukungan;
3. Kedua orang tua, suami, istri, anak dan seluruh keluarga yang sudah memberikan dukungan;
4. Seluruh pihak yang telah membantu penulis.

Referensi

Bidang Cipta Karya. (2017). *Data capaian pembangunan infrastruktur air limbah domestik Kabupaten Gresik*. Gresik: Dinas Cipta Karya, Perumahan dan Kawasan Permukiman.

Bidang Infrastruktur dan Kewilayahan. (2020). *Dokumen strategi sanitasi Kabupaten Gresik*. Gresik: Bappeda.

Direktorat Sanitasi. (2024). *Petunjuk pelaksanaan pengelolaan Dana Alokasi Khusus (DAK) fisik infrastruktur bidang sanitasi*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Harefa, A. (2000). *Membangkitkan etos profesionalisme: Panduan pemberdayaan diri untuk menjadi manusia profesional*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 04/PRT/M/2017 Tahun 2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik. (2017). Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Perhimpunan Filantropi Indonesia. (2012). *Buku saku SDGs*. Jakarta: SDSN Indonesia.

Yublina, D. B., & Sukwadi, R. (2024). Penerapan kode etik profesionalisme profesi insinyur: Pelaksanaan pembangunan rumah susun Polres Manggarai Barat NTT. *Jurnal Praktik Keinsinyuran: Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya*, *1*(3), 230–243.

ISSN 2987-677x

Penerapan Standar Survei dan Inventarisasi Jembatan Berbasis *Bridge Management System* di Kecamatan Duduksampeyan Menuju Gresik Mapan (Maju, Pintar, dan Aman)

Nala Hakam Amrullah[1,2] Ir. Rasional Sitepu, M.Eng., IPU., ASEAN Eng.[1] Edi Susanto[1,2] Agung Budi Prasetyo[1,2] Febri Junaidi[1,2]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[2] Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang, Pemerintah Kabupaten Gresik

✉ nalahakam93@gmail.com

Aparatur Sipil Negara memegang peran penting dalam suatu daerah untuk melaksanakan fungsi pemerintahan, memberikan pelayanan publik, dan melaksanakan pembangunan, baik dalam lingkup nasional maupun di lingkup daerah. Pada saat ini, belum banyak ASN yang memiliki pemahaman tentang jembatan, bagian-bagiannya, dan apa saja data yang diperlukan untuk menginventarisasi sebuah jembatan. Beberapa kejadian kegagalan struktur jembatan yang terjadi di Indonesia adalah akibat dari kurangnya pengawasan dan mitigasi yang bisa dilakukan sebelum terjadinya keruntuhan jembatan. Menerapkan standar survei dan inventarisasi jembatan dengan mengacu pada *bridge management system (BMS)* adalah salah satu cara untuk menanggulangi dan menekan tingkat kerusakan yang bisa terjadi pada sebuah jembatan. Data nama, lokasi, titik koordinat, panjang, tahun pembangunan, dan jenis struktur jembatan adalah data awal yang diperlukan untuk survei tersebut. Dengan diterapkannya metode survei tersebut, diharapkan bisa mengidentifikasi kondisi jembatan secara riil di lapangan, sehingga kerusakan minor yang bisa dideteksi pada survei tersebut bisa ditangani dan dilakukan perbaikan sebelum menjadi kerusakan yang lebih besar. Kecamatan Duduksampeyan dipilih sebagai lokasi awal untuk memulai penerapan standar inventarisasi ini dikarenakan merupakan daerah dengan lalu lintas kendaraan harian yang cukup tinggi. Dilaksanakannya inventarisasi ini diharapkan dapat mendeteksi kerusakan jembatan sebelum terjadinya kecelakaan dan kerusakan jembatan yang lebih parah.

Kata kunci: ASN, inventarisasi, jembatan, *bridge management system*, lalu lintas harian

Pendahuluan

Nawa Karsa Bupati Gresik adalah sembilan prioritas tematik yang menjadi fokus pembangunan di Kabupaten Gresik untuk menciptakan "Gresik Baru". Gresik Mapan (Maju, Pintar, dan Aman) merupakan salah satu dari 9 poin nawa karsa yang mengedepankan kemajuan Gresik melalui program pendidikan, keamanan, dan pengembangan infrastruktur. Hal ini selaras dengan salah satu tujuan pembangunan berkelanjutan yang sudah disepakati beberapa negara anggota PBB di dunia, yaitu pada poin 9 mengenai industri, inovasi, dan infrastruktur demi mewujudkan pembangunan infrastruktur yang tangguh.

Jembatan merupakan alat penghubung yang penting dalam jaringan transportasi jalan, yang berfungsi untuk menghindari gangguan/hambatan alam atau buatan manusia. Jembatan juga merupakan aset modal dalam perekonomian suatu wilayah (Aditya, 2009). Jembatan menjadi komponen kritis dari ruas jalan karena termasuk penentu dari beban kendaraan yang melewati ruas jalan tersebut (Alamsyah, 2021). Minimnya pengetahuan beberapa pegawai terkait pemahaman tentang jembatan, bagian-bagiannya, dan apa saja data yang diperlukan untuk informasi data dan inventarisasi jembatan. Hal tersebut berdampak pada tidak terdeteksinya kerusakan minor yang berpotensi menjadi kerusakan mayor, sehingga timbul kerugian materil yang lebih besar dikarenakan menambah dampak yang lebih besar lagi jika permasalahan teknis di lapangan tidak segera diidentifikasi dan ditemukan solusinya. Belum maksimalnya pelaksanaan survei kondisi dan data jembatan akibat kurangnya SDM serta pelaksanaan survei yang tidak didukung dengan form survei yang lengkap, menyebabkan kurangnya data yang diperlukan untuk perencanaan pemeliharaan jembatan.

Pemeriksaan kondisi jembatan dapat diatur secara sistematis dengan mengacu pada standar *bridge management system* (BMS). Proses ini melibatkan pengumpulan data fisik dan kondisi struktur jembatan, yang kemudian dianalisis menggunakan Sistem Informasi Manajemen Jembatan Indonesia (Kapita et al., 2021). Penelitian sebelumnya juga telah dilakukan oleh Harywijaya, Afifuddin, dan Isya (2020) dengan judul "Penilaian Kondisi Jembatan Menggunakan *Bridge Management System* (BMS) dan *Bridge Condition Rating* (BCR)". Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kerusakan-kerusakan pada jembatan, menilai kondisi jembatan, serta mencatat kode kerusakan yang dihasilkan oleh program BMS dan BCR. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk merencanakan tindakan perbaikan yang sesuai dengan nilai kondisi jembatan yang dianalisis melalui perbandingan BMS dan BCR. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi studi literatur dan observasi langsung. Kemudian penelitan terbaru yang dilakukan oleh Pratiwi, Chairunnisa, Prasetia, Radam, dan Nurwidayati (2023) dengan judul "*Bridge Management System* dan *Bridge Condition Rating* pada Evaluasi Kondisi Jembatan Girder Baja Komposit di

 ISSN 2987-677x

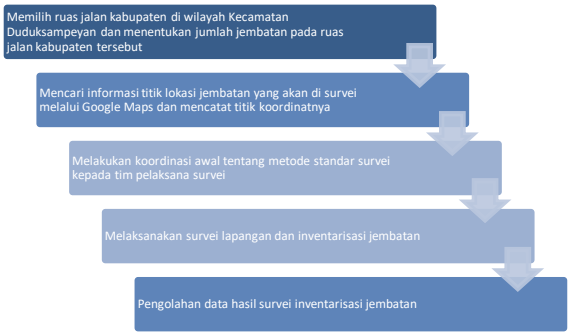
Kabupaten Tapin" bertujuan untuk menentukan tindakan yang tepat dalam proses pemeliharaan, rehabilitasi, atau penggantian elemen jembatan yang mengalami kerusakan. Metode penelitian yang diterapkan juga melalui metode observasi langsung di lokasi jembatan.

Menerapkan standar survei yang baik dan lengkap menajdi target utama untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Selain itu, dengan memberikan wawasan kepada rekan kerja mengenai tata cara dan pelaksanaan survei yang tepat adalah adalah tujuan dilakasanakannya penerapan standar survei dan inventarisasi jembatan berbasis *bridge management system* (BMS).

Metode Penelitian

Pemeriksaan Inventarisasi Jembatan

Metode yang digunakan untuk pelaksanaan survei ini adalah dengan melaksanakan survei yang mengacu pada panduan pemeriksaan jembatan dengan metode *bridge management system* (BMS). Inventarisasi jembatan merupakan tahapan untuk memperoleh data fisik struktur jembatan dengan melakukan pencatatan data administrasi, dimensi, material, dan kondisi eksisting pada setiap jembatan. Standar penentuan jembatan yang akan diinventarisasi adalah seluruh jembatan dengan minimal panjang bentang diatas 2 meter.



Gambar 1 Gambaran Umum Pelaksanaan Survei Inventarisasi Jembatan

Survei inventarisasi jembatan ini dilaksanakan pada saat musim kemarau, hal ini bertujuan untuk mendapatkan hasil pengamatan yang lebih maksimal dan data yang diperoleh menjadi lebih spesifik. Secara lebih khusus, pemeriksaan inventarisasi ini dilakukan untuk:

- Mencatat jembatan dalam sistem manajemen jembatan dengan menggunakan nomor dan lokasi jembatan;
- Mengukur dan mencatat dimensi keseluruhan dari jembatan dan setiap bentangnya;
- Menunjukkan jenis jembatan atau lintasannya, beserta komponen utama dan tanggal atau tahun pembuatannya.

Urutan Pemeriksaan Inventarisasi

Penentuan urutan pemeriksaan inventarisasi jembatan ini bertujuan untuk memudahkan pelaksanaan survei dan menentukan jumlah pelaksana survei secara proporsional. Dengan penentuan jumlah pelaksana survei yang tepat, diharapkan survei yang dilaksanakan menjadi lebih maksimal dan efisien. Berikut ini urutan pemeriksaan jembatan yang harus dilaksanakan:

- Melakukan pencatatan data administrasi jembatan meliputi nama jembatan, lokasi jembatan dan titik koordinatnya, panjang jembatan, dan data komponen pelengkapnya;
- Mengelilingi jembatan untuk mengetahui tata letak umum dari struktur jembatan;
- Mengukur dan mencatat dimensi bentang mulai dari panjang bentang, lebar antar kerb jalan, dan lebar tempat pejalan kaki;
- Menentukan dan mencatat jenis dan material dari struktur bangunan atas dan bangunan bawah jembatan;
- Menentukan dan mencatan data kondisi komponen jembatan, meliputi kondisi bangunan atas, lantai, pondasi, sandaran, kepala; dan pilar jembatan.

Hasil Kerja

Titik Lokasi Jembatan

Menentukan lokasi jembatan dan membagi berdasarkan ruas jalannya sehingga mudah dikelompokkan menurut ruas jalannya untuk keperluan pembagian tim survei inventarisasi jembatan. Terdapat tujuh buah jembatan pada dua ruas jalan kabupaten yang ada di Kecamatan Duduksampeyan.

Tabel 1 Tabel Data Jembatan Wilayah Kecamatan Duduksampeyan

No Ruas	Nama Ruas	No Induk	No Jembatan	Nama Jembatan
34	Duduk Sampeyan - Metatu	35.25.034.001	1	Jembatan Sumengko
		35.25.034.002	2	Jembatan Jatirembe
		35.25.034.003	3	Jembatan Pundut Trate
35	Duduk Sampeyan - Betoyo Guci	35.25.035.001	1	Jembatan Petis Benem
		35.25.035.002	2	Jembatan Kawisto Windu
		35.25.035.003	3	Jembatan Kemudi
		35.25.035.004	4	Jembatan Betoyo Kauman

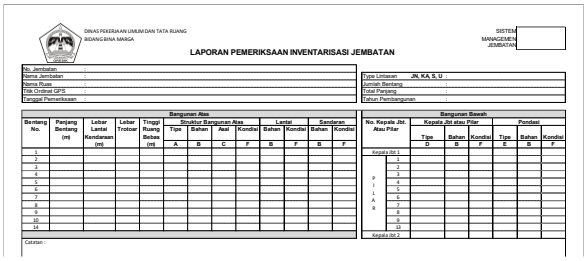
Melaksanakan Survei Inventarisasi Jembatan

Jumlah tenaga survei yang paling proporsional dalam melaksanakan survei adalah minimal 3 orang dan maksimal 4 orang dalam satu tim. Apabila jumlah petugas survei kurang maka pelaksanaan survei akan memakan waktu yang cukup lama dan akan menemui kesulitan dalam proses pengukuran dan dokumentasi. Sementara itu, apabila jumlah personil lebih dari empat orang maka porsi pembagian tugas akan terlalu kecil dan menjadi tidak efisien.

Format *Form* Survei dan Laporan

Form yang digunakan pada survei jembatan ini mengacu pada panduan pemeriksaan jembatan yang dibuat dan dikembangkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga.

 ISSN 2987-677x


DINAS PEKERJAAN UMUM DAN TATA RUANG
BIDANG BINA MARGA

SISTEM MANAGEMEN JEMBATAN

LAPORAN PEMERIKSAAN INVENTARISASI JEMBATAN

No. Jembatan	:	Type Lintasan	: JN, KA, S, U
Nama Jembatan	:	Jumlah Bentang	:
Nama Ruas	:	Total Panjang	:
Titik Ordinat GPS	:		
Tanggal Pemeriksaan	:	Tahun Pembangunan	:

Bentang No.	Panjang Bentang (m)	Lebar Lantai Kendaraan (m)	Lebar Trotoar	Tinggi Ruang Bebas (m)	Bangunan Atas: Struktur Bangunan Atas				Lantai		Sandaran	
					Tipe	Bahan	Aset	Kondisi	Bahan	Kondisi	Bahan	Kondisi
					A	B	C	F	B	F	B	F
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
14												

Catatan :

Bangunan Bawah: No. Kepala Jbt. Atau Pilar	Kepala Jbt atau Pilar			Pondasi		
	Tipe	Bahan	Kondisi	Tipe	Bahan	Kondisi
	D	B	F	E	B	F
Kepala Jbt 1						
P 1						
P 2						
P 3						
P 4						
P 5						
P 6						
P 7						
P 8						
P 9						
P 10						
Kepala Jbt 2						

Gambar 2 Format *Form* Survei Pemeriksaan

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mendapatkan data dasar jembatan meliputi beserta jalan pendekat yang ada di lokasi jembatan tersebut berada. Tahap pertama adalah melakukan pencatatan data administrasi jembatan, yaitu nama jembatan, ruas jalan yang ada di titik lokasi jembatan, menentukan titik koordinat jembatan dengan GPS dan menyimpan titik koordinat tersebut, mencatat tanggal pelaksanaan survei inventarisasi jembatan, menentukan jenis lintasan dari jembatan tersebut (JN/Jalan, KA/Kereta Api, S/Sungai, L/Lain-lain), mengukur panjang bentang jembatan dan jumlah bentangannya, serta mengidentifikasi tahun pembangunan jembatan tersebut dari plakat jembatan yang ada di jembatan tersebut. Kemudian, mengidentifikasi jenis struktur jembatan berdasarkan material yang digunakan. Mengidentifikasi kondisi bagian struktur atas dan struktur bawah bagian jembatan, dan mencatat hasilnya. Menentukan tingkat kerusakan jembatan dan resikonya berdasarkan hasil survei yang sudah dilakukan beserta tindakan penanggulan kerusakannya.

Pembahasan dan Hasil Survei Inventarisasi

Dari pelaksanaan survei di lapangan, didapatkan hasil laporan pemeriksaan inventarisasi jembatan yang dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 2 Tabel Data Jembatan Sumengko

Nama Jembatan		JEMBATAN SUMENGKO
STA		1+145
Lintas/Tipe Penyeberangan		Sungai
Panjang (m)		13
Lebar (m)	Jalur	7
	Trotoar Kiri	1,3
	Trotoar Kanan	1,3
	Total	9,6
Jumlah Bentang		1
Bangunan Atas	Tipe	Gelagar
	Bahan	Beton Bertulang
	Kondisi	1
Lantai	Jenis / Bahan	Aspal
	Kondisi	1
Sandaran	Jenis / Bahan	Pipa Baja
	Kondisi	1
Pondasi	Tipe	Langsung
	Bahan	Beton Bertulang
	Kondisi	1
Kepala Jembatan & Pilar	Tipe	Dinding Penuh
	Bahan	Batu Kali
	Kondisi	1

Tabel 3 Tabel Data Jembatan Jatirembe

Nama Jembatan		JEMBATAN JATIREMBE
STA		5+415
Lintas/Tipe Penyeberangan		Sungai
Panjang (m)		7
Lebar (m)	Jalur	9,5
	Trotoar Kiri	-
	Trotoar Kanan	-
	Total	9,5
Jumlah Bentang		1
Bangunan Atas	Tipe	Gelagar
	Bahan	Beton Bertulang
	Kondisi	1
Lantai	Jenis / Bahan	Aspal
	Kondisi	1
Sandaran	Jenis / Bahan	Pipa Baja
	Kondisi	1
Pondasi	Tipe	Langsung
	Bahan	Beton Bertulang
	Kondisi	1
Kepala Jembatan & Pilar	Tipe	Dinding Penuh
	Bahan	Batu Kali
	Kondisi	1

Tabel 4 Tabel Data Jembatan Pundut Trate

Nama Jembatan		JEMBATAN PUNDUT TRATE
STA		7+100
Lintas/Tipe Penyeberangan		Sungai
Panjang (m)		6,5
Lebar (m)	Jalur	9,5
	Trotoar Kiri	-
	Trotoar Kanan	-
	Total	9,5
Jumlah Bentang		1
Bangunan Atas	Tipe	Gelagar
	Bahan	Beton Bertulang
	Kondisi	1
Lantai	Jenis / Bahan	Aspal
	Kondisi	1
Sandaran	Jenis / Bahan	Pipa Baja
	Kondisi	1
Pondasi	Tipe	Langsung
	Bahan	Beton Bertulang
	Kondisi	1
Kepala Jembatan & Pilar	Tipe	Dinding Penuh
	Bahan	Batu Kali
	Kondisi	1

Tabel 5 Tabel Data Jembatan Petis Benem

Nama Jembatan		JEMBATAN PETIS BENEM
STA		0+715
Lintas/Tipe Penyeberangan		Sungai
Panjang (m)		27,5
Lebar (m)	Jalur	5
	Trotoar Kiri	-
	Trotoar Kanan	-
	Total	5
Jumlah Bentang		2
Bangunan Atas	Tipe	Gelagar
	Bahan	Beton Bertulang
	Kondisi	1
Lantai	Jenis / Bahan	Aspal
	Kondisi	1
Sandaran	Jenis / Bahan	Pipa Baja
	Kondisi	1
Pondasi	Tipe	Langsung
	Bahan	Beton Bertulang
	Kondisi	1
Kepala Jembatan & Pilar	Tipe	Dinding Penuh
	Bahan	Batu Kali
	Kondisi	1

 ISSN 2987-677x

Tabel 6 Tabel Data Jembatan Kawisto Windu

Nama Jembatan		JEMBATAN KAWISTO WINDU
STA		3+869
Lintas/Tipe Penyeberangan		Sungai
Panjang (m)		9,6
Lebar (m)	Jalur	5
	Trotoar Kiri	-
	Trotoar Kanan	-
	Total	5
Jumlah Bentang		3
Bangunan Atas	Tipe	Box
	Bahan	Beton Bertulang
	Kondisi	1
Lantai	Jenis / Bahan	Aspal
	Kondisi	1
Sandaran	Jenis / Bahan	Pipa Baja
	Kondisi	1
Pondasi	Tipe	Langsung
	Bahan	Beton Bertulang
	Kondisi	1
Kepala Jembatan & Pilar	Tipe	Dinding Penuh
	Bahan	Batu Kali
	Kondisi	1

Tabel 7 Tabel Data Jembatan Kemudi

Nama Jembatan		JEMBATAN KEMUDI
STA		4+941
Lintas/Tipe Penyeberangan		Sungai
Panjang (m)		41,8
Lebar (m)	Jalur	7
	Trotoar Kiri	Tidak Diketahui
	Trotoar Kanan	Tidak Diketahui
	Total	7
Jumlah Bentang		3
Bangunan Atas	Tipe	Gelagar
	Bahan	Beton Bertulang
	Kondisi	
Lantai	Jenis / Bahan	Tidak Ada
	Kondisi	Tidak Ada
Sandaran	Jenis / Bahan	Tidak Ada
	Kondisi	Tidak Ada
Pondasi	Tipe	Tidak Ada
	Bahan	Tidak Ada
	Kondisi	Tidak Ada
Kepala Jembatan & Pilar	Tipe	Tidak Ada
	Bahan	Tidak Ada
	Kondisi	Tidak Ada

Hasil survei inventarisasi jembatan tersebut diperoleh dengan melakukan pengamatan langsung secara visual di lapangan. Pelaksanaan inventarisasi jembatan memakan waktu kurang lebih 20 hari kerja. Dari keseluruhan jembatan yang diinventarisasi, didapatkan hasil spesifikasi data jembatan yang lebih lengkap dari data yang didapat sebelumnya. Metode survei yang dilakukan sebelumnya, masih belum begitu efektif untuk mendapatkan keseluruha data dari jembatan yang ada di lapangan. Sehingga dengan dilaksanakannya penerapan survei dan inventarisasi jembatan berbasis *bridge management system* (BMS), sudah menjawab berbagai kebutuhan data yang diperlukan unutk melakukan perencanaan pemeliharaan, rekosntruksi, pembangunan, maupun pembangunan jembatan secara berkelanjutan.

Tabel 8 Tabel Hasil Perbandingan Informasi yang Diperoleh dengan Mengacu kepada *Bridge Management System*

BMS	Bahan Acuan	Informasi yang diperoleh	
		Sebelum	Sesudah
Hasil Survei Menurut BMS	Panjang Bentang	Ada	Ada
	Lebar Lantai Kendaraan	Ada	Ada
	Lebar Trotoar	Tidak Ada	Ada
	Tinggi Ruang Bebas	Tidak Ada	Ada
	Kondisi Bangunan Atas	Tidak Ada	Ada
	Kondisi Bangunan Bawah	Ada	Ada
	Sandaran	Ada	Ada
	Pondasi	Tidak Ada	Ada
	Kepala Jembatan & Pilar	Tidak Ada	Ada

Kesimpulan

Pelaksanaan metode survei yang mengacu kepada *bridge management system* (BMS) ini mendapatkan hasil yang lebih akurat dan proporsional jika dibandingkan dengan metode survei secara pemantauan di lapangan, karena memberikan informasi yang lebih lengkap. Selain itu, dengan memberikan pemahaman mengenai metode survei menggunakan BMS kepada pelaksana survei ini, akan menambah ketepatan data yang diambil dan memberikan kemudahan kepada pelaksana survei. Sehingga survei inventarisasi jembatan yang dilaksanakan menjadi lebih efektif dan efisien.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada kedua orang tua atas doa dan dukungannya yang tidak pernah terputus sampai kapanpun. Terima kasih kepada kampus Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya yang sudah memberikan kesempatan untuk bisa menimba ilmu dan mendapatkan pengalaman belajar dan mendalami ilmu keteknikan. Terima kasih kepada Bapak Ir. Rasional Sitepu, M.Eng., IPU., ASEAN Eng. selaku dosen pembimbing dalam memberikan saran, informasi, dan bimbingannya untuk bisa menyelesaikan studi profesi keinsinyuran. Terima kasih kepada seluruh dosen dan tenaga kerja di kampus Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya yang sudah memberikan pelajaran dan pengalaman yang diberikan selama menjalani perkuliahan. Terima kasih kepada rekan-rekan sesama mahasiswa yang sudah membantu selama melaksanakan perkuliahan di kampus Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya. Terima kasih kepada pemerintah Kabupaten Gresik yang sudah memberikan peluang untuk belajar di Kampus Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, dan mudah-mudahan hasil pembelajaran ini bisa bermanfaat untuk mewujudkan Gresik yang lebih baik.

Referensi

Alamsyah, D. F. (2021). *Analisis kondisi jembatan untuk menentukan prioritas penanganan dengan metode Bridge Management System (BMS) (Studi kasus*

 ISSN 2987-677x

jembatan wilayah Kabupaten Jombang). Universitas Narotama.

Direktorat Jenderal Bina Marga. (1993). *Panduan pemeriksaan jembatan: Bab 4 pemeriksaan inventarisasi*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.

Direktorat Pembinaan Jalan Kota. (1991). *SNI No. 06/TBNKT/1991: Tata cara penomoran ruas dan simpul jalan kota*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.

Harywijaya, W., Afifuddin, M., & Isya, M. (2020). Penilaian kondisi jembatan menggunakan Bridge Management System (BMS) dan Bridge Condition Rating (BCR). *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, *3*(1), 80–88.

Kapita, U. A. M. L., Messakh, J. J., & Hikmah. (2021). Pemeriksaan kondisi jembatan Noelmina Pulau Timor menggunakan metode BMS (Bridge Management System). *Jurnal Batakarang*, *2*(2), 41–46.

Pemerintah Kabupaten Gresik. (2025). *9 Prioritas Tematik atau Nawa Karsa yang menjadi nafas pembangunan menuju Gresik Baru*. Diakses dari https://gresikkab.go.id/profile/gresik.

Pratiwi, A. Y., Chairunnisa, N., Prasetia, I., Radam, I. F., & Nurwidayati, R. (2023). Bridge Management System dan Bridge Condition Rating pada evaluasi kondisi jembatan girder baja komposit di Kabupaten Tapin. *Buletin Profesi Insinyur*, 026–031.

Aditya, T. (2009). Perencanaan dan penyelesaian masalah infrastruktur perkotaan melalui integrasi SIG kolaboratif dan SIG partisipasi publik. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, *15*(1), 1-20.

Undang-undang Nomor 5 Tahun 2014 tentang Aparatur Sipil Negara (ASN). (2014). Jakarta: Republik Indonesia.

ISSN 2987-677x

Strategi Penanganan Kawasan Kumuh Melalui Program KOTAKU di Bandar Grisse Kabupaten Gresik: Kajian Teknis Berbasis Data dan Partisipasi Komunitas

Achmad Miftahul Rachman[1] Lusia P. S. Hartanti[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ awmrachman1@gmail.com

Permukiman kumuh merupakan salah satu tantangan utama dalam pembangunan wilayah perkotaan di Indonesia. Kabupaten Gresik sebagai wilayah industri mengalami tekanan urbanisasi yang signifikan, sehingga muncul kawasan-kawasan permukiman yang tidak memenuhi standar kelayakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pelaksanaan Program Kota Tanpa Kumuh (KOTAKU) sebagai upaya strategis penanganan kawasan kumuh berbasis masyarakat. Penelitian dilakukan dengan pendekatan kualitatif deskriptif menggunakan studi kasus. Hasil menunjukkan bahwa program KOTAKU berhasil meningkatkan kualitas infrastruktur dasar, menurunkan luasan kawasan kumuh, dan memperkuat partisipasi masyarakat. Kesimpulan menegaskan bahwa program ini efektif dan layak direplikasi secara luas dengan dukungan kelembagaan dan *monitoring* berkelanjutan.

Kata kunci: permukiman kumuh; program KOTAKU; partisipasi masyarakat; infrastruktur berbasis masyarakat; Gresik

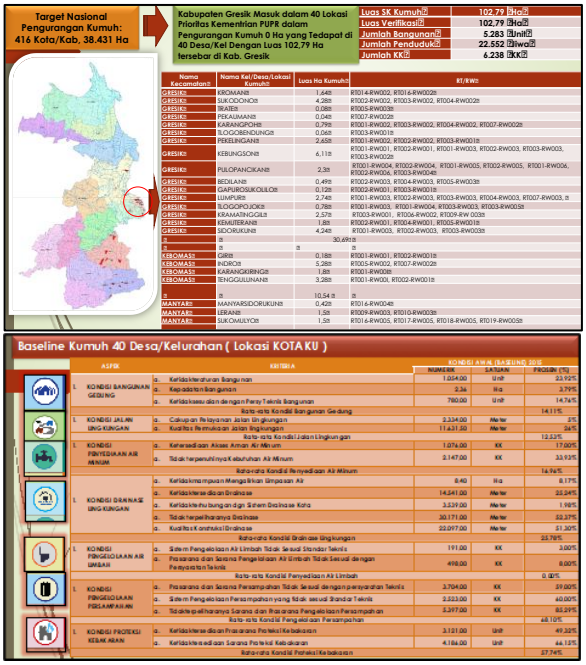
Pendahuluan

Kondisi permukiman kumuh masih menjadi persoalan serius di perkotaan, termasuk Kabupaten Gresik. Berdasarkan UUD 1945 Pasal 28H ayat (1), setiap warga negara berhak atas tempat tinggal layak dan lingkungan sehat. Namun, sekitar 9,12% dari 64,1 juta rumah tangga Indonesia masih tinggal di rumah tidak layak, dan kawasan kumuh mencakup 38.431 hektar (Bappenas, 2016).

Sebagai daerah industri, Gresik mengalami tekanan urbanisasi pesat, seiring peningkatan kepadatan penduduk dari 7.400 jiwa/km² (2000) menjadi 9.400 jiwa/km² (2010). Menanggapi tantangan ini, pemerintah meluncurkan Program Kota Tanpa Kumuh (KOTAKU) dengan pendekatan kolaboratif berbasis masyarakat, mendukung target nasional 100% air minum layak, 0% kumuh, dan 100% sanitasi layak (Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2020). *Baseline* permukiman kumuh di 40 kelurahan lokasi KOTAKU ditunjukkan pada Gambar 1.

Selain itu, program ini juga mendukung air bersih dan sanitasi untuk semua, yang bertujuan untuk memastikan ketersediaan dan pengelolaan air bersih dan sanitasi yang berkelanjutan bagi semua orang. Dengan meningkatkan akses masyarakat terhadap air bersih dan sanitasi yang layak, KOTAKU turut berperan dalam menciptakan lingkungan yang sehat dan mengurangi risiko penyakit yang terkait dengan kondisi permukiman kumuh (Ditjen Cipta Karya, 2020). Keterpaduan antara program KOTAKU dan *sustainable development goals* (SDGs) ini menunjukkan komitmen pemerintah dalam mencapai pembangunan yang berkelanjutan dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat, khususnya di daerah perkotaan yang mengalami tekanan urbanisasi tinggi (Bappenas, 2016).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pelaksanaan Program KOTAKU sebagai upaya strategis penanganan kawasan kumuh berbasis masyarakat.



Gambar 1 *Baseline* Permukiman Kumuh di 40 Kelurahan Lokasi KOTAKU

Metode

Pendekatan dan Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan studi kasus pada pelaksanaan Program KOTAKU di Kabupaten Gresik, bertujuan mengevaluasi intervensi teknis dan peran kelembagaan lokal dalam penanganan kawasan kumuh.

Lokasi dan Objek Penelitian

Lokasi penelitian mencakup Kelurahan Pulopancikan dan sekitarnya sebagai wilayah prioritas. Objek penelitian meliputi infrastruktur fisik hasil program, dokumen teknis

 ISSN 2987-677x

(*detail engineering drawing* (DED) dan *roadmap*), serta aktor pelaksana seperti Badan Keswadayaan Masyarakat (BKM).

Bahan dan Sumber Data

Data diperoleh dari:

1. Primer: observasi lapangan, wawancara semi-struktur, dan dokumentasi visual.
2. Sekunder: *baseline* kumuh, peta surat keputusan (SK), DED infrastruktur (jalan, drainase, sanitasi), rencana anggaran biaya (RAB), dan roadmap 2019–2022.

Teknik Analisis Data

Analisis dilakukan melalui:

1. Reduksi data dan klasifikasi fisik kawasan berdasarkan indikator Peraturan Menteri Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) No. 14/2018 (Kementerian PUPR, 2018).
2. Analisis spasial menggunakan GIS dan *overlay* DED (Simarmata & Arifin, 2020).
3. Analisis temporal menggunakan *roadmap* kegiatan tahunan.
4. Validasi visual dengan dokumentasi lapangan (foto, peta, *siteplan*).

Karakterisasi Wilayah

Tujuh indikator kekumuhan utama dianalisis, yaitu bangunan tidak layak (23,9%), jalan rusak (26%), drainase tak berfungsi (52,3%), air bersih terbatas (33,9%), sanitasi 0%, persampahan buruk (85,6%), dan proteksi kebakaran rendah (60%).

Pemodelan dan Visualisasi Data

Disajikan melalui matriks perbandingan *baseline*–pasca program, peta *geographic information system* (GIS) sebaran kegiatan, penampang DED teknis, *roadmap* intervensi tahunan, dan infografik *siteplan* kawasan kumuh.

Hasil Kerja

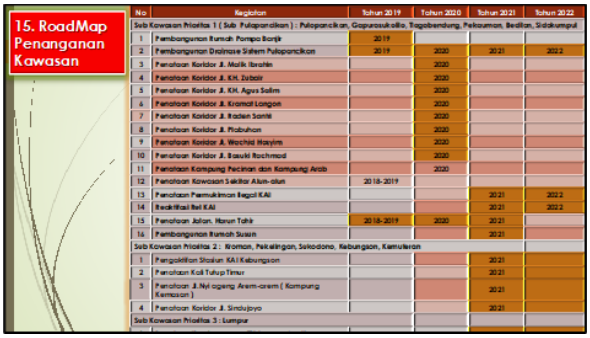
Identifikasi Masalah Permukiman Kumuh

Wilayah seperti Pulopancikan, Kampung Arab, dan Kampung Kolonial menunjukkan tingkat kekumuhan tinggi, dengan drainase tidak berfungsi, sanitasi buruk, dan bangunan padat berdempetan (>67%), seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Visualisasi *baseline* menempatkan wilayah ini sebagai zona merah prioritas intervensi.

Gambar 2 Isu Permasalahan Kekumuhan Wilayah Pulopancikan

Partisipasi Masyarakat dan Kelembagaan Pelaksana

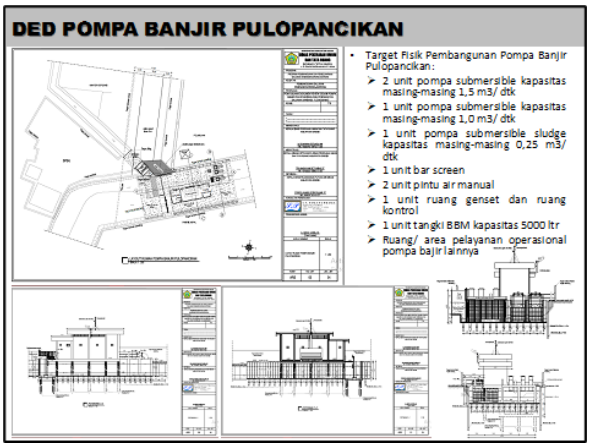
Roadmap KOTAKU mencakup penataan koridor utama, pembangunan sistem drainase, peningkatan kualitas permukiman *heritage*, dan partisipasi masyarakat dalam seluruh tahapan pelaksanaan (Hakim, 2017).



Gambar 3 *Site Plan* Penanganan Skala Kawasan – Kampung Pecinan, Arab, dan Kolonial

Implementasi Teknis dan Infrastruktur

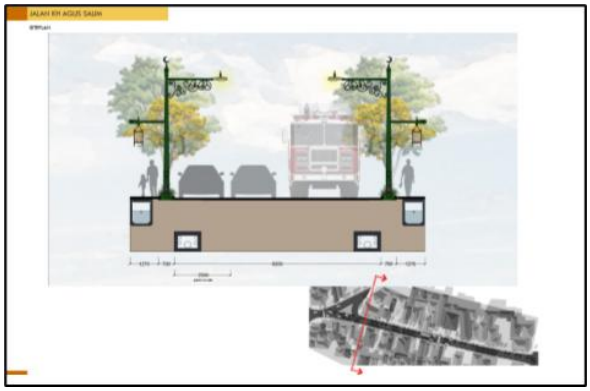
Pembangunan mencakup rumah pompa, DED drainase (1,5 m^3/detik), pedestrian terpadu, dan sistem MCK komunal. Koridor KH Agus Salim dan lainnya ditata ulang dengan prinsip ramah pejalan kaki, hijau, dan inklusif. Gambar 4 menunjukkan salah satu DED Pompa Banjir Pulopancikan.



Gambar 4 DED Pompa Banjir Pulopancikan

Penataan koridor kawasan kumuh menjadi salah satu pendekatan strategis dalam Program KOTAKU di Kabupaten Gresik (DCKPKP Pemerintah Kabupaten Gresik, 2019). Koridor yang dimaksud mencakup ruas-ruas jalan penting yang menjadi penghubung antarblok kawasan padat dan menjadi jalur vital mobilitas masyarakat, seperti Jalan KH Agus Salim, Jalan Raden Santri, Jalan Setiabudi, dan Jalan AKS Tubun. Penataan koridor tidak hanya ditujukan pada perbaikan fisik infrastruktur, tetapi juga pada revitalisasi fungsi ruang dan peningkatan kualitas visual kota. Gambar 5 merupakan visualisasi DED pembangunan pompa banjir – kapasitas dan *layout.*

 ISSN 2987-677x

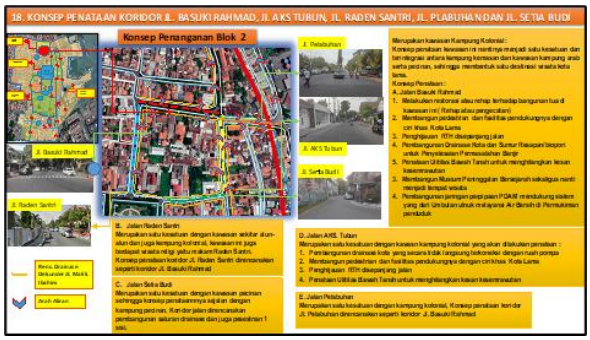


Gambar 5 DED Pembangunan Pompa Banjir – Kapasitas dan *Layout*

Penataan Koridor Blok 2 dan Kawasan Heritage

Penataan kawasan heritage di Blok 2 yang mencakup Kampung Pecinan, Arab, dan Kolonial difokuskan pada pelestarian nilai sejarah sambil meningkatkan fungsi ruang kota. Intervensi dilakukan tanpa mengubah fasad asli bangunan, tetapi dengan memperbaiki aksesibilitas, sanitasi, dan sistem drainase eksisting.

Pendekatan desain mencakup pembangunan jalur pedestrian dari batu alam, plaza terbuka untuk kegiatan sosial-keagamaan, dan penerangan jalan bergaya tradisional. Drainase dibuat adaptif mengikuti kontur eksisting agar tidak merusak bangunan lama. Penataan ini berhasil meningkatkan kualitas visual kawasan serta mendorong aktivitas usaha mikro, kecil, dan menengah *BASE* berbasis budaya lokal. Gambar 6 merupakan *site plan* penataan jalan KH. Agus Salim.



Gambar 6 *Site Plan* Penataan Jalan KH. Agus Salim

Program Penguatan Kota Lama Gresik

Program ini menjadi kerangka utama penataan kawasan kumuh berbasis budaya di Kota Lama Gresik. Fokus utamanya mencakup peningkatan infrastruktur, pelestarian budaya lokal, tata kelola terpadu, penguatan ekonomi rakyat, dan kolaborasi antar-pihak (Organisasi Perangkat Daerah (OPD), masyarakat, swasta). Seluruh elemen ini mendukung keberhasilan Program KOTAKU di koridor-koridor utama kawasan heritage seperti Jl. KH Agus Salim dan Kampung Arab**.**

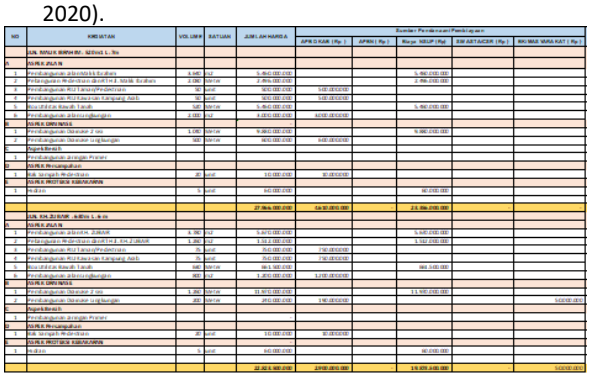
Gambar 7 Program Pemerintah Daerah Pengembangan Kota Bandar Grisse

Evaluasi Efektivitas Penggunaan Anggaran

Skema pembiayaan pada Program KOTAKU di Kabupaten Gresik mengadopsi pendekatan multi-sumber yang terstruktur, memadukan dana dari Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD) Kabupaten, Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN), serta pembiayaan melalui *Neighborhood Upgrading and Shelter Project* (NSUP) yang merupakan bantuan pinjaman luar negeri. Pada beberapa bagian, turut disokong oleh kontribusi swasta melalui program *Corporate Social Responsibility* (CSR) serta partisipasi masyarakat (swadaya), yang meskipun kecil namun strategis (Yusuf & Nugroho, 2018; *Community-based planning*, 2018).

Gambar 8 di bawah merinci total anggaran proyek untuk dua koridor utama Jalan Malik Ibrahim (panjang 520 m, lebar 7 m) dan Jalan KH Zubair (panjang 630 m, lebar 6 m), yang difokuskan dalam berbagai aspek infrastruktur fisik, antara lain:

1. Aspek jalan, seperti pavingisasi, pedestrian ramah lingkungan, hingga pembangunan *box* utilitas bawah tanah.
2. Aspek drainase, dengan sistem 2 sisi untuk mengatasi banjir dan limpasan air hujan.
3. Aspek persampahan, berupa pembangunan bak sampah dan jaringan primer persampahan.
4. Proteksi kebakaran, termasuk penyediaan hidran umum sebagai fasilitas tanggap darurat (*Performance Indicators of Basic Infrastructure of Kotaku Program*, 2020).



Gambar 8 Rekapitulasi Anggaran Infrastruktur RAB

Total pembiayaan untuk Jalan Malik Ibrahim mencapai Rp 27,96 miliar, yang berasal dominan dari Biaya NSUP (Rp 23,35 miliar) dan sebagian dari APBD (Rp 4,61 miliar). Sedangkan, Jalan KH Zubair menghabiskan Rp 22,82 miliar, terdiri atas NSUP (Rp 19,87 miliar), APBD (Rp 2,9 miliar),

 ISSN 2987-677x

serta swadaya masyarakat Rp 50 juta untuk dukungan pembangunan drainase lingkungan.

Kesimpulan

Program KOTAKU di Kabupaten Gresik, khususnya di kawasan Bandar Grisse, menunjukkan keberhasilan nyata dalam menurunkan tingkat kekumuhan melalui integrasi pendekatan teknis dan sosial. Intervensi pada koridor strategis seperti Jalan KH Agus Salim, Jalan Malik Ibrahim, dan Jalan KH Zubair berhasil meningkatkan kualitas infrastruktur dasar, menata ruang publik, serta memperbaiki sistem drainase dan sirkulasi kawasan padat.

Capaian fisik berupa rumah pompa banjir, drainase tertutup, serta jalur pedestrian di kawasan heritage menunjukkan efektivitas desain berbasis DED, GIS, dan evaluasi lapangan (Simarmata & Arifin, 2020; Evaluasi Dampak Program KOTAKU di Semarang, 2023). Skema padat karya juga meningkatkan efisiensi anggaran dan peran masyarakat secara langsung dalam proses pembangunan.

Keterlibatan Badan Keswadayaan Masyarakat (BKM) dalam penyusunan RKM dan pengawasan proyek memperkuat tata kelola partisipatif. Sementara itu, struktur pembiayaan dari APBN, APBD, NSUP dan CSR menunjukkan kolaborasi lintas sektor yang efisien dan minim deviasi (<2%).

Program ini direkomendasikan untuk diintegrasikan ke dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Gresik dan dijadikan model nasional dalam penataan kawasan urban padat. Dengan tata ruang berbasis komunitas dan spasial digital, pendekatan Bandar Grisse dapat direplikasi untuk kawasan sejenis di Indonesia.

Kontribusi Penulis

Penulis bertanggung jawab penuh atas penyusunan latar belakang, perancangan metodologi, dan pengumpulan data melalui observasi lapangan, dokumentasi, serta wawancara di lokasi Program KOTAKU di Kabupaten Gresik. Seluruh proses analisis, interpretasi hasil, pemodelan data, penulisan artikel, hingga penyuntingan akhir dilakukan secara mandiri. Penyusunan daftar pustaka dan penyesuaian artikel dengan kaidah akademik dilakukan dengan supervisi dari dosen pembimbing, sesuai etika penelitian yang berlaku.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan dalam pelaksanaan penelitian maupun penyusunan artikel ini. Data yang digunakan berasal dari observasi lapangan dan dokumen resmi Pemerintah Kabupaten Gresik, tanpa pengaruh profesional, finansial, atau pribadi yang dapat memengaruhi hasil penelitian.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada mantan Bupati Gresik, Dr. Sambari Halim Radianto, S.T., M.Si., dan Bupati Gresik, H. Fandi Akhmad Yani, S.E., M.Mb., atas segala bimbingan, arahan serta dukungan yang diberikan selama proses pelaksanaan kegiatan ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada instansi terkait yang telah memberikan data, informasi, serta akses yang mendukung kelancaran proses penelitian.

Referensi

Bappenas. (2016). *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2015–2019*. Jakarta: Badan Perencanaan Pembangunan Nasional.

Community-based planning, collective action and the challenges of scale. (2018). *Environment and Urbanization*.

Dinas Perumahan dan Kawasan Permukiman Kabupaten Gresik. (2019). *Artikel Kumuh di Kabupaten Gresik Berkurang: Wujud keberhasilan program KOTAKU dan Pemkab Gresik*. Gresik: DCKPKP.

Ditjen Cipta Karya. (2020). *Petunjuk teknis pengelolaan dana program KOTAKU skala kawasan*. Jakarta: Kementerian PUPR.

Dewi, W. S. (2025). Evaluasi dampak program KOTAKU (Kota Tanpa Kumuh) dalam mengurangi permukiman kumuh di Kelurahan Bangetayu Kulon dan Kelurahan Banjardowo Kecamatan Genuk Kota Semarang. *Journal of Public Policy and Management Review*, *1*(1), 605–619. https://doi.org/10.14710/jppmr.v1i1.49147.

Hakim, L. N. (2017). Model Pemberdayaan Masyarakat dalam Penanganan Permukiman Kumuh. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan, 19*(2), 89–96.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). (2018). *Peraturan Menteri PUPR No. 14 Tahun 2018 tentang Pencegahan dan Peningkatan Kualitas Terhadap Perumahan Kumuh dan Permukiman Kumuh*. Jakarta: Kementerian PUPR.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). (2020). *Pedoman teknis pelaksanaan pembangunan infrastruktur permukiman*. Direktorat Jenderal Cipta Karya.

Simarmata, H. A., & Arifin, Y. (2020). GIS-based urban slum mapping and planning: Lessons from Indonesia. *Geospatial Journal of Planning, 11*(2), 121–137.

Tribhuwana, A., & Farhan, O. (2020). Performance indicators of basic infrastructure of kotaku program (the city without slums). *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan, 22*(2), 94-102.

Yusuf, A., & Nugroho, R. (2018). Evaluasi kinerja program KOTAKU di Kota Surabaya. *Jurnal Tata Kota, 23*(3), 115–127.

ISSN 2987-677x

Perkuatan Pondasi Pagar Pembatas Untuk Menjaga Keselamatan Lingkungan dan Keberlangsungan Kekuatan Tanah dari Proses Abrasi

Wijaya Kusuma Jati[1,2] Tarsisius Dwi Wibawa Budianta[1] Lusia P.S. Hartanti[1]

[1] Program Studi ProfesiInsinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya,

[2]PT Torabika Eka Semesta, Jalan Raya Serang km 12,5, Cikupa, Tangerang

✉ wijaya.kusuma@mayora.co.id

Proses abrasi merupakan suatu ancaman terhadap struktur tanah dan keberadaan bangunan di atasnya yang terdampak. PT Torabika Eka Semesta *Plant* Cikupa Divisi *Creamer* berlokasi di area yang bersinggungan dengan danau alam di area belakang pabrik, yang pada tahun 2010 masih ada tanah daratan antara pagar dan *level* permukaan air danau. Proses abrasi menyebabkan daratan tanah terkikis dan membuat *level* permukaan air danau naik hingga menyentuh pagar. Proses perkuatan struktur tanah dilakukan bertujuan untuk menjaga tanah pabrik dari proses abrasi yang bisa membahayakan keberlangsungan bangunan pabrik di atasnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil perkuatan pondasi pagar pembatas antara danau dan area pabrik dengan menggunakan metode *secant pile*. Penggunaan dinding *secant pile* berupa tiang bor berdiameter 80 cm dengan kedalaman efektif 18 m ditujukan untuk mengantisipasi adanya rembesan air danau di kemudian hari. Metode pancang menghabiskan sekitar 6,500 m³ beton untuk jumlah pancang sebanyak 650 titik sepanjang 400 m. Hasil dari proses pancang memberikan perkuatan struktur tanah lebih kuat dan tidak terlihat adanya *deformasi lateral* di lapangan, serta kondisi pagar pembatas terlihat stabil dan tidak terlihat adanya polar retakan di bagian *sloof beam* (balok penyatu).

Kata kunci: abrasi, *secant pile*, deformasi

Pendahuluan

PT Torabika Eka Semesta *Plant* Cikupa Divisi *Creamer* berlokasi di area yang bersinggungan langsung dengan danau alam di area belakang pabrik yang dibatasi oleh pagar panel beton. Pada tahun 2015, area di belakang pagar panel masih dijumpai daerah daratan sejauh 100 m sebelum permukaan air danau.

Proses abrasi atau pengikisan tanah permukaan akibat naik turunnya permukaan air danau karena dorongan angin terhadap permukaan air menyebabkan tanah di belakang pagar terus menipis hingga pada beberapa posisi terpantau sudah terkikis oleh air. Area daratan terpantau di beberapa titik dengan kontur yang curam dan di beberapa titik terpantau kontur yang landai (Gambar 1).

Gambar 1 Kondisi Daratan dengan Kontur Curam dan Landai

Pada tahun 2017, area daratan air sudah bersentuhan dengan pagar pembatas, sehingga dilakukan perkuatan dinding menggunakan semen yang dimasukkan ke dalam karung/*jumbo bag* untuk meminimalkan proses abrasi (Gambar 2).

Gambar 2 Kondisi Tahun 2017 Air Danau Sudah Bersentuhan dengan Pagar dan Ada Perkuatan Pagar dengan Menggunakan Semen Dalam *Jumbo Bag*

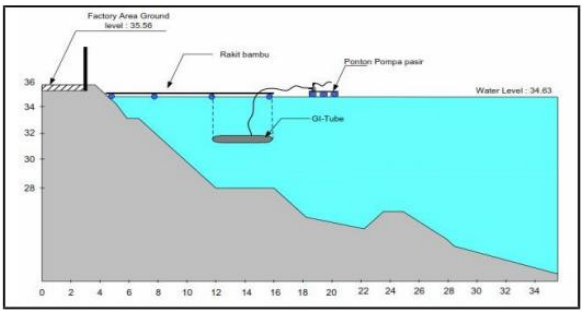
Proses perkuatan struktur tanah perlu dilakukan untuk menjaga potensi kerusakan pondasi bangunan (sejalan dengan *sustainable development goals* (SDG) no 9). Hal ini untuk memastikan infrastruktur pabrik aman dan produksi bisa tetap berlanjut (SDG no 11), serta pertumbuhan

 ISSN 2987-677x

ekonomi bisa terus berjalan (SDG no 8). *Deformasi* yang tejadi pada dinding penahan tanah adalah akibat dari adanya pergerakan tanah secara *horizontal*, bergerak, atau menjauhi penahan tanah (Bhuana & Indra, 2024). Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui hasil perkuatan pondasi pagar pembatas antara danau dan area pabrik dengan metode *secant pile* di PT Torabika Eka Semesta.

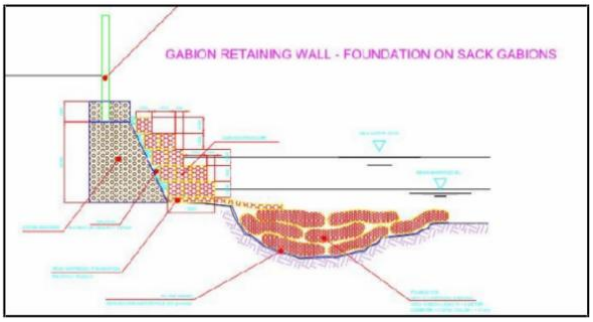
Metode

Berdasarkan atas kondisi yang ada dan *analisis* yang telah dilakukan, ada beberapa usulan penanganan sistem proteksi: proteksi menggunakan teknologi *geo tube (geo textile tube)*, yaitu proteksi dengan menggunakan tumpukan *geo tube* di bagian lereng yang disusun hingga ketinggian kurang lebih (±) <1 m di bawah muka air danau saat ini. Proteksi pada bagian atas akan dilakukan dengan menggunakan material matras (batu dan *wire mesh basket*) (Gambar 3).



Gambar 3 Desain *Metode Geo-tube*

Proteksi menggunakan sistem bronjong *(gabion arrangement)* adalah salah satu tipe *gabion* yang konstruksi nya dilakukan dengan cara pengisian di area daratan dan selanjutnya penyusunan di dalam air dilakukan setelah *gabion* sudah dalam kondisi terisi oleh material batu. Tipe *gabion flexible* ini umumnya digunakan untuk meningkatkan daya dukung tanah dasaran (Gambar 4).



Gambar 4 Desain Metode Sistem Bronjong

Proteksi menggunakan sistem *secant pile,* yaitu sistem penahan tanah yang terdiri dari tiang-tiang beton yang dipasang secara tumpang tindih untuk membentuk dinding penahan tanah yang kontinu. Perencanaan *secant pile* dapat dilakukan pada lahan yang sempit namun galian bawah tanahnya masih bisa maksimal. *Secant pile* juga bisa dilakukan pada kondisi tanah yang muka airnya cukup tinggi (Isnaeni, 2020). Metode *secant pile* dilakukan dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu dengan diisi rangka besi dan dicor. *Secant pile* disusun sedemikian rupa untuk mendapatkan daya tahan terhadap tekanan *lateral (retaining wall)*. *Secant pile* terdiri dari *pile primer* yang terbuat dari campuran semen dan *bentonite* tanpa rangka besi dan *pile sekunder* yang terbuat dari beton bertulang (merupakan rangka struktur utama dinding penahan tanah) (Hasanah,2023) (Gambar 5).

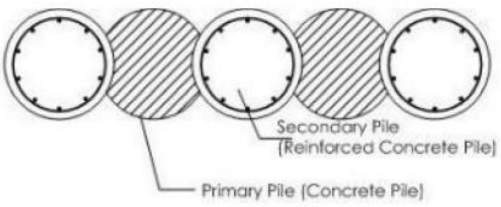
Keuntungan metode *secant pile* sebagai dinding penahan tanah di antaranya tidak memerlukan lahan yang luas selama masa konstruksi dan dapat dilakukan pada kondisi tanah yang sulit seperti kondisi batuan. Sedangkan, kerugian dari metode *secant pile* di antaranya adalah perlu adanya aktifitas finishing setelah pemancangan, dan biaya yang relatif lebih tinggi (Isnaeni, 2020).

Untuk merencanakan dinding penahan tanah agar dapat menahan beban yang bekerja, maka perlu diketahui gaya horizontal yang bekerja antara konstruksi dinding penahan tanah dengan massa tanah yang ditahannya dan dorongan tanah yang ada di belakang struktur dinding penahan tanah tersebut. Gaya yang ditimbulkan itu disebut tekanan tanah *lateral* (Yusuf, 2020).

Beberapa tahapan perkuatan tanah yang dilakukan meliputi :

1. Studi kelayakan
2. *Site survey*
3. *Soil test*
4. Analisis dan desain
5. Proses konstruksi
6. Evaluasi

Aktifitas studi kelayakan, *site survey, soil tes*, analisis, dan desain dilakukan menggunakan jasa PT Indeco Prima. Proses konstruksi dilakukan oleh kontraktor PT. Berdikari pondasi Prima setelah melalui tender dengan menggunakan desain, *bill of quantity*, dan *spesifikasi* yang ditetapkan oleh konsultan dari PT Indeco Prima. Mesin dan alat berat yang digunakan untuk mendukung proses konstruksi ini akan ditempatkan di sekitar area pagar.



Gambar 5 Desain Penampakan *Secant Pile*
(Sumber: BSN, 2017)

Ada beberapa alat pendukung yang digunakan, meliputi *crawler crane, high boring machine* (HBM), *excavator, dump truck, truck mixer, genset power, dewatering pump*, bak penampung lumpur, dan *casing* selongsong (Gambar 6).

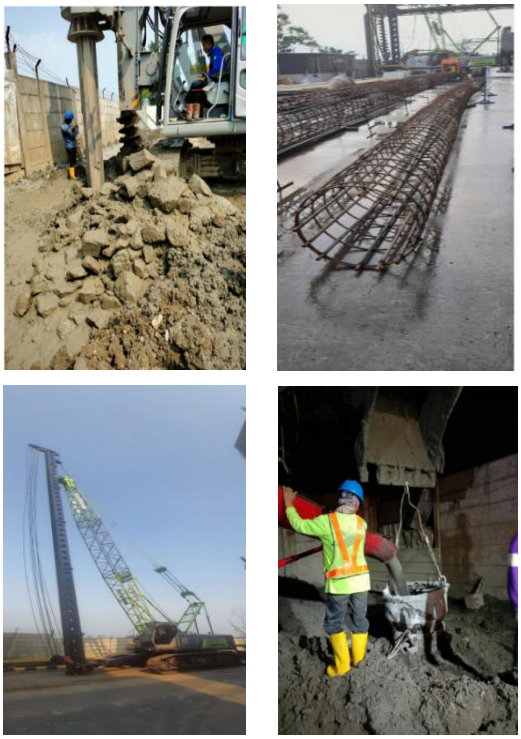
 ISSN 2987-677x

Gambar 6 Mesin *High Boring Machine*

Hasil Kerja

Proses pekerjaan perkuatan pondasi dimulai dari bulan Januari 2021 – September 2021. Pekerjaan dimulai dengan pengeboran tanah dan memasukan rangka besi dan dicor yang terdiri dari *pile primer* yang terbuat dari campuran semen dan *bentonite* tanpa rangka besi dan *pile sekunder* yang terbuat dari beton bertulang (Gambar 7).

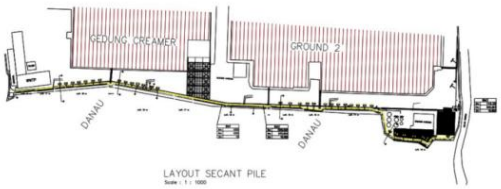
Pengecoran *primary pile* ini dilakukan terlebih dahulu sebelum pengecoran *secondary pile* (Isnaeni, 2020).



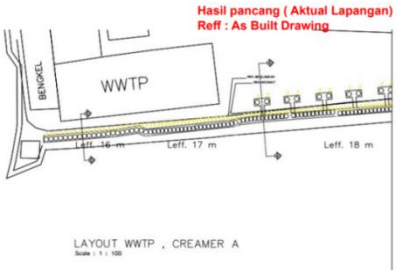
Gambar 7 *Progres* Pengeboran Tanah, Rangka Besi, dan Dicor

Secara keseluruhan total area pekerjaan perkuatan dinding *secant pile* sepanjang 400 m dari area wwtp *plant creamer* hingga area *plant ground* 2 PT Torabika Eka Semesta (Gambar 8).

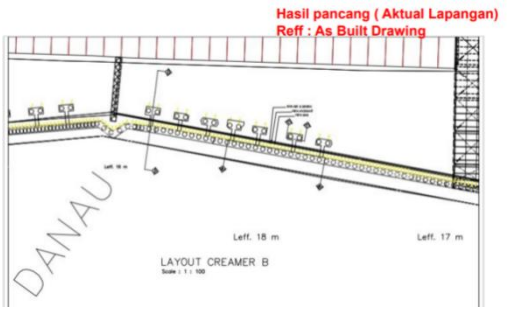
Pekerjaan dinding *secant pile* di bagi beberapa area pekerjaan yaitu area wwtp *creamer* sepanjang 50 m (Gambar 9), dan area *plant creamer* sepanjang 150 m (Gambar 10), dan area *plant ground* 2 sepanjang 200 m (Gambar 11).



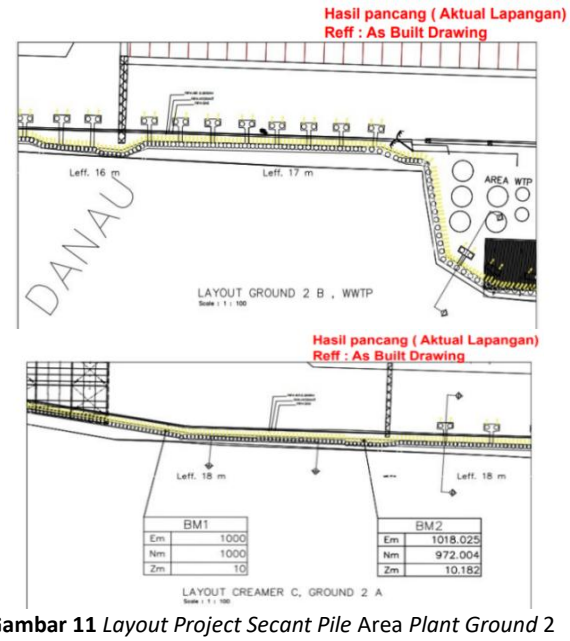
Gambar 8 *Layout Project Secant Pile* Area WWTP *Plant Creamer* Sampai *Plant Ground* 2



Gambar 9 *Layout Project Secant Pile* Area WWTP *Creamer*



Gambar 10 *Layout Project Secant Pile* Area *Plant Creamer*



Gambar 11 *Layout Project Secant Pile* Area *Plant Ground* 2

Dari pekerjaan *secant pile* tersebut bertujuan untuk memberikan hasil perkuatan struktur tanah yang lebih kuat yang terlihat dari tidak adanya *deformasi lateral* yang terlihat di lapangan, kondisi pagar pembatas yang ada dalam kondisi baik dan tidak ada *polar* retakan (BSN, 2017).

ISSN 2987-677x

Kesimpulan

Pekerjaan pancang metode *secant pile* dilakukan sepanjang +/- 400 m selama 6 - 9 bulan oleh kontraktor PT Berdikari Pondasi perkasa TBK di bawah koordinasi Konsultan Civil PT Indeco Prima. Metode pancang menghabiskan total sekitar 6,500 m^3 beton, dengan jumlah titik pancang sebanyak 650 titik dengan kedalaman pancang *range* 18 - 19 m dan dengan diameter pancang 800 mm.

Perkuatan pagar danau menggunakan metode *secant pile* secara konstruksi diharapkan mampu menahan masuknya air ke dalam rongga dalam tanah yang berpotensi mengikis lapisan tanah yang berakibat hilangnya lapisan tanah yang menopang bangunan di atasnya.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Bapak Gunantyo selaku MDH M2 PT Torabika Eka Semesta (Mayora Group), Ibu Dra. Ir. Adriana Anteng Anggrowati, M.Si., IPU, Bapak Dr. Ir. Ivan Gunawan, S.T., M.MT., CSCM., IPM., ASEAN Eng. selaku dosen pembimbing, serta rekan-rekan tim PT Torabika Eka Semesta, yaitu Saudara Muhklis Aan A., saudara Akbar Felayati, dan Bapak Firdaus selaku pimpinan *project* PT Berdikari Pondasi Perkasa TBK, serta Bapak Bernand selaku konsultan PT Indeco Prima.

Referensi

Badan Standarisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 Persyaratan perancangan geoteknik*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Bhuana, B., & Hamdan, I. N. (2024). *Pemodelan kondisi secant pile tanpa perkuatan strutting baja menggunakan model 3D*. Seminar Nasional dan Diseminasi Tugas Akhir. Bandung.

Hasanah, I. R. (2023). *Pemodelan stabilitas secant pile sebagai dinding penahan tanah dengan perkuatan ground anchor pada proyek pembangunan basement fasilitas pengembangan skala pilot PT. Bio Farma (PERSERO)*. Tugas akhir. Bandung: Institut Teknologi Nasional Bandung.

Isnaeni, D. R. (2020). *Perencanaan pondasi bored pile dan secant pile pada basement sebagai alternatif perencanaan existing di Apartemen Tamansari Emerald Citraland Surabaya*. Tugas akhir. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumian, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Yusuf, T. Z. F. (2020). *Evaluasi perencanaan secant pile sebagai dinding penahan tanah basement pada proyek Hotel Ibis Merah Medan*. Proyek akhir terapan. Surabaya: Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

ISSN 2987-677x

Feasibility Study of Solar PV Project Implementation Under Build-Own-Operate (BOO) Scheme: A Case Study at PT ADF

Adityo Firmansyah [1] Hartono Pranjoto[2]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[2] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

adityo.firmansyah89@gmail.com
pranjoto@ukwms.ac.id

PT ADF, an Indonesian manufacturer, is adopting solar energy to support the national 23% renewable energy target by 2025. This study analyzes a 1,894.75 kWp rooftop solar PV system at its Purwakarta plant using a Build-Own-Operate (BOO) model, eliminating upfront costs through a Power Purchase Agreement (PPA) priced 22% below standard rates. Simulations with PVsyst predict 192,296 kWh/year with high efficiency (Performance Ratio: 0.89), saving PT ADF Rp 478,024,539 annually and cutting 153.8 tons of CO_2/year for environmental impact assessment shows potential CO_2 emission reductions. The project complies with Indonesia's ESDM Regulation No. 26/2021 on rooftop PV systems, particularly regarding net-metering provisions and grid interconnection requirements..the BOO model provides cost savings, risk-free solar adoption, and stable energy costs for 20 years, serving as a replicable solution for Indonesian industries transitioning to sustainable energy.

Keywords: rooftop solar PV, BOO (Build-Own-Operate), PVsyst simulation, Power Purchase Agreement (PPA), industrial renewable energy

Introduction

The global shift toward renewable energy has intensified as industries seek sustainable solutions to reduce carbon emissions and operational costs. In Indonesia, the government has set an ambitious target of 23% renewable energy mix by 2025, prompting companies like PT ADF to explore solar power adoption. Rooftop photovoltaic (PV) systems offer a viable solution, particularly under the Build-Own-Operate (BOO) model, which enables industries to transition to clean energy without upfront capital investment. Under the BOO scheme, a third-party developer finances, installs, and maintains the solar PV system while the host company purchases electricity through a long-term Power Purchase Agreement (PPA). This model not only accelerates renewable energy deployment but also reduces financial and operational risks for industrial adopters. For PT ADF's Purwakarta plant, assessing the technical and economic feasibility of a rooftop PV system is critical to aligning with corporate sustainability goals and national energy policies.

This study evaluates the potential of a 1894.75 kWp in rooftop solar installation at PT ADF facility using PVsyst software to simulate energy output, system efficiency, and financial returns under the BOO framework. By analyzing key metrics such as annual generation (654 kWh/day) with a performance ratio (PR) of 0.89,, the study provides actionable insights for PT ADF's transition to solar energy while demonstrating the broader applicability of the BOO model for Indonesia's industrial sector.

PV solar energy

To calculate the power generated by a solar panel plant (PLTS), it is necessary to know some information about the solar energy system. Some of the factors that affect the energy

- The energy output (*E*) can be calculated as (Omran et al., 2010):

production of solar power plants include the size of the solar panels, the geographical location, the tilt of the solar panels, the orientation of the solar panels, etc. geographical location, tilt of the solar modules, orientation of the solar modules, the weather conditions and the operating time. The electrical energy generated by a solar power plant depends on the area of the solar power plant (Omran, 2010), the efficiency of the solar modules, the potential energy irradiation and the output of the solar system.

The equation for the electrical energy depends on the irradiation and the output of the solar power plant itself. The equation for the electrical energy generated by the solar power plant is:

$$E = A \times r \times H \times PR \quad (1)$$

where E is the energy (kWh), A is the total area of the panel (m2), r is the efficiency of the panel (%), H isthe average annual radiation (W/m2) and PR is the power ratio of the system.

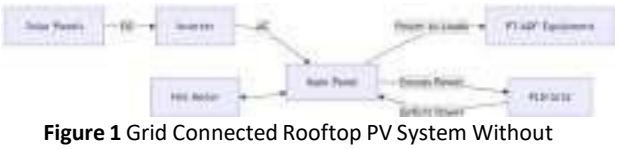


Figure 1 Grid Connected Rooftop PV System Without Battery Storage in PT ADF

Energy Yield of Photovoltaic (PV) Systems

The electrical energy production of a photovoltaic (PV) system depends on multiple factors, including:

- Panel size and technology
- Geographic location and solar irradiance
- Tilt angle and orientation (azimuth)
- Weather conditions and system performance

 ISSN 2987-677x

$$E = A \times \eta \times H \times PR$$

where:

- E = Energy output (kWh)
- A = Total panel area (m²)
- η = Panel efficiency (%)
- H = Annual average solar radiation (W/m²)
- PR = Performance ratio (unitless)

Performance Ratio (PR)

The Performance Ratio (PR) is a metric that compares the actual energy output of a PV system to its theoretical maximum output under Standard Test Conditions (STC: 1000 W/m² irradiance, 25°C cell temperature) (Duffie et al., 2006). Specifically, PR is the ratio of the system's actual energy yield to its ideal energy yield if operating continuously at nominal STC efficiency (where 1 kWh/m² of irradiance produces 1 kWh of electricity).

Performa Rasio is independent of PV array orientation or local solar irradiance, enabling global comparisons of grid-connected PV systems. A well-performing system typically achieves a PR between 70–80%, though this varies based on geographic location, weather conditions, and system quality. Higher PR values indicate greater efficiency and productivity.

PR accounts for losses such as:

- Light-induced losses (e.g., reflection, soiling)
- PV array losses (e.g., mismatch, wiring resistance)
- System losses (e.g., inverter inefficiency, temperature effects)

1)

The PR formula is:

$$PR = \frac{E_{\text{grid}}}{G_{\text{irr}} \times P_{\text{nom, PV}}}$$

- Egrid = Actual Energy Output (Kwh)
- Grid = Total In Plane Irradiance (kWh/m²)
- Pnom, PV = Rate Pv capacity (Kwp)

Research Method

In this research, several stages were carried out research, namely:

1. Literature study and data collection, namely:
   a. Conduct a literature study on PV systems.
   b. Collecting data on electrical energy consumption of electrical energy in the production building of PT ADF.
   c. Collecting building technical data building of PT ADF.
2. Design and simulation of solar panel systems with PVsyst software, the stages are:
   a. Designing rooftop solar panels based on technical data of the PT ADF production building,
   b. Simulation of solar panel systems using Pvsyst software to calculate the potential electrical power generate.
   c. Analysing the performance of solar panels by calculating the Performance Ratio.
3. The next stage is the analysis of simulation results and data processing, namely:
   a. Analysing simulation results and simulation results and data processing regarding the potential and solar panel performance.
   b. Performing a comparison with existing standards existing standards to determine whether the solar panel system is effective and efficient.
4. Conclusions and Suggestions are
   a. Conclude the results of the analysis of the potential electricity generated.
   b. Provide advice on development of PV system installation in other factories of PT ADF so that it can be a medium for further research that can be carried out to develop the potential of electricity generated by the PV system. can be done to develop the system more effectively and efficient.

To find out the potential of electrical energy that exists in the office building environment, a simulation of one of the most potential and representative one of the most potential and representative buildings to be fitted with solar panels in the factory premises with visual modelling and the area was done using google maps.

Figure 2 Layout Of Solar Panel Application In PTADF

This project involves the installation of a 1.895 kWp solar PV system with:

The solar panel specifications:

- Brand/model : Seraphim SRP-450-MH (PERC Monocrystalline)
- Dimensions : 2094 mm × 1038 mm × 35 mm
- Cell type : Mono PERC (166×83 mm, 144-cell)
- Cell size : 166 mm × 83 mm

(see Figure 3 for visual reference)

Inverter specifications:

- Brand/model : Sungrow SG3K-D (3kW, 1 MPPT)
- Maximum efficiency : 98.4% (CEC weighted)

(see Figure 4 for visual reference)

 ISSN 2987-677x

Figure 3 Solar Panel Seraohim In PTADF

Figure 4 Inverte Sungrow in PTADF

Result and Conclusion

The solar PV system deployment at PT ADF incorporated advanced simulations to evaluate two critical performance factors: shading effects and soiling losses. These analyses were conducted due to:

1) Structural Complexities: Non-uniform building heights and contours creating intermittent shading patterns. See figure 5 for Potential Shading in PT ADF.
2) Environmental Factors: Particulate accumulation (soiling) in specific zones due to operational and atmospheric conditions. See figure 6 for Potential Soiling in PT ADF.

Figure 5 Potential Shading in PT ADF

Figure 6 Potential Soiling in PT ADF

As illustrated in Figure 5, certain buildings demonstrate notable shading potential from adjacent structures, while Figure 6 identifies areas particularly susceptible to soiling effects from particulate accumulation.

The electrical energy output of the solar PV system was simulated and visualized in Table 1 . Peak Production Occurs in August with an output of 230,733 kWh/kWp/month. This seasonal peak aligns with optimal solar irradiance and clear-sky conditions typical of August in the project location. Daily energy yield with a total installed capacity of 7,433 kWp, the system demonstrates consistent energy generation.

Table 1 Simulation Electrical Energy for Solar PV on 1 years

Month	Grid (kWh)
January	150,832.34
February	153,514.24
March	197,094.36
April	196,046.16
May	202,976.38
June	192,129.08
July	211,156.56
August	230,733.79
September	219,772.91
October	207,476.47
November	171,512.75
December	175,313.27
Annual Production	2,307,558.26
Rated Production	192,296.52

From Table 1, the rated annual production capacity of the solar panel system at PT ADF is 192,296 kWh/month. This production value serves as the baseline for calculating average energy consumption at the facility. Based on this solar generation and the total electricity demand, the system delivers monthly cost savings of Rp 39,835,378, accumulating to annual savings of Rp 478,024,539.

Conclusion

Based on the simulation results using pvsyst software, the following conclusions can be drawn:

2) The rooftop solar pv system installed at PT ADF with a capacity of 1,895 kwp, demonstrates significant potential to generate substantial electrical energy, effectively contributing to the company's energy needs.
3) PT ADF to implement a solar power system under the Build-Own-Operate (BOO) model, where the solar provider funds,

 ISSN 2987-677x

installs and maintains a 1,895 kWp photovoltaic system on the company's premises. Under this 20-year agreement, PT ADF purchases the electricity generated at a pre-determined rate that is 30% below the current electricity tariff, while the power provider retains ownership of the assets and handles all operational responsibilities. This agreement enables PT ADF to achieve annual cost savings of IDR 478 million with no upfront capital investment, as well as guaranteeing 95% system availability through performance commitments from the electricity provider.

4) The system achieves a performance ratio (pr) of 0.89, indicating high efficiency in converting solar energy into electricity. This underscores the system's effectiveness in harnessing sunlight and optimizing energy production.
5) The study highlights the viability of rooftop solar pv systems as a sustainable and environmentally friendly energy solution for pt adf. To further advance renewable energy adoption, similar systems should be expanded to other buildings, supporting broader efforts toward sustainability and reduced carbon footprints

Acknowledgements

First and foremost, the author expresses his deepest gratitude to his beloved family and loved ones for their endless encouragement, sacrifices, and belief in him throughout the Professional Engineer Education Study Programme. Their unwavering support has been the foundation of this journey.

The author is profoundly indebted to his supervisors—Mr Hartono Pranojo, Mr Ivan Gunawan, and Mr Andew Juwono—for their exceptional mentorship, wisdom, and dedication during the Professional Engineer Education Programme at UKMWS. Their guidance not only shaped this work but also inspired personal and professional growth.

To all colleagues, friends, and unsung heroes who contributed directly or indirectly to this endeavor—thank you. Your insights, camaraderie, and assistance made this achievement possible. This milestone is as much yours as it is mine. Finally, to the readers of this work—may it contribute meaningfully to the field and inspire others as this journey has inspired me.

Referensi

ABB. (2008). *Technical application papers No.10: Photovoltaic plants*. ABB.

Bhaktavatsalam, A. K., & Choudhury, R. (1995). *Specific energy consumption in the steel industry*. Energy, 20(12), 1247-1250.

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes* (4th ed.). Wiley.

International Electrotechnical Commission (2017). *IEC 61724-1: Photovoltaic system performance monitoring - Part 1: Monitoring* (1.0 ed.).

Jordan, D. C., & Kurtz, S. R. (2013). Photovoltaic degradation rates—An analytical review. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 21*(1), 12–29.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2021). *Peraturan Menteri ESDM Nomor 26 Tahun 2021 tentang PLTS Atap yang Terhubung pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang IUPTL untuk Kepentingan Umum.* Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Omran, W. A., Kazerani, M., & Salama, M. M. A. (2010). Performance investigation of grid-connected PV systems for family farms: Case study in North Africa. *IEEE Transactions on Sustainable Energy, 1*(1), 89–98. https://doi.org/10.1109/TSTE.2010.2058075.

NASA. (n.d.). *Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER): Higher resolution daily time series climatology resource for SSE – Renewable energy*. Retrieved February 8, 2020, from https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/.

 ISSN 2987-677x

Perancangan *UI/UX* Menggunakan Metode *Design Thinking* pada *Website* JDIH Kudus

Andre Tri Saputra[1] Rasional Sitepu[1] Indra Lina Putra[1] Alvin Rainaldy Hakim[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ andre.saputra@umk.ac.id

Digitalisasi layanan publik, seperti Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum (JDIH) Kabupaten Kudus, penting untuk meningkatkan efisiensi dan transparansi dan tata kelola yang baik sesuai tujuan SDGs. informasi hukum daerah. Namun, *website* JDIH Kudus memiliki masalah pada tampilan dan fungsionalitas, seperti desain visual kurang menarik, navigasi tidak intuitif, dan tidak responsif di berbagai perangkat, sehingga mengurangi kenyamanan dan efektivitas pengguna. Untuk mengatasinya, dilakukan perancangan ulang antarmuka menggunakan metode *design thinking* dengan tahapan *emphatize*, *define*, *ideate*, *prototype*, dan *test*. Prototipe baru diimplementasikan dan diuji dengan kuesioner skala likert. Hasilnya menunjukkan kepuasan pengguna meningkat signifikan pada aspek visual, navigasi, dan kemudahan akses. Metode *design thinking* terbukti efektif menghasilkan solusi UI/UX yang meningkatkan kualitas layanan digital pemerintahan dan aksesibilitas yang ramah pengguna, dan berkontribusi pencapaian SDGs pada informasi hukum.

Kata kunci: *UI/UX*, *design thinking*, JDIH, *website*, perancangan antarmuka, pengalaman pengguna

Pendahuluan

Perkembangan teknologi informasi yang cepat telah menyebabkan perubahan besar dalam banyak aspek kehidupan, termasuk sektor pemerintah. Digitalisasi layanan publik adalah salah satu prioritas utama untuk meningkatkan transparansi, efisiensi, dan aksesibilitas informasi publik. Pada Setda Bagian Hukum, terdapat sebuah sistem digitalisasi untuk pendokumentasian hukum yang dikelola oleh bagian hukum. Bentuk digitalisasi spesifik adalah pengelolaan informasi hukum melalui dokumen dan jaringan informasi hukum (JDIH).

JDIH adalah program nasional yang dikoordinasikan oleh Badan Pengembangan Hukum Nasional (BPHN) dan bertujuan untuk memberikan dokumen hukum, terintegrasi, dan umumnya yang dapat diakses. Setiap otoritas lokal diharuskan untuk mengelola dan mempublikasikan dokumen hukum di portal JDIH masing-masing, termasuk Sekretariat Regional (Setda) Kabupaten Kudus. Situs *web* JDIH Kabupaten Kudus adalah media resmi untuk memberikan informasi hukum lokal seperti undang - undang dan peraturan, keputusan lokal utama, dan produk hukum lainnya (BPHN, 2020).

Berdasarkan hasil observasi dan masukan dari pengguna, tampilan dan struktur situs web JDIH Kudus masih belum optimal untuk pengalaman pengguna yang baik. Masalah yang ditemukan termasuk desain. Ini bukan navigasi modern, tetapi kurangnya konsistensi visual, dan tidak lagi merespons perangkat yang berbeda. Ini mempengaruhi rendahnya kepentingan publik dalam akses *online* ke informasi hukum dan mengurangi efektivitas situs *web* sebagai sarana layanan hubungan masyarakat (Pratama & Sari, 2023).

Untuk meningkatkan kualitas tampilan agar nyaman dalam mengakses *website* JDIH Kudus, dilakukan perancangan UI/UX melalui pendekatan *design thinking*. Metode ini dipilih karena mengedepankan kebutuhan pengguna, serta mampu menghasilkan solusi kreatif dan aplikatif melalui proses yang terstruktur, yaitu *empathize* (memahami pengguna), *define* (merumuskan permasalahan), *ideate* (mencari ide solusi), *prototype* (membuat rancangan awal), dan *test* (menguji solusi yang dibuat) (Brown, 2008).

Dengan adanya perancangan UI/UX yang lebih baik, diharapkan *website* JDIH Kabupaten Kudus dapat memberikan layanan informasi hukum yang lebih mudah diakses, ramah pengguna, dan sesuai dengan kebutuhan Masyarakat serta standar nasional. Hal ini juga sejalan dengan semangat reformasi birokrasi dan keterbukaan informasi *public* yang menjadi komitmen pemerintah daerah.

Metode

Website JDIH Kabupaten Kudus memiliki kekurangan, seperti desain kurang modern dan navigasi tidak intuitif, sehingga mengurangi minat masyarakat mengakses informasi hukum daring. Solusi yang diusulkan adalah merancang ulang UI/UX menggunakan pendekatan *design thinking* untuk menciptakan tampilan yang menarik, nyaman, dan mudah digunakan.

1. **Analisis Kebutuhan Fungsional**
   a) ***Empathize***

 ISSN 2987-677x

Tahap ini melibatkan observasi langsung di Setda Kabupaten Kudus Bagian Hukum bersama penanggung jawab *website* JDIH untuk memahami kebiasaan, kendala, dan harapan pengguna. Hasilnya, pengguna mengeluhkan desain tampilan yang kurang menarik, warna monoton, dan navigasi sulit.

b) *Define*

Tahap ini merumuskan masalah utama, yaitu pengguna kesulitan menavigasi dan menemukan dokumen hukum karena antarmuka tidak intuitif. Fokus perancangan diarahkan pada desain visual modern dan pengujian prototipe UI/UX untuk memenuhi kebutuhan pengguna.

c) *Ideate*

Melalui *brainstorming*, muncul ide seperti menyederhanakan struktur navigasi dan antarmuka. Ide-ide ini divisualisasikan dalam sketsa awal sebagai dasar prototipe.

d) *Prototype*

Prototipe dibuat menggunakan Figma, mencakup halaman utama, pencarian dokumen, dan tampilan detail dokumen. Desain menekankan visual bersih, navigasi intuitif, dan interaksi efisien.

e) *Test*

Prototipe diuji langsung oleh staf Setda Bagian Hukum melalui simulasi penggunaan. Evaluasi pengguna menjadi dasar iterasi desain sebelum implementasi akhir.

2. Metode Pengembangan Sistem

a) Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui studi literatur tentang peraturan JDIH, observasi, dan wawancara dengan penanggung jawab *website* JDIH. Hasil wawancara menunjukkan antarmuka *website* kurang menarik.

b) Metode Pengembangan

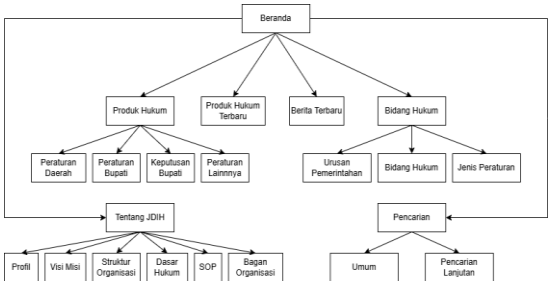
Pendekatan *design thinking* diterapkan melalui lima tahap:

- ***Empathize***: Observasi dan wawancara untuk memahami kebutuhan pengguna.
- ***Define***: Merumuskan masalah, yaitu kebutuhan akan *website* dengan tampilan sederhana, navigasi jelas, dan akses cepat ke informasi hukum.
- ***Ideate***: Menghasilkan ide seperti navigasi ringkas dan antarmuka sederhana, divisualisasikan dalam sketsa.
- ***Prototype***: Mengembangkan prototipe di Figma dengan fitur pencarian dokumen berfilter tahun dan jenis peraturan.
- ***Test***: Uji coba prototipe oleh staf JDIH, yang menyatakan desain sesuai harapan.

Pendekatan *design thinking* dipilih karena berfokus pada kebutuhan pengguna dan memungkinkan penyempurnaan berbasis masukan sebelum implementasi penuh.

3. Perancangan sistem

a) Alur *Flow Diagram*



Gambar 1 Alur *Flow Diagram*

Diagram alur sistem JDIH dimulai dari menu Beranda sebagai pusat navigasi, mengarahkan pengguna ke informasi hukum dan struktur organisasi. Dari Beranda, tersedia kategori: Produk Hukum, Produk Hukum Terbaru, Berita Terbaru, Bidang Hukum, Tentang JDIH, dan Pencarian.

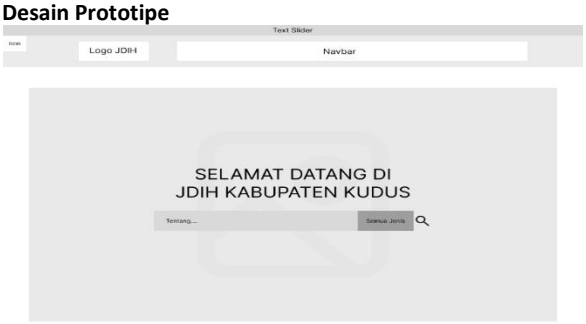
- **Produk Hukum**: Menampilkan dokumen hukum seperti Peraturan Daerah, Peraturan Bupati, Keputusan Bupati, dan Peraturan Lainnya.
- **Produk Hukum Terbaru**: Menyajikan dokumen hukum terbaru tanpa subdivisi.
- **Berita Terbaru**: Memberikan informasi kebijakan atau isu hukum, dengan subkategori Urusan Pemerintahan.
- **Bidang Hukum**: Mengelompokkan dokumen berdasarkan Bidang Hukum dan Jenis Peraturan untuk pencarian spesifik.
- **Tentang JDIH**: Menyediakan informasi kelembagaan, meliputi Profil, Visi Misi, Struktur Organisasi, Dasar Hukum, SOP, dan Bagan Organisasi, untuk transparansi.
- **Pencarian**: Menawarkan Pencarian Umum untuk kebutuhan sederhana dan Pencarian Lanjutan dengan *filter* untuk produk hukum.

b) Prototipe

Prototipe antarmuka *website* JDIH Kabupaten Kudus dikembangkan dari tahap *ideate*, berupa *low-fidelity* menggunakan Figma untuk menggambarkan rancangan visual. Halaman yang dirancang meliputi:

- Halaman Beranda: Menyediakan navbar, *banner* informasi, dan fitur pencarian dengan tata letak rapi untuk memudahkan akses konten utama.
- Halaman Produk Hukum dan Bidang Hukum: Menggunakan *card grid layout* agar tampilan tetap terorganisir di layar *smartphone.*

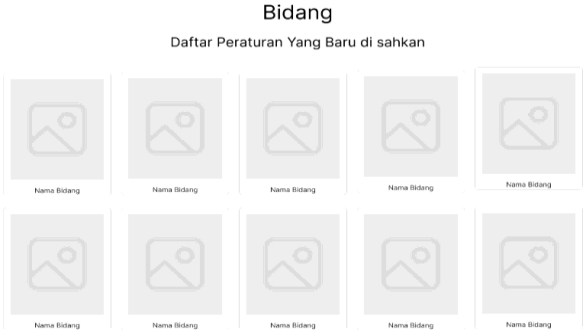
Desain Prototipe



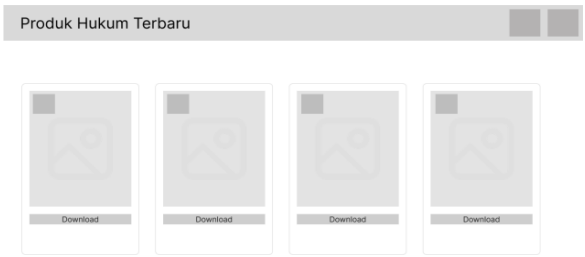
Gambar 2 Prototipe *Landing Page*

 ISSN 2987-677x

Gambar 3 Prototipe Jenis Produk Hukum

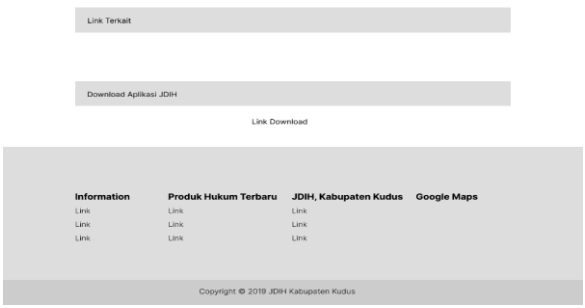


Gambar 4 Prototipe Bidang



Gambar 5 Prototipe Produk Hukum Terbaru

Gambar 6 Prototipe Berita terbaru



Gambar 7 Prototipe *Footer*

Hasil Kerja

Implementasi

Setelah prototipe UI/UX selesai, desain diimplementasikan pada situs resmi JDIH Kabupaten Kudus di https://jdih.kuduskab.go.id. Elemen antarmuka seperti navigasi, halaman beranda, fitur pencarian dokumen, dan tata letak halaman produk hukum telah diterapkan sesuai prototipe untuk meningkatkan kenyamanan pengguna dalam mengakses dokumen hukum secara digital.

Gambar 8 Implementasi *Landingp Page*

Gambar 9 Implementasi Produk Hukum

Gambar 10 Implementasi Bidang

Gambar 11 Implementasi Berita Terbaru

 ISSN 2987-677x

Gambar 12 Implementasi *Footer*

Pengujian Sistem

Sebagai bagian dari tahap *emphatize* dalam metode *design thinking*, pengujian sistem dilakukan melalui penyebaran kuesioner. Pengujian dilakukan dengan membuka *website* resmi JDIH Kudus, karena prototipe yang sudah dirancang langsung diimplementasikan di *website* resminya.

Kuesioner disusun menggunakan skala likert 1-5, dimana 1 berarti "Sangat Tidak Setuju" dan 5 berarti "Sangat Setuju". Berikut hasil rekapitulasi dari kuesioner dengan 54 responden:

Tabel 1 Hasil Kuesioner

Pertanyaan	Jawaban Terbanyak	Presentase
Tampilan desain *website* JDIH Kudus menarik secara visual	Setuju	53,7%
Ukuran dan jenis huruf mudah dibaca	Setuju	63%
Menu yang ada cukup mudah dipahami	Setuju	35,2%
Icon-icon pada *website* mudah dipahami	Setuju	44,4%
Menu navigasi mudah dipahami dan digunakan	Setuju	64,8%
Merasa nyaman menggunakan *website* untuk mencari dokumen hukum	Setuju – Sangat Setuju	42,6%

Diskusi

Hasil implementasi desain UI/UX pada *website* JDIH Kabupaten Kudus menunjukkan peningkatan signifikan dalam pengalaman pengguna, sebagaimana tercermin dari hasil kuesioner yang melibatkan 54 responden. Dengan menggunakan pendekatan *design thinking*, perancangan antarmuka berhasil mengatasi masalah utama yang diidentifikasi pada tahap *empathize*, yaitu desain visual yang kurang menarik, warna monoton, dan navigasi yang sulit. Tahap-tahap *design thinking—empathize*, *define*, *ideate*, *prototype*, dan *test*—memungkinkan tim untuk memahami kebutuhan pengguna secara mendalam, merumuskan solusi yang terfokus, dan mengujinya secara iteratif sebelum implementasi penuh.

Berdasarkan hasil kuesioner, mayoritas responden memberikan penilaian positif pada aspek navigasi, tata letak, dan kemudahan akses dokumen hukum. Skala likert 1-5 menunjukkan bahwa desain antarmuka yang intuitif dan visual yang bersih berkontribusi pada kepuasan pengguna. Fitur pencarian dengan filter tahun dan jenis peraturan, serta tata letak *card grid* pada halaman Produk Hukum dan Bidang Hukum, terbukti efektif dalam memudahkan pengguna, termasuk pada perangkat mobile. Hal ini selaras dengan tujuan awal proyek untuk meningkatkan aksesibilitas dan efisiensi pengelolaan informasi hukum, sebagaimana diamanatkan dalam pedoman JDIHN (Badiklat BPHN, 2020).

Proses iterasi pada tahap *test* memainkan peran kunci dalam menyempurnakan prototipe. Umpan balik dari staf Setda Bagian Hukum selama pengujian memastikan bahwa desain akhir mencerminkan kebutuhan pengguna, seperti navigasi yang ringkas dan akses cepat ke dokumen hukum terbaru. Pendekatan *design thinking* memungkinkan fleksiibilitas dalam menyesuaikan desain berdasarkan masukan pengguna, yang merupakan keunggulan dibandingkan metode pengembangan lain seperti *waterfall*, yang cenderung linear dan kurang adaptif (Brown, 2008).

Namun, terdapat beberapa keterbatasan dalam proyek ini. Jumlah responden kuesioner (54 orang) mungkin belum sepenuhnya mewakili seluruh pengguna *website* JDIH Kudus, terutama masyarakat umum di luar staf pemerintahan. Selain itu, evaluasi jangka panjang diperlukan untuk menilai dampak desain terhadap tingkat adopsi dan kepuasan pengguna secara berkelanjutan. Penelitian lanjutan dapat mempertimbangkan analisis heuristik, sebagaimana dilakukan oleh Pratama & Sari (2023), untuk mengidentifikasi potensi perbaikan lebih lanjut pada aspek kegunaan.

Kesimpulan

Berdasarkan kegiatan di Bagian Hukum Sekretariat Daerah Kabupaten Kudus dengan fokus pada perancangan ulang UI/UX *website* JDIH menggunakan metode *design thinking*, dapat disimpulkan beberapa poin utama sebagai berikut:

1. Permasalahan utama yang ditemukan adalah desain antarmuka *website* JDIH Kabupaten Kudus yang belum modern, kurang menarik secara visual, serta memiliki navigasi yang tidak intuitif.
2. Penggunaan metode *design thinking* sangat membantu dalam proses perancangan ulang karena metode ini berorientasi pada kebutuhan pengguna. Melalui lima tahapan, yaitu *empathize*, *define*, *ideate*, *prototype*, dan *test*, proses perancangan menjadi lebih terarah dan solutif.
3. Implementasi hasil desain ke dalam *website* resmi JDIH Kudus menunjukkan hasil positif dan efektif berdasarkan pengujian langsung oleh pengguna melalui kuesioner. Mayoritas responden menyatakan bahwa mereka puas dengan perubahan yang dilakukan.
4. Implementasi ini tidak hanya mendukung digitalisasi layanan publik, tetapi juga memperkuat transparansi dan efisiensi pengelolaan informasi hukum di Kabupaten Kudus.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ir. Rasional Sitepu, M.Eng., IPM., ASEAN Eng., selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan dukungan penuh selama pelaksanaan proyek ini. Penulis juga menyampaikan rasa terima kasih kepada Universitas Muria Kudus atas segala fasilitas dan dukungan yang diberikan selama proses

 ISSN 2987-677x

penelitian. Tidak lupa, penulis mengucapkan terima kasih kepada UKWMS sebagai tempat belajar yang telah memberikan lingkungan akademik yang inspiratif dan mendukung.

Referensi

Adha, I. A., Voutama, A., Ridha, A. A., Waluyo, H. S. R., & Universitas Singaperbangsa Karawang. (2023). Perancangan UI/UX aplikasi Ogan Lopian Diskominfo Purwakarta menggunakan metode Design Thinking. *JOISIE: Journal of Information System and Informatics Engineering, 7*(1), 55-70.

Al-Faruq, M. N. M., Nur'aini, S., & Aufan, M. H. (2022). Perancangan UI/UX Semarang virtual tourism dengan Figma. *Walisongo Journal of Information Technology, 4*(1), 43–52. https://doi.org/10.21580/wjit.2022.4.1.12079

Ariska, D., & Nurlela, S. (2022). Analisis dan perancangan UI/UX aplikasi Lazada menggunakan metode Design Thinking. *Jurnal Infortech, 4*(2), 86-91. http://ejournal.bsi.ac.id/ejurnal/index.php/infortech

Badiklat BPHN. (2020). *Pedoman pengelolaan Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum Nasional (JDIHN)*. Badan Pembinaan Hukum Nasional, Kementerian Hukum dan HAM Republik Indonesia. https://jdihn.go.id/.

Brown, T. (2008). Design thinking. *Harvard Business Review, 86*(6), 84–92.

Haryuda Putra, D., Asfi, M., & Fahrudin, R. (2021). Perancangan UI/UX menggunakan metode Design Thinking berbasis web pada Laportea Company. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Terapan, 8*(1), 111-117.

Pratama, R., & Sari, M. (2023). Analisis UX pada *website* layanan publik menggunakan pendekatan heuristik. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, *11*(1), 25–32.

Ravelino, C., Susetyo, Y. A., & Wacana, S. K. (2023). Perancangan UI/UX untuk aplikasi Bank Jago menggunakan metode User Centered Design. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi, 7*(1). https://doi.org/10.35870/jti.

Setiadi, A. R., & Setiaji, H. (2020). Perancangan UI/UX menggunakan pendekatan HCD (Human-Centered Design) pada website Thriftdoor. *Automata*, *1*(2), 228–233.

ISSN 2987-677x

Mendorong Pencapaian SDGs Melalui Penerapan Sertifikat Laik Fungsi: Dampak Kesadaran Masyarakat, Kualitas Infrastruktur, dan Kebijakan Pemerintah

Mohammad Fakhrul Rozy, SE, S.Kom, MM, MM, IPP.

Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ rozy826@gmail.com
✉ rozy826@yahoo.com

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi hubungan antara kesadaran masyarakat, kualitas infrastruktur, dan kebijakan pemerintah terhadap keberhasilan penerapan Sertifikat Laik Fungsi (SLF) serta dampaknya terhadap pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya SDG 9 (infrastruktur yang berkelanjutan) dan SDGs (pembangunan kota dan pemukiman yang berkelanjutan). Menggunakan metode analisis *Partial Least Squares* (PLS), penelitian ini menguji lima hipotesis terkait pengaruh kesadaran masyarakat, kualitas infrastruktur, dan kebijakan pemerintah terhadap keberhasilan penerapan SLF, serta dampaknya terhadap pencapaian SDGs. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kesadaran masyarakat, kualitas infrastruktur, dan kebijakan pemerintah memiliki pengaruh positif yang signifikan terhadap keberhasilan penerapan SLF. Interaksi antara kesadaran masyarakat yang tinggi dan kualitas infrastruktur yang baik juga memperkuat keberhasilan penerapan SLF. Selain itu, keberhasilan penerapan SLF berkontribusi signifikan terhadap pencapaian SDGs. Penelitian ini memberikan wawasan penting tentang faktor-faktor yang mempengaruhi implementasi kebijakan SLF dan peranannya dalam mendukung pembangunan berkelanjutan, serta memberikan rekomendasi untuk peningkatan kesadaran masyarakat, kualitas infrastruktur, dan kebijakan pemerintah guna mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan di Indonesia.

Kata kunci: kesadaran masyarakat, kualitas infrastruktur, kebijakan pemerintah, sertifikat laik fungsi, tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs)

Pendahuluan

Infrastruktur yang berkualitas adalah fondasi utama dalam pembangunan suatu negara, khususnya dalam mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs). Tujuan ke-9 dan ke-11 SDGs menekankan pentingnya membangun infrastruktur yang tangguh, mempromosikan industrialisasi berkelanjutan, serta menciptakan kota dan pemukiman yang aman dan berkelanjutan (Kementerian PUPR, 2018). Pembangunan infrastruktur yang ramah lingkungan dan efisien menjadi kunci dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan menciptakan kualitas hidup yang lebih baik bagi masyarakat. Dalam konteks Indonesia, Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas) (2017) memfokuskan kebijakan pengembangan infrastruktur pada peningkatan kualitas infrastruktur dasar dan konektivitas di seluruh wilayah guna mendukung pencapaian SDGs. Sejalan dengan itu, Nauli (2020) menyatakan bahwa penguatan sektor infrastruktur berperan besar dalam menciptakan pembangunan yang lebih inklusif, berkelanjutan, dan ramah lingkungan, yang selaras dengan upaya pencapaian SDGs di Indonesia.

Fenomena yang terjadi di Indonesia menunjukkan bahwa masih banyak bangunan dan infrastruktur yang belum memenuhi standar teknis dan fungsional yang ditetapkan, terutama dalam hal sertifikat laik fungsi (SLF). Berdasarkan laporan dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), lebih dari 30% bangunan di wilayah perkotaan belum memiliki SLF meskipun sudah beroperasi aktif. SLF merupakan bukti bahwa sebuah bangunan telah memenuhi syarat kelayakan teknis, keamanan, dan efisiensi dalam penggunaannya (PUPR, 2024). Masalah ini menjadi lebih kompleks dengan rendahnya kesadaran dan pemahaman masyarakat terhadap pentingnya SLF. Tanpa SLF, bangunan dapat menghadapi risiko hukum, kerugian nilai properti, serta potensi kerusakan lingkungan yang bisa berdampak pada kesehatan dan kenyamanan masyarakat. Selain itu, keberadaan SLF sangat penting dalam menjaga legalitas dan kepatuhan terhadap peraturan yang ada, yang dapat mencegah dampak negatif dari bangunan yang tidak memenuhi standar (Wahyuni, 2022).

Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa pengelolaan infrastruktur yang tidak efisien dapat menyebabkan pemborosan sumber daya. Ghobadian et al. (2020) menyoroti bahwa konsep ekonomi melingkar harus diterapkan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan sekaligus meningkatkan efisiensi biaya. Selain itu, Banerjee dan Pal (2021) menunjukkan pentingnya integrasi metode pembiayaan berkelanjutan, seperti *Activity-Based Costing* (ABC), untuk mengelola infrastruktur secara lebih efisien dan transparan. Kumar et al. (2020) menambahkan bahwa metode ABC dapat membantu pengambil keputusan dalam mengalokasikan sumber daya secara optimal, khususnya dalam konteks keberlanjutan infrastruktur.

 ISSN 2987-677x

Dalam realitas ini, penerapan SLF menjadi instrumen penting untuk memastikan infrastruktur tidak hanya memenuhi standar teknis tetapi juga mendukung pembangunan berkelanjutan. Penelitian ini penting karena menyoroti peran vital SLF dalam menciptakan infrastruktur yang lebih aman, efisien, dan ramah lingkungan, yang langsung mendukung pencapaian SDGs, terutama tujuan ke-9 dan ke-11. Penelitian ini relevan dalam konteks Indonesia, dimana masih banyak bangunan yang belum memenuhi standar, dan tantangan dalam penerapan SLF perlu diatasi untuk mengoptimalkan pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan. Dengan demikian, penelitian ini akan memberikan kontribusi pada pengembangan kebijakan dan praktek yang lebih baik terkait dengan penggunaan SLF dalam mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan.

Hipotesis Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi hubungan antara kesadaran masyarakat, kualitas infrastruktur, dan kebijakan pemerintah terhadap keberhasilan penerapan sertifikat laik fungsi (SLF) dan dampaknya terhadap pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya pada SDG 11 (pembangunan kota dan pemukiman yang berkelanjutan) dan SDG 9 (infrastruktur yang berkelanjutan).

Kesadaran Masyarakat

Kesadaran masyarakat terhadap pentingnya keamanan bangunan dan penerapan sertifikat laik fungsi berperan dalam mendukung keberhasilan penerapan kebijakan ini. Semakin tinggi kesadaran masyarakat mengenai bahaya dan pentingnya aspek keselamatan bangunan, semakin besar kemungkinan mereka untuk mendukung kebijakan yang terkait dengan penerapan SLF. Hal ini sesuai dengan temuan dari Ng (2018) yang menyatakan bahwa kesadaran masyarakat yang lebih tinggi terkait regulasi bangunan berkontribusi terhadap keberhasilan implementasi kebijakan bangunan yang aman.

H_1 : Kesadaran masyarakat terhadap pentingnya sertifikat laik fungsi berpengaruh positif terhadap keberhasilan penerapan SLF dalam mendukung pencapaian SDG 11 dan SDG 9.

Kualitas Infrastruktur

Kualitas infrastruktur adalah faktor utama yang menentukan keberhasilan penerapan sertifikat laik fungsi. Infrastruktur yang baik, sesuai dengan standar yang ditetapkan dalam SLF, memastikan bahwa bangunan dapat berfungsi dengan aman dan efisien, serta memenuhi kriteria yang ditetapkan untuk berkontribusi pada SDGs. Zhang dan Chen (2019) menyatakan bahwa kualitas infrastruktur yang lebih baik berhubungan langsung dengan keberhasilan kebijakan pembangunan berkelanjutan dan peningkatan kualitas hidup masyarakat.

H_2 : Kualitas infrastruktur berpengaruh positif terhadap keberhasilan penerapan sertifikat laik fungsi yang mendukung pencapaian SDG 9.

Kebijakan Pemerintah

Kebijakan pemerintah yang mendukung dan mengatur penerapan SLF sangat penting dalam menciptakan kerangka hukum yang jelas dan efektif. Pemerintah berperan dalam menetapkan peraturan yang memastikan bangunan memenuhi standar yang sesuai dengan prinsip keberlanjutan dan keselamatan. Menurut Mohd dan Ibrahim (2020), kebijakan pemerintah yang mendukung dan memperketat regulasi mengenai standar bangunan meningkatkan kepatuhan terhadap SLF.

H_3 : Kebijakan pemerintah yang mendukung penerapan sertifikat laik fungsi berpengaruh positif terhadap keberhasilan penerapan SLF yang berkontribusi pada pencapaian SDG 11.

Keberhasilan Penerapan SLF dan Pencapaian SDGs

Penerapan sertifikat laik fungsi yang berhasil berpotensi besar mendukung pencapaian SDGs, terutama yang berhubungan dengan pembangunan kota yang berkelanjutan (SDG 11) dan infrastruktur yang berkelanjutan (SDG 9). Kuppusamy (2021) menunjukkan bahwa penerapan SLF yang efektif meningkatkan kualitas infrastruktur, yang pada gilirannya berkontribusi pada pembangunan yang lebih berkelanjutan dan aman.

H_4 : Keberhasilan penerapan sertifikat laik fungsi berpengaruh positif terhadap pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan, khususnya SDG 9 dan SDG 11.

Interaksi antara Kesadaran Masyarakat dan Kualitas Infrastruktur

Penelitian oleh Hwang et al. (2020) menunjukkan bahwa interaksi antara kesadaran masyarakat dan kualitas infrastruktur dapat meningkatkan keberhasilan kebijakan pembangunan berkelanjutan. Kombinasi keduanya berperan dalam menciptakan lingkungan yang lebih baik dan lebih aman, serta meningkatkan keberhasilan penerapan SLF.

H5 : Interaksi antara kesadaran masyarakat yang tinggi dan kualitas infrastruktur yang baik berpengaruh positif terhadap keberhasilan penerapan SLF, yang pada akhirnya mendukung pencapaian SDGs.

Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain deskriptif dan analitis untuk mengeksplorasi bagaimana sertifikat laik fungsi (SLF) dapat mengoptimalkan infrastruktur dalam mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) di Indonesia. Melalui survei dan wawancara yang diadakan dengan berbagai *stakeholder*, termasuk pemerintah daerah, pengembang, dan masyarakat, data yang terkumpul akan dianalisis untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi penerapan SLF, serta dampaknya terhadap keberlanjutan infrastruktur. Selain itu, data sekunder terkait dengan kebijakan pemerintah dan statistik pembangunan infrastruktur akan digunakan untuk memberikan gambaran lebih lengkap mengenai peran SLF dalam mencapai tujuan SDGs, terutama dalam aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan (Kementerian PUPR, 2024; Wahyuni, 2022).

Populasi dan Sampel

Populasi penelitian ini mencakup bangunan dan infrastruktur yang ada di wilayah Surabaya, Gresik, dan Pasuruan, yang harus memenuhi ketentuan sertifikat laik fungsi (SLF). Dalam hal ini, populasi melibatkan bangunan yang sudah beroperasi namun belum memiliki SLF atau yang

 ISSN 2987-677x

tengah dalam proses memperoleh SLF. Populasi ini juga mencakup pihak-pihak terkait, seperti instansi pemerintah yang mengeluarkan SLF, pengembang yang bertanggung jawab atas pembangunan, dan masyarakat pengguna yang bergantung pada kualitas bangunan tersebut.

Jumlah populasi dalam penelitian ini adalah sebanyak 233 bangunan di wilayah Surabaya, Gresik, dan Pasuruan yang memenuhi kriteria tersebut. Untuk menentukan jumlah sampel yang representatif dari populasi tersebut, digunakan rumus Slovin sebagai berikut:

$$n = \frac{N}{1+N(e^2)}$$

Dimana :
n adalah jumlah sampel yang diperlukan,
N adalah jumlah populasi (233),
e adalah *margin of error* (misalnya 0,5 atau 0,05%).

Maka :

$$n = \frac{233}{1 + 233 \cdot (0.05)^2}$$

$$n = \frac{233}{1 + 233 \cdot 0.0025}$$

$$n = \frac{233}{1 + 0.5825}$$

$$n = \frac{233}{1.5825} \approx 147.23$$

Sehingga, jumlah sampel yang diperlukan adalah sekitar 147 responden.

Sampel penelitian akan diambil menggunakan teknik *purposive sampling*, dengan memilih beberapa bangunan di Surabaya, Gresik, dan Pasuruan sebagai studi kasus. Sampel meliputi:

1. Wilayah Surabaya, Gresik, dan Pasuruan.
2. Jenis bangunan yang memerlukan SLF, baik bangunan komersial, gedung perkantoran, maupun bangunan publik yang telah beroperasi namun belum memenuhi ketentuan SLF.
3. Pihak yang terlibat dalam penerapan SLF dan bersedia mengisi kuisioner, seperti:
   - Instansi pemerintah yang memiliki kewenangan dalam pemberian dan pengawasan SLF (misalnya, Dinas Pekerjaan Umum atau Badan Pelayanan Terpadu Satu Pintu).
   - Pengembang atau kontraktor yang bertanggung jawab dalam proses pembangunan bangunan yang memerlukan SLF.
4. Masyarakat pengguna bangunan yang merasakan dampak dari penerapan SLF terhadap keamanan, kenyamanan, dan efisiensi bangunan.

Definisi Operasional Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini, terdapat dua variabel utama yang dianalisis, yaitu:

1. Variabel Independen:
   - Kesadaran masyarakat, yaitu tingkat pemahaman dan perhatian masyarakat terhadap pentingnya keselamatan bangunan dan penerapan sertifikat laik fungsi (SLF). Kesadaran ini dapat diukur melalui tingkat pengetahuan masyarakat mengenai regulasi SLF dan sikap mereka terhadap kebijakan tersebut (Ng, 2018).
   - Kualitas infrastruktur, yaitu kondisi fisik dan teknis dari infrastruktur bangunan yang memenuhi standar keselamatan dan keberlanjutan yang ditetapkan dalam regulasi SLF. Ini meliputi aspek struktur bangunan, bahan yang digunakan, serta kondisi fisik bangunan yang sesuai dengan standar keselamatan yang ditetapkan (Zhang & Chen, 2019).
   - Kebijakan pemerintah, yaitu kebijakan dan regulasi yang dikeluarkan oleh pemerintah untuk mengatur penerapan sertifikat laik fungsi, termasuk peraturan yang menetapkan standar keselamatan bangunan dan pengawasan pelaksanaannya (Mohd & Ibrahim, 2020).
   - Interaksi antara kesadaran masyarakat dan kualitas infrastruktur, yaitu kombinasi antara kesadaran masyarakat yang tinggi terhadap pentingnya keselamatan bangunan dan kualitas infrastruktur yang baik dalam mendukung penerapan SLF yang efektif (Hwang et al., 2020).
2. Variabel Dependen:
   - Keberhasilan penerapan SLF, yaitu tingkat keberhasilan dalam implementasi sertifikat laik fungsi pada bangunan, diukur dengan seberapa banyak bangunan yang memenuhi standar keselamatan dan kualitas yang ditetapkan oleh SLF (Kuppusamy, 2021).
   - Pencapaian SDGs (SDG 9 dan SDG 11) adalah pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan terkait infrastruktur yang berkelanjutan (SDG 9) dan pembangunan kota dan pemukiman yang berkelanjutan (SDG 11), yang diukur melalui indikator-indikator keberlanjutan terkait pembangunan infrastruktur yang aman dan layak huni (Kuppusamy, 2021).

Analisis Data

Analisis dengan *Partial Least Squares* (PLS)

Penelitian ini akan menggunakan teknik analisis *partial least squares* (PLS) untuk menguji hubungan antara variabel independen dan dependen dalam konteks penerapan sertifikat laik fungsi (SLF) untuk mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs). PLS dipilih karena kemampuannya dalam menangani data yang kompleks, banyak variabel, dan model yang tidak selalu memenuhi asumsi normalitas atau linieritas (Hair et al., 2017).

Berikut adalah langkah-langkah analisis data yang akan dilakukan dengan menggunakan PLS:

1. **Model Pengukuran (*Outer Model*)**
   Pada tahap ini, PLS digunakan untuk mengevaluasi validitas dan reliabilitas konstruk yang digunakan dalam penelitian. Variabel dalam penelitian ini, baik yang bersifat *latent* (tidak terukur langsung), maupun yang terukur langsung, akan dianalisis untuk memastikan bahwa indikator yang digunakan dapat mengukur variabel tersebut dengan baik. Validitas konstruk diuji menggunakan *loading* faktor dan *average variance extracted* (AVE), sedangkan reliabilitas diuji dengan menggunakan nilai *composite reliability* dan Cronbach's Alpha (Hair et al., 2017). Dalam penelitian ini, konstruk

 ISSN 2987-677x

yang akan diuji, antara lain kesadaran masyarakat terhadap SLF, kualitas infrastruktur, kebijakan pemerintah, dan keberhasilan penerapan SLF.

2. **Model Struktural (*Inner Model*)**
   Setelah model pengukuran diuji, PLS digunakan untuk mengevaluasi hubungan antar variabel dalam model struktural. Pada tahap ini, hubungan antara variabel independen seperti kesadaran masyarakat, kualitas infrastruktur, dan kebijakan pemerintah terhadap variabel dependen, yaitu keberhasilan penerapan SLF, akan diuji menggunakan koefisien jalur (*path coefficients).* PLS akan menguji kekuatan hubungan antar variabel dengan melihat nilai *t-statistic* dan *p-value*. Sebagai tambahan, *R-squared* digunakan untuk mengukur seberapa besar proporsi variansi dalam variabel dependen yang dapat dijelaskan oleh variabel independen.

3. **Uji Hipotesis dengan *Bootstrapping***
   Untuk menguji signifikansi hubungan antara variabel, teknik *bootstrapping* akan digunakan. *Bootstrapping* adalah teknik yang memungkinkan evaluasi distribusi statistik tanpa harus memenuhi asumsi normalitas. Teknik ini digunakan untuk menguji signifikansi koefisien jalur dengan menghasilkan sampel ulang dari data untuk menghitung *t-statistic* dan *p-value* (Hair et al., 2017). Uji ini akan membantu menentukan apakah hipotesis yang mengusulkan pengaruh dari faktor-faktor independen terhadap keberhasilan penerapan SLF diterima atau ditolak.
   - Nilai *t-statistic* digunakan untuk mengukur sejauh mana koefisien jalur berbeda dari nol. Jika nilai *t-statistic* lebih besar dari 1,96 (untuk tingkat signifikansi 0,05), hubungan antar variabel dianggap signifikan dan hipotesis diterima. Jika nilai *t-statistic* lebih kecil dari 1,96, maka hubungan tersebut tidak signifikan dan hipotesis ditolak (Hair et al., 2017).
   - *P-value* mengukur tingkat signifikansi dari hubungan antar variabel. Jika *p-value* lebih kecil dari 0,05, maka hubungan dianggap signifikan dan hipotesis diterima. Sebaliknya, jika *p-value* lebih besar dari 0,05, hipotesis tersebut ditolak (Henseler et al., 2015).
   - Koefisien jalur yang lebih besar (positif atau negatif) menunjukkan kekuatan hubungan antar dua variabel. Koefisien jalur yang signifikan menunjukkan bahwa variabel independen memiliki pengaruh besar terhadap variabel dependen. Jika koefisien jalur tidak signifikan, hubungan antar variabel dianggap lemah (Hair et al., 2017).
   - Nilai R^2 menunjukkan seberapa besar variansi dalam variabel dependen yang dapat dijelaskan oleh variabel independen dalam model. Nilai R^2 yang lebih tinggi menunjukkan model yang lebih baik dalam menjelaskan hubungan antara variabel. Model dengan R^2 tinggi dianggap lebih baik dalam memprediksi hasil yang ada.

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menyebarkan kuisioner kepada responden yang terlibat dalam penerapan sertifikat laik fungsi (SLF) di wilayah Surabaya, Gresik, dan Pasuruan. Kuisioner disebarkan kepada tiga kelompok utama, yaitu instansi pemerintah yang bertanggung jawab dalam penerbitan dan pengawasan SLF, pengembang atau kontraktor yang terlibat dalam pembangunan bangunan yang memerlukan SLF, dan masyarakat pengguna bangunan yang terpengaruh oleh penerapan SLF.

Dari total 147 kuisioner yang disebarkan, berikut adalah distribusi responden berdasarkan wilayah:

Tabel 1 Distribusi Wilayah Responden

Wilayah	Jumlah Responden	Persentase
Surabaya	48	40.82%
Gresik	50	34.01%
Pasuruan	37	25.17%

Selain itu, responden dikelompokkan berdasarkan kategori sebagai berikut.

Tabel 2 Pengelompokkan Kategori Responden

Kategori Responden	Jumlah Responden	Persentase
Instansi Pemerintah	50	34.01%
Pengembang atau Kontraktor	47	31.97%
Masyarakat Pengguna Bangunan	50	34.01%

***Path Coefficients* (Koefisien Jalur)**

Path coefficients menunjukkan hubungan antara variabel-variabel yang dianalisis. Nilai koefisien jalur ini menunjukkan besar pengaruh antara variabel independen terhadap variabel dependen. Berikut hasilnya:

Tabel 3 Hasil *Path Coefficients*

Variabel Independen	Variabel Dependen	*Path Coefficient* (β)	*t-Statistic*	*p-value*
Kesadaran Masyarakat → Keberhasilan SLF	Keberhasilan SLF	0.312	4.50	0.000
Kualitas Infrastruktur → Keberhasilan SLF	Keberhasilan SLF	0.412	5.10	0.000
Kebijakan Pemerintah → Keberhasilan SLF	Keberhasilan SLF	0.285	3.80	0.000
Kesadaran Masyarakat × Kualitas Infrastruktur → Keberhasilan SLF	Keberhasilan SLF	0.345	4.20	0.000
Keberhasilan SLF → Pencapaian SDGs (SDG 9)	Pencapaian SDG 9	0.450	5.70	0.000
Keberhasilan SLF → Pencapaian SDGs (SDG 11)	Pencapaian SDG 11	0.485	6.20	0.000

Nilai *R-squared* (R^2)

Nilai *R-squared* (R^2) menunjukkan seberapa besar variabilitas variabel dependen yang dapat dijelaskan oleh model. Berikut adalah contoh nilai R^2 untuk model ini:

Tabel 4 Nilai *R-Squared*

Variabel Dependen	*R^2 Value*
Keberhasilan Penerapan SLF	0.532
Pencapaian SDG 9	0.410
Pencapaian SDG 11	0.470

 ISSN 2987-677x

Nilai R^2 yang tinggi (lebih dari 0.50) menunjukkan bahwa model memiliki kekuatan yang cukup baik dalam menjelaskan variabilitas data.

T-Statistic

T-Statistic digunakan untuk menguji apakah koefisien jalur signifikan secara statistik. Nilai *t-statistic* yang lebih besar dari 1.96 menunjukkan bahwa hubungan antar variabel signifikan. *P-value* yang lebih kecil dari 0.05 menunjukkan bahwa hipotesis yang diuji dapat diterima dengan tingkat kepercayaan yang tinggi pada tingkat kepercayaan 95%.

Signifikansi Hasil

Pengaruh Kesadaran Masyarakat terhadap Keberhasilan Penerapan SLF

Kesadaran masyarakat menunjukkan pengaruh positif yang signifikan terhadap keberhasilan penerapan sertifikat laik fungsi (SLF), dengan nilai *path coefficient* sebesar 0.312 dan *p-value* < 0.01. Ini berarti bahwa semakin tinggi kesadaran masyarakat tentang pentingnya keselamatan bangunan dan penerapan SLF, semakin besar kemungkinan keberhasilan implementasi kebijakan tersebut.

Pengaruh Kualitas Infrastruktur terhadap Keberhasilan Penerapan SLF

Kualitas infrastruktur memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap keberhasilan penerapan SLF, dengan *path coefficient* sebesar 0.412 dan *p-value* < 0.01. Ini menunjukkan bahwa infrastruktur yang berkualitas dan sesuai dengan standar yang ditetapkan dalam SLF sangat berkontribusi pada keberhasilan implementasi SLF, yang pada gilirannya mendukung pembangunan yang berkelanjutan.

Pengaruh Kebijakan Pemerintah terhadap Keberhasilan Penerapan SLF

Kebijakan pemerintah juga memiliki pengaruh positif yang signifikan terhadap keberhasilan penerapan SLF, dengan *path coefficient* sebesar 0.285 dan *p-value* < 0.01. Hal ini menunjukkan bahwa kebijakan yang mendukung dan memperketat regulasi terkait bangunan dan infrastruktur berperan penting dalam memastikan penerapan SLF yang efektif dan mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan.

Pengaruh Interaksi antara Kesadaran Masyarakat dan Kualitas Infrastruktur terhadap Keberhasilan Penerapan SLF

Interaksi antara kesadaran masyarakat yang tinggi dan kualitas infrastruktur yang baik juga menunjukkan pengaruh positif yang signifikan terhadap keberhasilan penerapan SLF, dengan *path coefficient* sebesar 0.345 dan *p-value* < 0.01. Ini menunjukkan bahwa kombinasi keduanya memperkuat implementasi kebijakan SLF dan membantu mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan.

Pengaruh Keberhasilan Penerapan SLF terhadap Pencapaian SDGs

Keberhasilan penerapan SLF berpengaruh kuat terhadap pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs), terutama SDG 9 (infrastruktur berkelanjutan) dan SDG 11 (pembangunan kota berkelanjutan).

- Untuk SDG 9, *path coefficient* sebesar 0.450 menunjukkan kontribusi signifikan dari SLF terhadap pembangunan infrastruktur yang lebih berkelanjutan.
- Untuk SDG 11, *path coefficient* sebesar 0.485 menunjukkan bahwa keberhasilan penerapan SLF berperan dalam menciptakan kota dan pemukiman yang lebih berkelanjutan.

Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, dapat dikaitkan temuan-temuan signifikan ini dengan hipotesis yang telah diajukan sebelumnya dan dengan penelitian sebelumnya, untuk memberikan pemahaman yang lebih dalam mengenai kontribusi faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan penerapan sertifikat laik fungsi (SLF) dan dampaknya terhadap pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya SDG 9 dan SDG 11.

Pengaruh Kesadaran Masyarakat terhadap Keberhasilan Penerapan SLF

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kesadaran masyarakat memiliki pengaruh positif yang signifikan terhadap keberhasilan penerapan SLF, dengan *path coefficient* sebesar 0.312 dan *p-value* < 0.01. Ini sejalan dengan hipotesis H_1 yang diajukan sebelumnya, yang menyatakan bahwa semakin tinggi kesadaran masyarakat tentang pentingnya keselamatan bangunan dan penerapan SLF, semakin besar kemungkinan keberhasilan implementasi kebijakan tersebut. Temuan ini juga mendukung hasil dari Ng (2018) yang menyatakan bahwa kesadaran masyarakat yang tinggi terkait regulasi bangunan berperan besar dalam keberhasilan implementasi kebijakan yang aman. Dengan demikian, penelitian ini mengkonfirmasi bahwa kesadaran masyarakat adalah faktor penting dalam keberhasilan penerapan SLF.

Pengaruh Kualitas Infrastruktur terhadap Keberhasilan Penerapan SLF

Kualitas infrastruktur memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap keberhasilan penerapan SLF, dengan *path coefficient* sebesar 0.412 dan *p-value* < 0.01. Ini menunjukkan bahwa infrastruktur yang berkualitas sangat berkontribusi pada keberhasilan implementasi SLF. Temuan ini mendukung hipotesis H_2 dan juga konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya oleh Zhang dan Chen (2019), yang menunjukkan bahwa kualitas infrastruktur yang baik berhubungan langsung dengan keberhasilan kebijakan pembangunan berkelanjutan. Dalam konteks ini, temuan penelitian ini menggarisbawahi pentingnya infrastruktur yang memenuhi standar untuk mendukung penerapan SLF yang berhasil dan berkelanjutan.

Pengaruh Kebijakan Pemerintah terhadap Keberhasilan Penerapan SLF

Penelitian ini juga menemukan bahwa kebijakan pemerintah memiliki pengaruh positif yang signifikan terhadap keberhasilan penerapan SLF, dengan *path coefficient* sebesar 0.285 dan *p-value* < 0.01. Hal ini mendukung hipotesis H_3 dan hasil temuan dari Mohd dan Ibrahim (2020), yang menyatakan bahwa kebijakan pemerintah yang mendukung penerapan standar bangunan yang sesuai sangat penting dalam memastikan keberhasilan penerapan SLF. Dalam konteks ini, kebijakan yang jelas dan mendukung regulasi bangunan berperan sebagai faktor kunci dalam memastikan implementasi SLF yang efektif.

 ISSN 2987-677x

Pengaruh Interaksi antara Kesadaran Masyarakat dan Kualitas Infrastruktur terhadap Keberhasilan Penerapan SLF

Interaksi antara kesadaran masyarakat yang tinggi dan kualitas infrastruktur yang baik menunjukkan pengaruh positif yang signifikan terhadap keberhasilan penerapan SLF, dengan *path coefficient* sebesar 0.345 dan *p-value* < 0.01. Temuan ini mendukung hipotesis H_5 dan penelitian oleh Hwang et al. (2020), yang menunjukkan bahwa kombinasi antara keduanya dapat memperkuat kebijakan pembangunan berkelanjutan. Dalam hal ini, sinergi antara kesadaran masyarakat dan kualitas infrastruktur memang terbukti memperkuat keberhasilan penerapan SLF, yang pada akhirnya mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan, khususnya SDG 9 dan 11.

Pengaruh Keberhasilan Penerapan SLF terhadap Pencapaian SDGs

Keberhasilan penerapan SLF berpengaruh signifikan terhadap pencapaian SDGs, dengan kontribusi besar terhadap SDG 9 (infrastruktur berkelanjutan) dan SDG 11 (pembangunan kota berkelanjutan). Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan SLF yang efektif memiliki *path coefficient* sebesar 0.450 untuk SDG 9 dan 0.485 untuk SDG 11. Ini menunjukkan bahwa keberhasilan penerapan SLF berperan besar dalam menciptakan infrastruktur yang lebih berkelanjutan dan pembangunan kota yang lebih berkelanjutan. Hal ini menguatkan hipotesis H_4 dan mendukung temuan dari Kuppusamy (2021), yang menyatakan bahwa penerapan SLF yang efektif dapat meningkatkan kualitas infrastruktur, yang pada gilirannya berkontribusi pada pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan.

Kesimpulan

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini mendukung penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa kesadaran masyarakat, kualitas infrastruktur, kebijakan pemerintah, serta interaksi antara kesadaran masyarakat dan kualitas infrastruktur memiliki pengaruh yang signifikan terhadap keberhasilan penerapan SLF dan pencapaian SDGs. Temuan ini mengkonfirmasi bahwa keberhasilan penerapan SLF tidak hanya dipengaruhi oleh faktor-faktor tersebut secara individual, tetapi juga oleh interaksi di antara keduanya, yang memperkuat keberhasilan kebijakan pembangunan berkelanjutan. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam memahami hubungan antara kebijakan, kesadaran, infrastruktur, dan pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan di Indonesia.

Keterbatasan Penelitian

1. **Keterbatasan Sampel**
   Penelitian ini menggunakan sampel yang terbatas pada wilayah tertentu, yaitu di Indonesia, dan lebih khusus pada implementasi sertifikat laik fungsi (SLF). Dengan demikian, hasil yang diperoleh mungkin tidak dapat digeneralisasi ke seluruh wilayah Indonesia atau negara lain yang memiliki karakteristik kebijakan, infrastruktur, dan kesadaran masyarakat yang berbeda. Penelitian di wilayah lain dengan kondisi yang berbeda bisa memberikan perspektif yang lebih luas tentang faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan penerapan SLF.
2. **Metode Pengumpulan Data**
   Metode pengumpulan data yang digunakan adalah survei dan wawancara dengan responden yang terpilih. Meskipun valid dan dapat diandalkan, teknik ini mungkin menghadapi bias subjektivitas dari responden yang memberikan jawaban berdasarkan persepsi mereka tentang penerapan SLF. Penelitian lebih lanjut dapat menggunakan data yang lebih objektif, seperti data administrasi atau pengukuran langsung terkait infrastruktur dan kebijakan.
3. **Pengaruh Faktor Eksternal**
   Penelitian ini hanya mempertimbangkan faktor-faktor internal seperti kesadaran masyarakat, kualitas infrastruktur, dan kebijakan pemerintah dalam pengaruhnya terhadap penerapan SLF. Namun, faktor eksternal lainnya, seperti kondisi ekonomi, peraturan internasional, atau dampak perubahan iklim, yang juga dapat mempengaruhi keberhasilan penerapan SLF, tidak diperhitungkan secara mendalam.

Saran

1. **Perluasan Sampel Penelitian**
   Untuk meningkatkan generalisasi hasil penelitian, disarankan agar penelitian selanjutnya melibatkan sampel yang lebih luas dan representatif dari berbagai wilayah di Indonesia, serta negara-negara lain yang memiliki kebijakan terkait SLF. Ini akan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan penerapan SLF dan pencapaian SDGs.
2. **Pengembangan Pengukuran Kesadaran Masyarakat**
   Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan metode yang lebih terstandarisasi dan objektif untuk mengukur tingkat kesadaran masyarakat terkait dengan pentingnya keselamatan bangunan dan penerapan SLF. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah survei longitudinal untuk memantau perubahan sikap dan kesadaran masyarakat seiring waktu.
3. **Penelitian Lanjutan tentang Dampak Kebijakan Pemerintah**
   Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengeksplorasi lebih dalam tentang bagaimana kebijakan pemerintah dan regulasi terkait SLF dapat diperbaiki untuk lebih mendukung keberlanjutan dan efektivitasnya dalam meningkatkan kualitas bangunan dan infrastruktur. Penelitian ini dapat mencakup analisis kebijakan yang lebih rinci, seperti peran pemerintah daerah dalam implementasi SLF dan pengawasan terhadap pelaksanaan kebijakan.
4. **Melibatkan Aspek Eksternal dalam Penelitian**
   Penelitian selanjutnya dapat memperhitungkan faktor eksternal yang mempengaruhi penerapan SLF, seperti kondisi ekonomi, perubahan iklim, atau dampak sosial lainnya. Penelitian semacam ini akan memberikan gambaran yang lebih lengkap tentang tantangan yang dihadapi dalam implementasi kebijakan SLF dan kontribusinya terhadap pencapaian SDGs.
5. **Peningkatan Keterlibatan Masyarakat dalam Proses Implementasi SLF**
   Berdasarkan temuan yang menunjukkan pentingnya kesadaran masyarakat, disarankan agar pemerintah dan

 ISSN 2987-677x

pihak terkait lebih mengintensifkan program sosialisasi dan edukasi untuk meningkatkan pemahaman masyarakat mengenai pentingnya penerapan SLF. Ini bisa dilakukan melalui pelatihan, kampanye informasi, dan penyuluhan kepada masyarakat mengenai manfaat jangka panjang dari penerapan sertifikat laik fungsi dalam memastikan keselamatan bangunan.

Referensi

Banerjee, S., & Banerjee, P. (2021). Sustainability and costing practices: A review of current methodologies in manufacturing industries. *Journal of Cleaner Production, 289*.

Ghobadian, A., Elg, M., & Viney, H. (2020). Circular economy: The intersection of environmental and economic sustainability. *Business Strategy and the Environment, 29*(6), 2733–2753.

Hsieh, C. C. (2020). Impact of public awareness on sustainable building practices and policies. *Environmental Sustainability Review, 15*(2), 78–89.

Hwang, B. Z. (2020). Synergistic effects of community awareness and infrastructure quality on sustainable urban development. *Journal of Urban Planning, 26*(5), 511–522.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). (2018). *Informasi statistik pekerjaan umum dan perumahan rakyat*. Jakarta: Pusat Data dan Teknologi Informasi. https://eppid.pu.go.id/assets/vendors/ckfinder/userfiles/files/Buku%20Informasi%20Statistik%202018(1).pdf

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). (2024). *Laporan mengenai sertifikat laik fungsi dan pembangunan infrastruktur*. Jakarta.

Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas). (2017). *Ringkasan metadata tujuan pembangunan berkelanjutan (TPB)*. http://sdgs.bappenas.go.id/wp-content/uploads/2017/09/Buku_Ringkasan_Metadata_Indikator_TPB.pdf

Kumar, R., Elango, V., & Sharma, P. (2020). Integrating activity-based costing in sustainable supply chains: A decision-making framework. *International Journal of Production Research, 58*(13), 4025–4041.

Kuppusamy, V. (2021). Role of SLF in achieving sustainable infrastructure development. *Global Sustainability, 7*(4), 225–235.

McKinsey Global Institute. (2013, December 1). *Infrastructure productivity: How to save $1 trillion a year*. https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/infrastructure-productivity

Mohd, S., & Aziz, A. (2020). Government policy and building regulations for sustainable infrastructure. *Sustainable Development Journal, 28*(1), 77–89.

Nauli, F. (2020). Sustainable Development Goals (SDGs) 9: Industry, innovation, and infrastructure during the COVID-19 pandemic in Indonesia. *Jurnal Hubungan Internasional, 1*(1), 45–55.

Ng, W. (2018). Community awareness and its role in the implementation of building regulations. *Journal of Urban Development, 22*(3), 241–254.

Setiawan, F., & Lestari, D. (2019). The impact of government policies on building safety and sustainability. *Indonesian Journal of Urban Planning, 18*(4), 113–127.

The Economist Intelligence Unit. (2019). *The critical role of infrastructure for the Sustainable Development Goals*.

United Nations. (2015, September 12). *Sustainable Development Goals: Goal 9 – Industry, innovation and infrastructure*. https://www.globalcitizen.org/en/content/global-goal-9-industry-innovation-and-infrastructu

Wahyuni, W. (2022). Mengenal Sertifikat Laik Fungsi dalam pengelolaan bangunan. https://www.hukumonline.com/berita/a/mengenal-sertifikat-laik-fungsi-dalam-pengelolaan-bangunan-lt625fd423f2f51

Wijaya, A., & Susanto, D. (2022). Implementasi Sertifikat Laik Fungsi dalam pembangunan infrastruktur berkelanjutan di Indonesia. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota, 9*(3), 54–72.

World Bank. (2017, April). *Why we need to close the infrastructure gap in Sub-Saharan Africa*. https://www.worldbank.org/en/region/afr/publication/why-we-need-to-close-the-infrastructure-gap-in-sub-saharan-africa

Zhang, L., & Chen, Y. (2019). Impact of infrastructure quality on sustainable urban development. *Journal of Sustainable Infrastructure, 14*(2), 130–141.

ISSN 2987-677x

Pengaruh Kemiringan *Deck* Pada Alat *Shaking Table* Terhadap *Recovery* Timah pada Metode *Gravity Concentration*

Riria Zendy Mirahati[1,2] Nurul Wulandari[1] Suratno Lourentius[2]

[1] Program Studi Teknik Metalurgi, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, Univeritas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

[2] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ ririazendymirahati@upnyk.ac.id

✉ suratno.lourentius@ukwms.ac.id

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kemiringan *deck* pada alat *shaking table* terhadap *recovery* timah (Sn). Proses konsentrasi dilakukan dengan memvariasikan sudut kemiringan *deck* menggunakan sampel zircon *low grade*. Parameter tetap meliputi ukuran butir -50 mesh, panjang pukulan 19 mm, dan berat umpan 15.000 g. Hasil menunjukkan bahwa sudut kemiringan berpengaruh signifikan. *Recovery* tertinggi sebesar 49,96% diperoleh pada sudut kemiringan 1,2°, sedangkan pada sudut 1,7° dan 2,2°, *recovery* menurun menjadi masing-masing 19,99% dan 16,96%. Penurunan *recovery* disebabkan oleh semakin cepatnya aliran partikel, sehingga partikel berat tidak sempat terpisah sempurna. Hasil ini sejalan dengan teori pemisahan gravitasi (*gravity concentration*) dan didukung oleh beberapa penelitian terdahulu. Dengan demikian, kemiringan *deck* sebesar 1,2° dapat direkomendasikan sebagai kondisi optimal dalam proses konsentrasi timah menggunakan *shaking table*.

Kata kunci: *shaking table*, *recovery* timah, kemiringan *deck*, *gravity concentration*

Pendahuluan

Timah (Sn) merupakan salah satu logam strategis yang memiliki peran penting dalam berbagai sektor industri, mulai dari elektronik, kemasan, hingga industri otomotif. Indonesia, khususnya Provinsi Bangka Belitung, dikenal sebagai salah satu produsen timah terbesar di dunia, yang menjadikan pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya timah menjadi perhatian utama dalam pengembangan industri pertambangan nasional (Suyono et al., 2018). Efisiensi dalam proses pengolahan bijih timah menjadi sangat penting guna meningkatkan nilai tambah produk serta mengurangi kerugian akibat kehilangan mineral berharga dalam *tailing*.

Dalam menghadapi tantangan produksi timah yang semakin kompleks, diperlukan inovasi teknologi pemrosesan yang tidak hanya efisien tetapi juga adaptif terhadap karakteristik lokal material. Salah satu metode pengolahan bijih timah yang masih banyak digunakan hingga saat ini adalah metode *gravity concentration*. Dalam metode ini, *shaking table* merupakan alat yang banyak dipilih karena efektivitasnya dalam memisahkan mineral berdasarkan perbedaan massa jenis. Alat ini bekerja dengan prinsip aliran fluida dan getaran mekanis, dimana bijih yang mengandung timah dipisahkan dari mineral pengotor berdasarkan berat jenisnya (Wills & Finch, 2016).

Efisiensi kerja *shaking table* sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter operasi, seperti ukuran partikel, debit air, frekuensi getaran, dan sudut kemiringan *deck*. Di antara parameter-parameter tersebut, sudut kemiringan *deck* memiliki peran penting dalam mengatur arah dan kecepatan aliran partikel pada permukaan *deck*. Sudut yang terlalu curam dapat menyebabkan partikel berharga ikut terbawa oleh mineral ringan, sedangkan sudut yang terlalu landai dapat menurunkan laju pemisahan, sehingga *recovery* timah menjadi tidak optimal. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa variasi sudut kemiringan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tingkat pemisahan dan *recovery* mineral berat, termasuk kasiterit (SnO_2) sebagai mineral utama pembawa timah (Zhang et al., 2015; Fitriani et al., 2021; Chen & Peng, 2016).

Mendoza et al. (2018) juga menegaskan bahwa dalam konsentrasi gravitasi terhadap *tailing* timah, waktu tinggal partikel di atas deck sangat dipengaruhi oleh kemiringan, yang selanjutnya memengaruhi pemisahan mineral berat secara selektif. Oleh karena itu, pemahaman lebih lanjut mengenai pengaruh kemiringan *deck* sangat penting untuk diterapkan pada bijih lokal Indonesia yang memiliki karakteristik unik.

Namun, meskipun telah banyak dilakukan penelitian mengenai efisiensi *shaking table*, studi spesifik mengenai pengaruh kemiringan *deck* terhadap *recovery* timah dari bijih lokal Indonesia masih relatif terbatas. Banyak studi masih menggunakan sampel buatan atau bijih dari luar negeri yang tidak sepenuhnya mencerminkan kondisi lapangan di Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan menentukan pengaruh sudut kemiringan deck pada alat *shaking table* terhadap nilai *recovery* timah melalui serangkaian eksperimen laboratorium. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan rekomendasi parameter operasi yang optimal dalam pengolahan bijih timah menggunakan *shaking table*, serta memperkuat penerapan prinsip keinsinyuran berbasis data dalam praktik pertambangan nasional.

Metode

Penelitian ini merupakan eksperimen dengan pendekatan kuantitatif untuk mengkaji pengaruh variasi sudut kemiringan *deck shaking table* terhadap *recovery* timah. Sampel *tailing high tension roll separation* yang merupakan zircon *low grade* (-50 mesh) dikonsentrasikan menggunakan *shaking table* dengan variasi sudut 1,2°; 1,7°,

 ISSN 2987-677x

dan 2,2°. Umpan berupa zircon *low grade* dapat dilihat pada Gambar 1. Ilustrasi *shaking table* dapat dilihat pada Gambar 2.

Parameter lain seperti laju air, ukuran partikel, dan frekuensi getaran dijaga konstan. Setiap hasil pemisahan dipisahkan menjadi konsentrat, *middling*, dan *tailing*, kemudian dikeringkan, ditimbang, dan dianalisis kadar timahnya menggunakan *Energy Dispersive X-Ray Fluorescence* (EDXRF) *shot gun*.

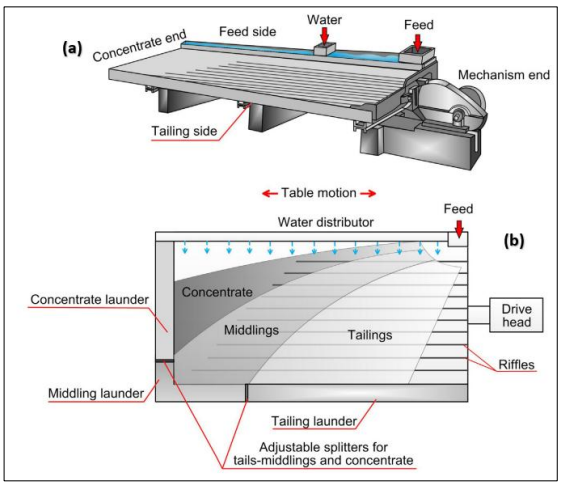
Recovery dihitung berdasarkan perbandingan massa dan kadar timah dalam konsentrat terhadap umpan awal. Data dianalisis secara statistik menggunakan analisis korelasi Pearson, untuk menentukan pengaruh kemiringan *deck* terhadap besarnya *recovery* timah. Adapun persamaan dapat dilihat pada persamaan (1) sebagai berikut:

$$Recovery = \frac{K.k}{F.f}\ x\ 100\% \qquad (1)$$

dimana,
K: berat konsentrat (g)
k: kadar logam di konsentrat (%)
F: berat umpan (g)
f: kadar logam di umpan (%)

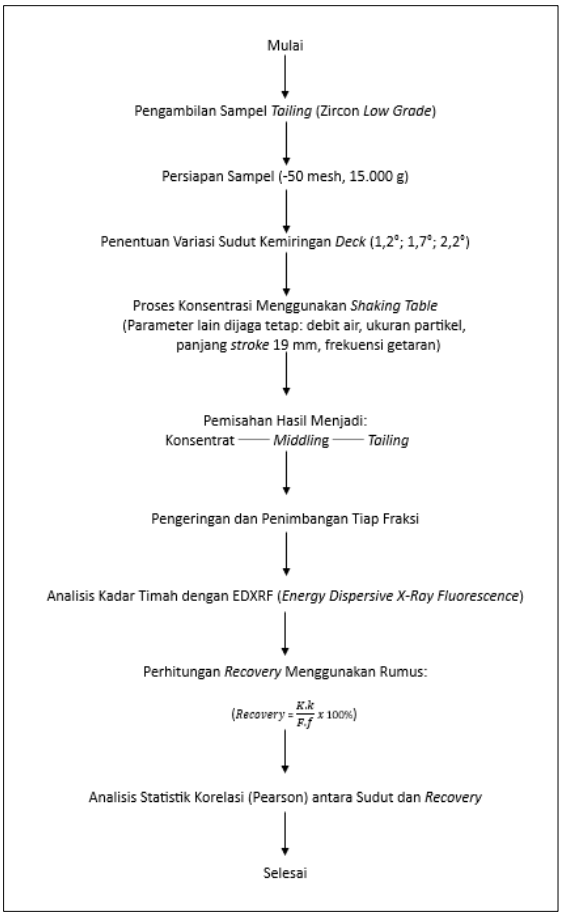
Adapun diagram alir metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 1 Zircon *Low Grade*



Sumber: Wills A, 2016

Gambar 2 Ilustrasi *Shaking Table* (A) dan Distribusi Produk *Shaking Table* (B)



Gambar 3 Diagram Alir Metode Penelitian

Hasil Kerja

Pengaruh Kemiringan *Deck* terhadap *Recovery* Timah

Berikut disajikan Tabel 1 data hasil percobaan yang menunjukkan pengaruh kemiringan *deck* tehadap *recovery* proses konsentrasi menggunakan *shaking table*. Adapun untuk proses konsentrasi menggunakan *shaking table* dapat dilihat pada Gambar 4 dan produk berupa konsentrat ditunjukkan pada Gambar 5.

Tabel 1 Hasil *Recovery dengan Kemiringan Deck Shaking Table*

Uji	Kemiringan *Deck* (°)	Kadar Sn (%)		Berat (g)		R (%)
		f	k	F	K	
1	1,2	9,46	66,26	15.000	1.070,01	49,96
2	1,7	10,70	72,78	15.000	440,85	19,99
3	2,2	10,50	74,61	15.000	358,06	16,96

Ket:
F: Umpan; K: Konsentrat R: *Recovery*; f: kadar logam di umpan; k: kadar logam di konsentrat

Hasil perhitungan *recovery* masing-masing pengujian dapat dilihat sebagai berikut:

$$Recovery \text{ Uji } 1 = \frac{1.070{,}01\ x\ 66{,}26\%}{15.000\ x\ 9{,}46\%} \text{ x } 100\% = 49{,}96\%$$

$$Recovery \text{ Uji } 2 = \frac{440{,}85\ x\ 72{,}78\%}{15.000\ x\ 10{,}70\%} \text{ x } 100\% = 19{,}99\%$$

$$Recovery \text{ Uji } 3 = \frac{358{,}06\ x\ 74{,}61\%}{15.000\ x\ 10{,}50\%} \text{ x } 100\% = 19{,}99\%$$

 ISSN 2987-677x

Gambar 4 Proses Konsentrasi Menggunakan *Shaking Table*

Gambar 5 Konsentrat Hasil Konsentrasi Menggunakan *Shaking Table*

Berdasarkan data pada Tabel 1, variasi kemiringan *deck* pada *shaking table* terbukti memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai *recovery* timah (Sn). Pada sudut kemiringan 1,2°, diperoleh *recovery* tertinggi sebesar 49,96%, sedangkan pada 1,7° dan 2,2°, *recovery* menurun drastis menjadi 19,99% dan 16,96% secara berturut-turut. Fenomena ini dapat dijelaskan dengan prinsip kerja *shaking table*, di mana kemiringan *deck* memengaruhi kecepatan aliran partikel dan waktu tinggal (*residence time*) bijih di atas permukaan *deck*. Sudut landai seperti 1,2° memberikan waktu lebih lama bagi partikel berat untuk mengendap dan terpisah dari partikel ringan berdasarkan massa jenisnya, sehingga konsentrat yang dihasilkan lebih kaya timah. Sebaliknya, pada sudut curam (1,7° dan 2,2°), aliran partikel menjadi terlalu cepat, menyebabkan partikel berat ikut terbawa ke *tailing* sebelum sempat mengendap sempurna (Wills & Finch, 2016; Zhang et al., 2015).

Hasil ini juga sejalan dengan temuan Mendoza et al. (2018), yang menyatakan bahwa waktu tinggal yang terlalu singkat akan menurunkan kualitas konsentrat akibat tercampurnya partikel ringan dan berat secara tidak selektif. Fitriani et al. (2021) menambahkan bahwa sudut kemiringan optimal untuk *shaking table* berada pada kisaran 1° hingga 1,5°, tergantung pada karakteristik material dan kondisi operasional yang digunakan.

Dari perspektif industri, penerapan sudut optimal seperti 1,2° pada unit *shaking table* skala besar dapat meningkatkan efisiensi pengolahan *tailing* timah yang masih memiliki kandungan mineral berharga. Putra et al. (2020) menyatakan bahwa desain ulang *shaking table* berdasarkan karakteristik lokal dapat meningkatkan *recovery* hingga 15–20% dalam praktik nyata. Oleh karena itu, pengaturan sudut kemiringan yang tepat sangat krusial dalam rangka optimalisasi proses konsentrasi timah secara teknis maupun ekonomis.

Temuan ini juga didukung oleh penelitian sebelumnya oleh Setiawan & Hidayat (2020), yang menunjukkan bahwa pada bijih timah primer dari Bangka, peningkatan sudut lebih dari 2° mengakibatkan kehilangan partikel berat ke dalam fraksi *tailing* mencapai lebih dari 30%. Hal ini menekankan pentingnya penyesuaian sudut berdasarkan kondisi mineral lokal.

Dalam konteks perancangan alat, Chen & Peng (2016) menjelaskan bahwa selain sudut kemiringan, panjang *stroke* dan frekuensi getaran juga berinteraksi secara kompleks dalam menentukan efisiensi pemisahan. Oleh karena itu, penelitian lanjutan disarankan untuk mengeksplorasi optimasi multi-parameter agar sistem pemisahan dapat bekerja secara sinergis. Pendekatan seperti ini sejalan dengan prinsip desain eksperimental multifaktor dalam teknologi pemrosesan mineral (Wills & Finch, 2016).

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi praktis dan teoretis dalam pengembangan metode pemisahan gravitasi (*gravity concentration*) di Indonesia, khususnya untuk material *tailing* berkadar rendah. Strategi peningkatan efisiensi alat pemisah seperti *shaking table* menjadi sangat relevan mengingat tantangan pengolahan sumber daya yang semakin kompleks dan bernilai rendah.

Untuk memperkuat temuan ini secara kuantitatif, dilakukan analisis korelasi pearson yang menunjukkan nilai koefisien r = -0,905. Nilai ini mengindikasikan adanya hubungan negatif yang sangat kuat antara sudut kemiringan *deck* dan *recovery* timah, yang berarti semakin besar sudut kemiringan, semakin menurun efisiensi pemisahan partikel berat seperti kasiterit (SnO_2).

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa kemiringan *deck* pada *shaking table* berpengaruh signifikan terhadap *recovery* timah. *Recovery* tertinggi sebesar 49,96% diperoleh pada kemiringan 1,2°, sementara kemiringan yang lebih curam (1,7° dan 2,2°) menyebabkan penurunan *recovery*. Dari hasil tersebut, sudut 1,2° direkomendasikan sebagai parameter optimal dalam pengoperasian *shaking table*

 ISSN 2987-677x

untuk material zircon *low grade*, terutama dalam pengolahan *tailing* timah berkadar rendah.

Untuk pengembangan ke depan, disarankan agar dilakukan penelitian lanjutan dengan mempertimbangkan parameter operasi lainnya seperti panjang *stroke*, frekuensi getaran, serta debit air. Penelitian skala lapangan juga perlu dilakukan untuk memvalidasi hasil laboratorium ini dalam kondisi operasional nyata. Pendekatan optimasi multi-parameter sangat penting untuk menciptakan sistem pemisahan yang lebih sinergis, efisien, dan adaptif terhadap variasi jenis bijih dan karakteristik material lokal.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Timah Tbk dan Prodi Teknik Metalurgi Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknologi Mineral dan Energi Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta atas dukungan dan kerja samanya.

Referensi

Adib, R. M., & Nugroho, A. (2017). Studi efisiensi alat shaking table terhadap pemisahan mineral berat dari tailing timah. *Jurnal Teknologi Mineral Indonesia*, *9*(1), 55–62.

Arifin, Z., & Nugraha, D. (2018). Analisis parameter operasi shaking table untuk meningkatkan efisiensi pemisahan bijih timah. *Jurnal Rekayasa Proses*, *12*(1), 34–40. https://doi.org/10.14710/jrekpros.12.1.34-40

Chen, X., & Peng, Y. (2016). Influence of deck slope on separation behavior of heavy minerals. *Advanced Powder Technology*, *27*(1), 134–140. https://doi.org/10.1016/j.apt.2015.10.016

Chowdhury, S., & Roy, D. (2015). Performance optimization of shaking table for gravity-based recovery of heavy minerals. *International Journal of Mining Science and Technology*, *25*(4), 537–543. https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.03.004

Fernandez, R. J., & Castillo, E. (2021). Comparative study of deck inclination and water flow rate in gravity concentration using shaking tables. *Minerals Engineering*, *172*, 107148. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.107148

Fitriani, R., Siregar, R. Z., & Nur, A. (2021). Pengaruh variasi kemiringan deck pada shaking table terhadap recovery mineral berat dari tailing timah. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, *17*(2), 87–95. https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol17.No2.2021.147

Gunawan, F., & Ramadhan, R. (2024). Optimasi shaking table berbasis karakteristik tailing timah di Belitung Timur. *Jurnal Teknologi dan Keinsinyuran Pertambangan*, *10*(1), 29–38.

Gülsoy, Ö. Y., & Özgen, H. (2017). Performance analysis of shaking tables for mineral separation. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, *38*(1), 60–69. https://doi.org/10.1080/08827508.2016.1167210

Irawan, D., & Lestari, M. (2023). Optimasi shaking table dengan pendekatan multifaktor untuk pemrosesan bijih timah skala laboratorium. *Jurnal Keinsinyuran Pertambangan*, *8*(1), 17–25.

Kurniawan, H., & Budianto, M. (2015). Efektivitas shaking table dalam pemisahan mineral berat berdasarkan variasi sudut. *Jurnal Geologi dan Tambang*, *13*(2), 26–33.

Maulana, D., & Syahputra, A. (2021). Analisis efisiensi alat shaking table dalam pemisahan tailing timah di Bangka Barat. *Jurnal Eksplorasi Tambang*, *8*(2), 55–62.

Mendoza, R., Quispe, E., & Camargo, H. (2018). Gravity concentration of fine cassiterite tailings using shaking tables. *Minerals Engineering*, *122*, 177–185. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.04.017

Nguyen, T. V., & Bui, V. K. (2020). Study on optimizing parameters for gravity separation of tin tailings using shaking table. *Journal of Mining and Earth Sciences*, *61*(6), 1–8.

Ongko, R. M., & Hasan, A. (2019). Evaluasi shaking table untuk pemisahan timah dari tailing menggunakan variasi sudut dan debit air. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Mineral*, *2019*, 34–40.

Phiri, T., & Mumba, J. (2018). The influence of deck slope on shaking table performance for cassiterite recovery in Zambia. *African Journal of Mining and Metallurgy*, *4*(2), 85–94.

Pratama, A., & Yuliana, S. (2024). Desain eksperimen shaking table untuk optimalisasi recovery timah dari tailing Bangka Selatan. *Jurnal Sains dan Teknologi Mineral*, *11*(1), 58–65.

Putra, A. D., Prasetyo, A., & Mulyadi, E. (2020). Optimasi shaking table untuk konsentrasi tailing timah di Bangka Belitung. *Jurnal Teknologi Mineral Indonesia*, *11*(1), 45–52.

Putri, E. L., & Santosa, D. (2023). Pengaruh variabel kemiringan deck pada shaking table terhadap pemisahan timah di tailing halus. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, *19*(1), 12–19.

Rahman, A., & Hadi, S. (2018). Pengaruh parameter operasi shaking table terhadap peningkatan recovery timah di tailing primer. *Jurnal Pertambangan & Mineral*, *22*(3), 141–148.

Rashidi, M., & Rahimi, M. (2016). Parametric optimization in gravity separation of low-grade cassiterite ore using shaking table. *Iranian Journal of Mining Engineering*, *7*(1), 22–31.

Setiawan, B., & Hidayat, T. (2020). Optimasi parameter operasi shaking table terhadap hasil recovery mineral berat pada bijih timah primer. *Jurnal Metalurgi*, *35*(1), 15–22. https://doi.org/10.14203/metalurgi.v35i1.511

Suyono, S., Wijaya, H., & Prasetyo, B. (2018). *Teknologi Pengolahan Mineral dan Dampaknya terhadap Efisiensi Produksi*. Jakarta: Penerbit Tambang Nusantara.

Tanaka, Y., & Nakamura, H. (2016). Effect of deck angle on fine tin mineral recovery using laboratory shaking tables. *Mining and Materials Journal*, *19*(2), 112–118.

ISSN 2987-677x

Wibowo, D., Mulyadi, E., & Susanto, A. (2017). Studi parameter operasi shaking table terhadap kadar dan recovery konsentrat timah. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, *5*(1), 45–52.

Widodo, D. S., & Azhari, M. (2019). Evaluasi kinerja shaking table dengan variasi sudut terhadap pemisahan galena dan kuarsa. *Jurnal Teknologi Mineral*, *9*(2), 41–48.

Wijayanti, R., & Saputra, G. (2022). Pengaruh sudut kemiringan deck terhadap efisiensi pemisahan pada mineral logam berat. *Jurnal Rekayasa Mineral*, *10*(3), 91–98.

Wills, B. A., & Finch, J. (2016). *Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery* (8th ed.). Butterworth-Heinemann.

Yusuf, T., & Simanjuntak, R. (2020). Analisis sudut kemiringan optimal pada shaking table untuk konsentrasi cassiterite. *Jurnal Teknologi Eksplorasi dan Mineral*, *6*(2), 23–30.

Zhang, Y., Li, Z., & Luo, Y. (2015). Effect of deck inclination on separation efficiency of shaking tables. *International Journal of Mineral Processing*, *143*, 105–112.

Zhao, Y., & Wu, X. (2022). Experimental study on deck inclination and slurry flow behavior in shaking tables. *Journal of Mining Science*, *58*(1), 67–76.

ISSN 2987-677x

Analisis Kualitas Air Sungai di Sekitar Lokasi Pertambangan Nikel PT Celebes Multisarana Sakti di Desa Marombo Pantai Kecamatan Lasolo Kabupaten Konawe Utara

Ulpi Pranata[1,2] Suratno Lourentius[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[2] PT Celebes Multisarana Sakti, Kendari, Sulawesi Tenggara

✉ pranataulfhy@gmail.com

✉ suratno.lourentius@ukwms.ac.id

Nikel merupakan komoditas penting di dunia yang memiliki keunggulan di antaranya sebagai pembuatan *stainless steel*, dalam industri baterai *nickel-metal hybride* serta memiliki harga jual yang tinggi di pasar global sehingga permintaanya akan terus meningkat dari tahun ke tahun. Kegiatan pertambangan bijih nikel dapat membawa dampak pencemaran lingkungan antara lain pencemaran air yang dapat menurunkan kualitas mutu air baik pada sungai maupun limbah. *Sustainable development gols* 6 (SDGs 6) atau tujuan pembangunan berkelanjutan 6 (TPB 6) dimaksudkan untuk memastikan ketersediaan pengelolaan air bersih dan sanitasi yang berkelanjutan, artinya menjamin akses yang aman dan berkesinambungan terhadap sanitasi, serta pengelolaan sumber daya air, air limbah, dan ekosistem terkait. Penelitian ini bertujuan mengetahui bagaimana kualitas air sungai di lokasi pertambangan yang digunakan oleh perusahaan PT Celebes Mutisarana Sakti dalam memenuhi kebutuhan air harian sehingga perlu dilakukan pengujian kualitas air sungai kemudian dihitung menggunakan Indeks Pencemaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perhitungan indeks pencemaran (IP) pada air sungai yang digunakan PT Celebes Multisarana Sakti dalam kondisi baik dengan nilai indeks pencemaran sebesar 0,103, dimana kriteria mutu air sungai dengan nilai IP $0 \leq Pij \leq 1{,}0$ berada dalam kondisi baik atau masih memenuhi baku mutu menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003.

Kata kunci: analisis, kualitas air sungai, indeks pencemaran, pertambangan nikel

Pendahuluan

Nikel merupakan komoditas penting di dunia yang memiliki keunggulan di antaranya sebagai pembuatan *stainless steel*, dalam industri baterai *nickel-metal hybride* dan lain sebagainya (Wibowo et al., 2020). Kondisi ini menjadikan nikel sangat terjangkau dan memiliki harga jual yang tinggi di pasar global sehingga permintaanya akan terus meningkat dari tahun ke tahun (Pratiwi et al., 2022).

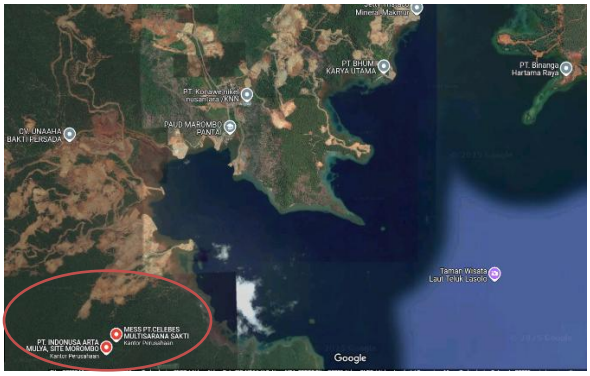
Aktivitas penambangan nikel menggunakan metode pertambangan terbuka melalui pengupasan tanah akan menyebabkan berbagai dampak pada perubahan standar kualitas air tanah yang ada di sekitar area pertambangan. Air yang mengalir dari area pertambangan nikel akan membawa banyak mineral-mineral yang masuk ke badan air kemudian terinfiltrasi ke dalam tanah, sehingga berdampak pada kualitas air tanah di sekitar lokasi pertambangan (Okto et al., 2019).

Penurunan mutu air yang terdapat di sekitar lokasi penambangan disebabkan oleh limpasan air hujan *(run off)* yang bersentuhan dengan lokasi galian sehingga mengalirkan partikel tanah ke dalam badan air yang menjadikan warna air terlihat lebih keruh dan berisiko mengandung logam berat serta masukan dari keberadaan limbah cair yang dihasilkan dari pengolahan nikel yang dialirkan ke laut (Naily & Subardja, 2013).

Bukaan lahan pertambangan di Sulawesi Tenggara pada umumnya menggunakan metode penambangan terbuka yang memperlihatkan area penambangan tanpa penutup vegetasi, sering ditemukan lahan dengan lubang yang cukup besar bekas galian pit. Tanah dengan ciri-ciri seperti ini akan menimbulkan berbagai masalah lingkungan baik secara fisik maupun kimia. Transformasi fisik yang berlangsung di area pertambangan mengakibatkan perubahan morfologi kawasan, degradasi lahan dengan perubahan profil tanah, meningkatnya kepadatan tanah *(bulk density),* kekurangan nutrisi penting bagi tanah, perubahan komponen kimia air tanah, rendahnya pH, pencemaran logam berat, serta berkurangnya jumlah mikroba tanah. Terutama perubahan kimia yang dapat memengaruhi perubahan air tanah dan air dipermukaan (Okto et al., 2019).

Perusahan PT Celebes Multisarana Sakti merupakan salah satu perusahaan di Sulawesi Tenggara yang bergerak di bidang jasa kontraktor pertambangan nikel yang beroperasi pada wilayah IUP PT Indonusa Arta Mulya di Desa Marombo Pantai Kecamatan Lasolo Kabupaten Konawe Utara. Perusahaan ini mempekerjakan ±200 orang karyawan/karyawati pada kegiatan operasional produksi. Untuk memenuhi kebutuhan air bersih harian seperti kebutuhan air untuk dapur, *laundry*, *mess* karyawan, *workshop*, *office,* koperasi, masjid, dan depot air, perusahaan ini memanfaatkan air sungai yang ada di sekitar lokasi pertambangan. Lokasi pertambangan PT Celebes Multisarana Sakti dapat di lihat pada Gambar 1 berikut.

 ISSN 2987-677x



Gambar 7 Lokasi Pertambangan PT Celebes Multisarana Sakti di Desa Marombo Pantai, Kec. Lasolo, Kab. Konawe Utara

Kegiatan pertambangan bijih nikel dapat membawa dampak pencemaran lingkungan antara lain pencemaran air yang dapat menurunkan kualitas mutu air baik pada sungai maupun limbah. Asdak (2023) menyatakan bahwa kegiatan penambangan nikel akan menghasilkan air limbah yang akan mengalir ke badan air. Potensi kerusakan lingkungan yang terjadi diakibatkan kegiatan pertambangan umumnya dikawasan hutan sehingga dapat menyebabkan pencemaran di daerah aliran sungai.

Salah satu tujuan utama dalam pembangunan berkelanjutan (SDG_s) pada bidang lingkungan hidup adalah ketersediaan air minum yang aman dan terjangkau serta sanitasi yang memadai merupakan kebutuhan dasar umat manusia yang hidup di permukaan bumi. *sustainable development gols* (SDGs 6) atau pembangunan berkelanjutan 6 (TPB 6) bertujuan untuk memastikan ketersediaan pengelolaan air bersih serta sanitasi yang berkelanjutan. Dengan kata lain, memastikan akses yang aman dan berkesinambungan terhadap sanitasi, serta pengelolaan sumber daya air, air limbah, dan ekosistem terkait.

Penelitian ini bertujuan mengetahui bagaimana kualitas air sungai di lokasi pertambangan yang digunakan oleh perusahaan PT Celebes Mutisarana Sakti untuk memenuhi kebutuhan air harian, sehingga perlu dilakukan pengujian kualitas air sungai antara lain parameter pH, TDS, TSS, nitrat, nitrit, besi (Fe), timbal (Pb), dan mangan (Mn). Kemudian, untuk mengetahui status mutu air sungai dihitung menggunakan indeks pencemaran. Pengambilan sampel air sungai dilakukan setiap 6 bulan untuk meyakinkan air yang digunakan dalam memenuhi kebutuhan harian perusahaan tetap terjaga kualitasnya.

Metode

Penelitian ini menggunaan metode kuantitatif dengan cara mengambil data pendukung untuk mendapatkan data atau hasil pengukuran berupa angka. Langkah kerja pada penelitian ini adalah:

a. Metode Observasi

Merupakan pengumpulan data yang berhubungan dengan penelitian. Misalnya, data primer berupa sampel air sungai dengan 8 parameter yaitu pH, TDS, TSS, nitrat, nitrit, besi (Fe), timbal (Pb), dan mangan (Mn). Kemudian, dilakukan pengujian laboratorium di Unit Pelayanan Teknis (UPT) Laboratorium Terpadu Universitas Halu Oleo.

b. Analisis Data

Indeks pencemaran digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diijinkan. Metode ini memerlukan data baku mutu air, kualitas air dan status mutu air. Metode IP diharapkan dapat menemukan strategi alternatif pada pengolahan lingkungan sekitar lokasi pertambangan nikel. Kategori penilaian kualitas air berdasarkan IP menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003, menggunakan persamaan :

$$PIj = \sqrt{\frac{\left(\frac{C_j}{L_{j^i}}\right)_m^2 + \left(\frac{C_j}{L_{i_j}}\right)_R^2}{2}} \quad (1)$$

Keterangan:
Pij = Indeks pencemaran bagi peruntukan (j);
Ci = Parameter kualitas air dilapangan;
Lij = Konsentrasi parameter kualitas air yang dicantumkan dalam baku mutu peruntukan air (j):
(Ci/Lij)M = Nilai Ci/Lij maksimum;
(Ci/Lij)R = Nilai Ci/Lij rata-rata.

Indeks pencemaran (IP) ditentukan dari hasil nilai maksimum dan nilai rerata rasio konsentrasi per parameter terhadap nilai baku mutunya. Kelas indeks pencemaran disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 4 Indeks Pencemar Air

Parameter Lingkungan	Indeks Pencemaran Air
Tercemar berat	Pij . 10,0.
Tercemar sedang	5,0 < Pij ≤ 10,0
Tercemar ringan	1,0 < Pij ≤ 5,0
Memenuhi baku mutu/baik	0 ≤ Pij ≤ 1,0

Sumber: Kepmen LH nomor 115 Tahun 2003.

Hasil Kerja

Analisis Kualitas Air Sungai

Hasil pengujian laboratorium menggunakan parameter pencemar kualitas air yang ditinjau dalam penelitian ini adalah pH, TDS, TSS, nitrat, nitrit, besi (Fe), timbal (Pb), dan msangan (Mn). Parameter tersebut kemudian dibandingkan dengan baku mutu air menurut PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Kegiatan pengambilan sampel air dilakukan pada Oktober 2024.

1. Parameter Fisika

Parameter fisika air adalah karateristik air yang dapat diukur dan diamati seperti suhu, kekeruhan, warna, dan *total disolved solid* (TDS). Parameter ini penting untuk menentukan kualitas air dan memengaruhi kehidupan organisme akuatik. Dalam penelitian ini, parameter yang diukur adalah TDS dan TSS. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 5 Hasil Pengukuran Parameter Fisika Air Sungai

Parameter	Hasil Analisis Laboraorium	Baku Mutu Air Kelas I	Satuan
TDS	202	1.000	mg/L
TSS	18	40	mg/L

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium, 2024.

Secara fisik, air sungai memperlihatkan warna yang jernih dibagian hulu dan terlihat lebih keruh dibagian hilir, kondisi ini diakibatkan karena penambangan nikel yang ada disekitar sungai. Ketika musim hujan, kondisi air sungai akan berubah warna menjadi cokelat pekat karena kegiatan

 ISSN 2987-677x

penambangan terbuka yang minim vegetasi akan membawa banyak air limpasan yang mengalir langsung ke sungai.

Berdasarkan Tabel 2 di atas menjelaskan bahwa nilai *total disolved solid* (TDS) sebesar 202 mg/l. Nilai ini berada di bawah baku mutu air kelas I yang dipersyaratkan oleh PP No. 22 Tahun 2021. *Total disolved solid* (TDS) merupakan konsentrasi padatan yang terbuat dari senyawa organik dan anorganik yang bisa larut di dalam air termasuk mineral serta senyawa garamnya. Jumlah residu terlarut atau TDS dipengaruhi oleh proses pelapukan vegetasi di sekitar lokasi titik pengambilan sampel. Penurunan kualitas badan air berdasarkan parameter TDS disebabkan oleh perubahan iklim, keberadaan pembangunan, dan urbanisasi.

Parameter *total suspended solid* (TSS) berdasarkan hasil analisis laboratorium sebesar 18 mg/l, nilai ini berada di bawah baku mutu air kelas I yang dipersyaratkan PP No. 22 Tahun 2021. Total padatan tersuspensi (TSS) merupakan zat terlarut, baik berupa zat organik maupun anorganik di dalam sebuah larutan. Perubahan konsentrasi TSS dapat berbahaya karena kepadatan air menentukan aliran air masuk dan keluar dari sel-sel organisme. Konsentrasi yang tinggi akan mengurangi kejernihan air dan berakibat buruk pada tanaman air untuk melakukan fotosintesis.

2. Parameter Kimia

Parameter kimia adalah serangkain komponen kimia yang diukur untuk menentukan kualitas air, memberikan informasi tentang karakterisitik kimia air. Parameter yang diukur adalah pH, nitrat, dan nitrit. Hasil analisis laboratorium ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 6 Hasil Pengukuran Parameter Kimia Air Sungai

Parameter	Hasil Analisis Laboratorium	Baku Mutu Air Kelas I	Satuan
pH	7,28	6 - 9	-
Nitrat	0,026	10	mg/L
Nitrit	0,001	0,06	mg/L

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium, 2024.

Parameter derajat keasaman (pH) menurut PP No. 22 Tahun 2021 memiliki rentang antara 6 - 9. Hasil analisis laboratorium menunjukkan nilai pH dalam kondisi netral dengan nilai 7,28. Perairan dengan nilai pH sekitar 7 dianggap netral, sedangkan jika kurang dari 7 menunjukkan sifat asam. Keasaman (pH) berperan penting dalam mengendalikan cara dan kecepatan reaksi dari beberapa bahan dalam air. Nilai pH air memiliki sifat khusus, menyeimbangkan asam dan basa dalam air dan konsentrasi ion hidrogen diukur.

Parameter nitrat dan nitrit berdasarkan hasil analisis laboratorium juga berada di bawah baku mutu air kelas I yang dipersyaratkan PP No. 22 Tahun 2021. Nitrat merupakan pembentuk utama nitrogen dalam perairan sehingga menjadi faktor pencemaran yang memicu akumulasi nutrien dan berpotensi menyebabkan pertumbuhan alga. Sumber nitrat dalam air berasal dari limbah yang mengandung ammoinium. Penurunan konsentrasi nitrat dalam air dipicu karena adanya aktivitas mikroorganisme yang mengoksidasi ammonium menjadi nitrit. Proses ini berdampak pada berkurangnya konsentarasi oksigen terlarut dalam air. Sedangkan, nitrit merupakan bentuk nitrogen yang mengalami oksidasi sebagian, biasanya ditemukan dalam air limbah yang sudah lama tercemar. Nitrit memiliki kestabilan yang relaif singkat merupakan hasil sementara dari proses oksidasi antara amonia dan nitrat. Sifat nitrit tidak permanen karena mengalami oksidasi menjadi nitrat atau dapat berubah menjadi amoniak. Kandungan nitrit dalam air dapat bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan dan proses kimia di dalamnya.

3. Parameter Logam Terlarut

Parameter Logam Terlarut merupakan pengukuran kadar logam yang terdapat dalam bentuk ion atau molekul yang dapat melewati filter 0,45 mikron (µm) dalam suatu sampel air atau media lain. Logam terlarut mudah diserap oleh organisme dan berdampak pada kualitas air. Parameter logam terlarut yang dianalisis dalam penelitian ini adalah besi (Fe), timbal (Pb), dan mangan (Mn), hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4 berikut.

Tabel 7 Hasil Pengukuran Logam Terlarut Air Sungai

Parameter	Hasil Analisis Laboratorium	Baku Mutu Kelas I	Satuan
Besi (Fe)	Tidak terdeteksi	0,3	mg/L
Timbal (Pb)	Tidak Terdeteksi	0,03	mg/L
Mangan (Mn)	Tidak Terdeteksi	0,1	mg/L

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium, 2024.

Berdasarkan Tabel 4 di atas menunjukkan bahwa parameter logam terlarut tidak terdeteksi atau berada di bawah baku mutu air kelas I yang dipersyaratkan PP No. 22 Tahun 2021. Logam berat adalah kelompok unsur logam yang memiliki massa jenis lebih dari 5 gr/cm^3 yang pada jumlah tertentu dapat berubah menjadi racun bagi lingkungan (Supriyantini dan Soenardjo, 2015).

Pencemaran suatu perairan oleh unsur-unsur logam berat selain mengganggu ekosistem juga secara tidak langsung dapat merusak perikanan dan kesehatan manusia. Sifat logam berat yang mudah mengendap sehingga logam berat timbal telah mengendap di dasar perairan. Lingkungan yang dicemari logam berat disebabkan oleh proses yang berkaitan erat dengan penggunaan logam dalam aktivitas manusia, baik dilakukan dengan sengaja atau tidak sengaja berbagai limbah yang mengandung logam berat dibuang ke lingkungan sehingga mencemari lingkungan. Menurut Anisyah et al., (2016) pencemaran logam berat memiliki berbagai jenis dan sifat sesuai yang dimiliki oleh ion logam yang bersangkutan. Kontaminasi logam berat yang berlebih dapat menyebabkan masalah kesehatan bagi manusia seperti merusak sel darah merah, turunnya konsentrasi otak, dan menyerang syaraf.

Logam besi atau dikenal dengan istilah *ferrum* (Fe) merupakan logam yang sangat penting dalam bidang teknik. Logam Fe dapat berasal dari pembuangan limbah industri dan rumah tangga yang tidak diolah melalui pipa besi berkarat ke sungai dan limbah dari bengkel terdekat. Logam berat Pb merupakan ion logam kelas B yang mempunyai daya racun besar. Kontaminasi Pb ini mampu menimbulkan gangguan genetik maupun fisik (Prasetya et al., 2007). Dampak pencemaran logam berat Pb bagi kesehatan adalah menimbulkan kerusakan pada pembentukan sel darah merah, logam berat bersifat akumulatif dalam tubuh sehingga akan menimbulkan efek dalam jangka panjang.

Meningkatnya kadar mangan pada air sungai bisa disebabkan oleh adanya aktivitas pertambangan menggunakan metode *open pit* sehingga dapat mempengaruhi konsentari mangan. Normaningsih (2009) menyatakan bahwa adanya aktivitas penggalian lapisan tanah diduga menyebabkan terangkatnya mangan ke

ISSN 2987-677x

permukaan, yang kemudian mengalir bersama air larian menuju sungai.

Analisis Indeks Pencemaran Air Sungai

Indeks pencemaran merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menentukan status mutu air sumber air. Status mutu air menunjukkan tingkat kondisi mutu air sumber dalam kondisi cemar atau kondisi baik dengan membandingkan dengan baku mutu yang telah ditetapkan. hasil perhitungan nilai indeks pencemaran dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

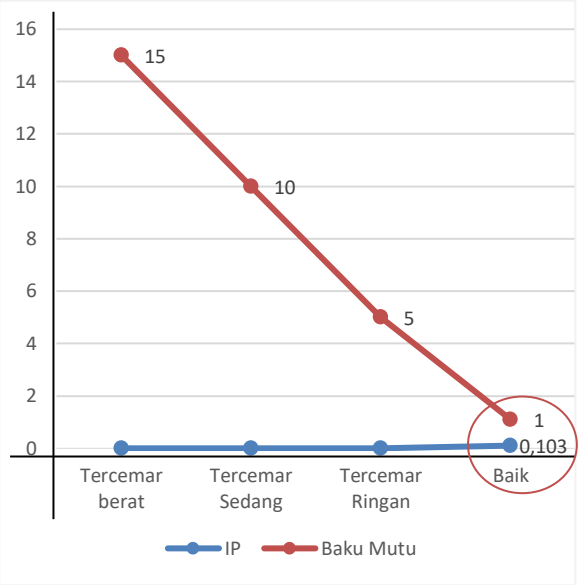
Tabel 8 Perhitungan Indeks Pencemaran (IP)

Parameter	Cij (Hasil Analisis Laboratorium)	Lij (Baku Mutu Kelas I)	Ci/Lij
pH	7,28	6 - 9	-0,220
TDS	202	1.000	0,202
TSS	18	40	0,450
Nitrat	0,026	10	0,003
Nitrit	0,001	0,06	0,017
Besi (Fe)	-	0,3	-
Timbal (Pb)	-	0,03	-
Mangan (Mn)	-	0,1	-
Ci/Li Maksimum			**0,450**
Ci/Li Rata-rata			**0,056**
Nilai IP			**0,103**
Keterangan			**Kondisi Baik**

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025.

Berdasarkan penentuan nilai indeks pencemaran (IP) Standar Baku Mutu Air Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup (PERMEN LH) No. 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air pada Tabel 5 menunjukkan bahwa Ci/Li rata-rata diperoleh hasil sebesar 0,056, Ci/Li maksimum sebesar 0,450, indeks pencemaran bagi peruntuk (Pij) pada kualitas air sungai termasuk dalam kategori baik atau memenuhi baku mutu dimana hasil yang diperoleh berada pada *range* nilai 0 ≤ Pij ≤ 1,0.

Status mutu air digambarkan dengan indeks pencemaran yang digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diizinkan. Indeks pencemaran dapat memberi masukan pada pengambil keputusan agar dapat menilai kualitas air serta melakukan tindakan tertentu untuk memperbaiki kualitas air. Hasil pengukuran air sungai dibandingkan dengan PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup untuk baku mutu air kelas I. Air kelas I merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut. Hubungan nilai Indeks Pencemaran (IP) dengan baku mutu air sungai kelas I dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 8 Hubungan Nilai Indeks Pencemaran (IP) dengan Baku Mutu Air Kelas I

Apabila terdapat satu parameter yang memiliki nilai konsentrasi jauh diatas yang lain, maka nilai tersebut akan membuat mutu menjadi buruk sehingga dapat disimpulkan bahwa metode indeks pencemaran (IP) mempunyai toleransi yang lebih tinggi terhadap pencemaran. Menurut Suwari et al. (2010) metode indeks pencemaran mempunyai batas toleransi yang sangat tinggi terhadap pencemaran.

Kesimpulan

Perhitungan indeks pencemaran pada titik pengambilan sampel air sungai menujukkan bahwa air sungai yang digunakan PT Celebes Multisarana Sakti dalam kondisi baik dengan nilai indeks pencemaran sebesar 0,103, dimana kriteria mutu air sungai dengan indeks pencemaran 0 ≤ Pij ≤ 1,0 berada dalam kondisi baik atau masih memenuhi baku mutu menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan artikel ini, di antaranya:

1. Perusahaan PT Celebes Multisarana Sakti yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian di lokasi kegiatan pertambangan.
2. Unit Pelayanan Teknis (UPT) Laboratorium Terpadu Universitas Halu Oleo Provinsi Sulawesi Tenggara atas kerjasamanya dalam melakukan pengujian laboratorium uji kualitas air sungai.
3. Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama penulisan artikel ini.

Referensi

Anisyah, A. U., Joko, T., & Nurjazuli. (2016). Studi kandungan dan beban pencemaran logam timbal (Pb) pada air balas kapal barang dan penumpang di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, *4*(4), 843–851.

ISSN 2987-677x

Asdak, C. (2023). *Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai*. UGM PRESS.

Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Jakarta. (Bab I, III, IV).

Naily, W., & Subardja, A. (2013). Penentuan status mutu air di lokasi penambangan nikel UBP Nikel Pomalaa, PT Aneka Tambang Tbk, Kabupaten Kolaka. *Prosiding Geoteknologi LIPI.* ISBN: 978-979-8636-20-2.

Normaningsih, Y. (2009). Kandungan mangan dalam air Sungai Riam Kanan dan hati ikan nila (*Oreochromis niloticus* L) di Kecamatan Karang Intan Kabupaten Banjar. *Jurnal Bioscientiae*, *8*, 723–736.

Okto, A., Ngkoimani, L. O., Asfar, S., Jahidin, Firman, A., & Marwan, M. Z. (2019). Analisis pengaruh aktivitas pertambangan terhadap kualitas air tanah di Kabupaten Konawe Selatan. *Jurnal Geologi Terapan*, *1*(1). https://doi.org/10.34311/jgt.v1i1.2715.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta: Kementerian Sekretariat Negara.

Prasetya, J. D., Widowati, I., & Suprijanto, J. (2007). Tingkat bioakumulasi logam berat Pb (timbal) pada jaringan lunak *Polymesoda erosa* (moluska, bivalve). *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Hasil-Hasil Perikanan dan Kelautan*. Universitas Gadjah Mada, Indonesia.

Pratiwi, Y. E., Naharudin, N., Ilham, I., & Wibowo, D. (2022). Eligibility of nickel slag waste combined with stone ash for manufacturing paving block. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*, *10*(4), 33–44.

Supriyantini, E., & Soenardjo, N. (2015). Kandungan logam berat timbal (Pb) dan tembaga (Cu) pada akar dan buah mangrove *Avicennia marina* di Perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, *18*(2), 98–106.

Suwari, E., Riani, E., Pramudya, B., & Djuwita, I. (2010). Penentuan status mutu air Kali Surabaya dengan metode Storet dan indeks pencemaran. *Majalah Ilmiah Widya*, *27*(297), 59–64. Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

Wibowo, D., Basri, B., Adami, A., Sumarlin, S., Rosdiana, R., Ndibale, W., & Ilham, I. (2020). Analisis logam nikel (Ni) dalam air laut dan persebarannya di Perairan Teluk Kendari, Sulawesi Tenggara. *Indonesian Journal of Chemical Research*, *8*(2), 144–150.

ISSN 2987-677x

Manajemen Waktu Pengiriman Beton Segar dengan Truk Mixer Supaya Tetap Dalam Kondisi Plastis Sampai Pengecoran

Aman Budiono[1] Tarsisius Dwi Wibawa Budianta[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
[2] PT. Waringin Megah Makmur, Proyek DKV Ledug – Pasuruan

✉ aman_abn@yahoo.co.id

Beton segar atau beton masih dalam kondisi di fase plastis adalah beton yang masih bisa diolah dalam atau sesuai cetakan (*bekisting*) karena kondisi beton masih lumer tidak menggumpal dan dapat mengalir dengan baik. Beton segar ini harus dipertahankan mulai keluar dari *batching plant (mixing)*, *delivery* ke proyek, sampai dilanjutkan dengan proses pengecoran tidak ada kendala. Untuk itu, kontrol pengiriman harus direncanakan dengan baik sampai tuntas pengecoran, tidak melebihi dari batas waktu 120 menit. Termasuk persiapan alat tuang dan pekerja yang melakukan pengecoran, harus dipersiapkan dengan baik. Karena, bila terjadi kendala dan beton menjadi *setting*/keras maka harus dikembalikan. Harapan dengan perencanaan yang baik maka semua bisa berjalan sesuai aturan dan pekerjaan dapat diselesaikan tepat waktu tanpa ada tambahan biaya serta hasil kerja atau mutu juga bisa didapatkan.

Kata kunci: *concrete, mixing, delivery, setting, plastis, pouring*

Pendahuluan

Dalam perkembangan pembangunan yang semakin pesat saat ini, terutama pada sektor konstruksi, penggunaan beton tidak dapat dipisahkan sebagai salah satu material utama yang memegang peranan penting. Beton merupakan komponen vital yang hampir selalu digunakan dalam setiap pekerjaan konstruksi, baik pada pekerjaan pondasi (*bottom structure*) maupun pada struktur atas seperti kolom, balok, dan pelat (*upper structure*). Maka, beton memegang peranan penting dan sangat vital untuk mendukung berdirinya suatu bangunan (BSN, 2016; BSN, 2019; ACI 318M-14; ACI 318RM-14).

Mengingat peran beton yang sangat penting dan vital dalam pekerjaan konstruksi, maka perilaku serta proses pembuatannya menjadi aspek utama yang harus diperhatikan secara khusus. Setiap tahapan, mulai dari pengajuan *mix design*, uji coba (*trial mix*), hingga pemberian izin produksi dan pengiriman beton, harus mendapatkan perlakuan khusus serta dimonitor secara ketat untuk memastikan mutu dan kesesuaian terhadap spesifikasi yang ditetapkan.

Beton yang dimaksud dalam konteks ini adalah beton *ready mix* yang disediakan oleh pihak *supplier*. Penggunaan beton ini dipilih untuk memenuhi kebutuhan volume beton dalam jumlah besar secara cepat dan efisien. Selain itu, mutu beton juga lebih terjamin karena *supplier* beton telah memiliki pengalaman dan keahlian sebagai penyedia profesional yang khusus menangani produksi serta distribusi beton *ready mix*.

Oleh karena itu, diperlukan perencanaan yang matang serta koordinasi yang baik dengan *supplier* beton, terutama dalam hal penjadwalan pengecoran. Proses ini memerlukan perhitungan waktu yang tepat karena terdapat batasan waktu maksimal beton harus dituang (*pouring*), yaitu paling lama 2 (dua) jam setelah keluar dari *batching plant*. Hal ini menjadi perhatian khusus agar seluruh pengiriman beton dapat tiba di lokasi proyek dalam kondisi baik dan siap dicor tanpa kendala (Nji, 2018).

Seperti yang telah disampaikan sebelumnya, waktu maksimal penuangan beton *ready mix* atau beton segar (dalam kondisi *plastis*) berkisar antara 90 hingga 150 menit. Namun, secara umum dapat digunakan rata-rata waktu maksimal selama 120 menit (2 jam), terhitung sejak beton mulai dikirim dari *batching plant* hingga proses penuangan (*pouring*) di lokasi proyek (Willshurst, 1979).

Beberapa faktor yang dapat memengaruhi mutu beton *ready mix* (beton segar) antara lain sebagai berikut:

1. ***Design* Beton**
   Design beton *(mix design)* sangat berperan penting dalam memengaruhi mutu beton *ready mix*. Desain beton dengan mutu tinggi dapat mempercepat waktu pengerasan (*setting time*), terutama dengan dukungan penggunaan *additive* atau bahan tambahan yang sesuai (Puspitasari & Uisharmandani, 2023).
2. ***Mixing* (Pencampuran)**
   Pencampuran juga sangat penting untuk mendapatkan beton yang benar-benar tercampur dengan sempurna dan rata sehingga nantinya bisa diaplikasikan dengan mudah saat pengecoran. Oleh karena itu, penggunaan *supplier* beton merupakan pilihan yang tepat, karena mereka telah memenuhi persyaratan pencampuran dengan menggunakan teknologi komputer yang terintegrasi sesuai *mix design* yang telah dirancang (Gambar 1).

Gambar 1 *Mixing* Beton

 ISSN 2987-677x

3. **Pengunaan *Additive***
   Penggunaan *additive* juga merupakan aspek yang sangat penting, namun harus mendapatkan persetujuan dari pihak *supplier* atau perencana proyek. Hal ini dikarenakan *additive* berperan dalam menjaga performa beton, terutama pada kondisi tertentu seperti cuaca yang sangat panas atau jarak pengiriman yang cukup jauh. Dengan penggunaan *additive* yang tepat, diharapkan beton *ready mix* tetap terjaga dalam kondisi segar dan sesuai mutu saat tiba di lokasi pengecoran.

4. ***Delivery* (Pengiriman)**
   Pengiriman beton *ready mix* (Gambar 2) merupakan salah satu aspek yang sangat penting untuk diperhatikan, karena durasi waktu pengiriman memiliki pengaruh langsung terhadap mutu beton. Jika terjadi *setting* (pengikatan awal) sebelum beton tiba di lokasi proyek atau sebelum dilakukan pengecoran (*pouring*), maka mutu beton akan menurun secara signifikan. Hal ini biasanya disebabkan oleh lamanya waktu tempuh selama proses pengiriman. Untuk menjaga kualitas beton tetap sesuai standar, pengiriman dilakukan menggunakan truk *mixer* (*molen*) yang dirancang khusus agar beton tetap dalam kondisi plastis selama perjalanan (Concrete Construction Magazine, 2012; Wicaksono & Murtadha, 2022).

Gambar 2 *Delivery* Pengiriman

5. ***Pouring* (Pengecoran)**
   Tahap paling penting sekaligus menjadi tahapan terakhir dari perjalanan beton *ready mix* adalah proses penuangan beton (*pouring concrete*) (Gambar 3). Proses ini memiliki pengaruh langsung terhadap mutu akhir beton, termasuk kepadatan dan kekuatan hasil pengecoran. Beton yang tidak dituang dengan baik berisiko mengalami cacat seperti keropos atau berongga, yang umumnya disebabkan oleh metode dan alat yang digunakan saat pengecoran. Berikut beberapa alat yang umum digunakan dalam proses penuangan beton:
   - *Concrete pump* (pompa beton)
   - Gerobak dorong
   - Talang seng atau alat sejenis
   - *Bucket*
   - Ember
   - Pipa tremi (*tremie pipe*)

Gambar 3 Proses Pengecoran

Terkait dengan beton *ready mix* yang masih dalam kondisi segar, yaitu beton yang siap untuk dituang atau dilakukan pengecoran tanpa mengalami kendala, seperti *setting* awal, penggumpalan, atau kekentalan berlebih. Maka, diperlukan perhatian khusus terhadap beberapa aspek penting agar beton tersebut tetap mudah diaplikasikan di lapangan. Menurut David Alos dan Frank Dehn (2023), dalam studi eksperimental mengenai sifat mekanik beton plastis, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan beton segar, khususnya terkait perkembangan kuat tekan dari waktu ke waktu, kekuatan tarik, serta modulus elastisitas, yaitu sebagai berikut:

1. ***Workability***
   Kemudahan dalam pelaksanaan pengerjaan beton segar dipengaruhi oleh beberapa sifat berikut:
   - *Homogenity*: Kerataan campuran beton
   - Kohesif: Kelekatan dalam adukan pasta beton segar
   - *Mobility*: Kemampuan dari beton segar dalam proses mempertahankan komposisinya (plastis) saat proses pengangkutan.
   - *Flowabillity*: Kemampuan alir dari beton dalam cetakan (*bekisting*).
   - *Plasticity*: Kondisi beton segar masih dalam kondisi plastis, belum *setting*, yang siap untuk dituangkan dalam cetakan.

2. ***Setting Time***
   Waktu atau fase beton dalam proses pengeringan dibagi menjadi 3 fase, yaitu :
   - Fase Plastis: Kondisi beton basah atau segar untuk bisa dilakukan proses pengecoran dengan waktu maksimal 90 s/d 150 menit.
   - Fase *Setting*: Proses beton menjadi kering, tetapi belum sempurna, biasanya hingga umur 7 hari atau 70%.
   - Fase *Hardening*: Proses beton benar-benar kering sempurna, umur 28 hari atau 100%

3. **Susut Plastis**
   Proses pengeringan awal dimana beton masih dalam kondisi basah atau segar dan masih bisa mengikuti cetakan (*bekisting*) yang ada atau mudah dibentuk.

Sehubungan dengan pentingnya menjaga mutu beton agar selalu dalam kondisi optimal sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, terdapat satu aspek krusial lain yang sering kali kurang mendapatkan perhatian, yaitu proses *delivery* atau pengiriman beton. Proses pengiriman sangat menentukan kualitas akhir beton karena berkaitan langsung dengan batas waktu *setting time* yang terbatas—maksimal 2 jam sejak beton keluar dari *batching plant* hingga dituang di

 ISSN 2987-677x

lokasi proyek. Dalam praktiknya, pengiriman beton berpotensi menghadapi berbagai kendala, seperti kemacetan lalu lintas, jarak tempuh yang jauh, cuaca panas atau hujan, hingga kemungkinan truk *mixer* mengalami kerusakan di jalan. Oleh karena itu, faktor-faktor tersebut harus menjadi pertimbangan khusus dalam penjadwalan pengiriman maupun pemesanan beton, agar mutu beton tetap terjaga hingga saat pengecoran.

Terkait hal tersebut, diperlukan perencanaan yang matang dan tersusun rapi untuk mengatur seluruh proses penjadwalan atau permintaan pemesanan beton. Hal ini bertujuan agar pengiriman dapat berjalan lancar dan sesuai dengan batasan waktu yang ditetapkan, serta berbagai potensi kendala dapat diantisipasi sejak awal. Dengan perencanaan yang baik, diharapkan tidak terjadi kondisi di mana beton harus dibuang atau dikembalikan karena telah mengalami *setting* atau kerusakan saat tiba di lokasi proyek.

Metode

Untuk memastikan jadwal pengiriman beton dapat memenuhi batas waktu *setting* yang telah ditentukan, diperlukan beberapa langkah agar beton tetap dalam kondisi segar (*fresh*) dan berada pada fase plastis, sehingga siap untuk dituang atau dicor hingga proses selesai tanpa hambatan. Adapun langkah-langkah yang dapat dilakukan antara lain sebagai berikut:

1. **Pemilihan dan penetapan *supplier* beton**
   Menentukan *supplier* beton harus mempertimbangkan beberapa aspek penting, seperti harga, jarak tempuh ke lokasi proyek, kemampuan penyediaan volume beton, serta ketersediaan armada pengangkut (*truck mixer*) yang memadai dan andal.
2. **Persiapan pengecoran di lokasi proyek**
   Saat beton tiba di lokasi proyek, seluruh persiapan pengecoran harus sudah siap sehingga beton dapat langsung dituang tanpa penundaan. Hal ini mencakup kesiapan cetakan (*bekisting*), peralatan pengecoran, serta jalur akses bagi truk pengangkut beton.
3. **Persiapan tenaga kerja (*manpower*) yang memadai dan terampil**
   Menyiapkan tenaga kerja yang cukup dan memiliki keahlian di bidang pengecoran sangat penting agar proses penuangan beton dapat dilakukan dengan cepat, merata, dan padat sesuai dengan area pengecoran yang telah direncanakan.

Dalam praktik pelaksanaannya, setiap tahapan perlu dicek dan dicatat untuk mengetahui sejauh mana perencanaan dapat diterapkan di lapangan. Apabila ditemukan kendala atau permasalahan, maka perlu dilakukan evaluasi, dan selanjutnya diterapkan perbaikan-perbaikan berdasarkan hasil evaluasi tersebut sesuai dengan kondisi aktual proyek (PT Waringin Megah Makmur, 2025).

Hasil Kerja

1. Pemilihan dan Penetapan *Supplier*

Penetapan supplier beton merupakan hal yang sangat penting dan perlu dilakukan dengan **hati-hati serta penuh kecermatan**, karena sangat berkaitan dengan kelancaran jalannya proyek. Kesalahan dalam pemilihan *supplier* dapat menimbulkan berbagai kendala dalam proses *supply* beton, yang berisiko menghambat pekerjaan konstruksi (Gambar 4).

Beberapa hal penting dan wajib dipertimbangkan sebelum menetapkan atau memilih *supplier* beton, terutama mengingat lokasi proyek yang berada di daerah pegunungan dengan kondisi akses jalan yang menanjak, adalah sebagai berikut:

a. Kesanggupan pengiriman sesuai order
b. Jarak tempuh yang paling tidak beresiko macet serta tidak terlalu jauh
c. Ketersediaan armada yang sehat dan cukup
d. Mutu beton terjamin sesuai spesifikasi
e. Volume riil lapangan
f. Harga kompetitif

Gambar 4 Rapat Penetapan *Supplier* Beton

2. Persiapan Alat Penuangan Cor

Dalam proyek ini, terdapat dua sistem utama yang digunakan untuk proses penuangan beton, yaitu:

a. *System concrete pump*
   Cukup menyiapkan palungan atau wadah sebagai tempat transit beton dari truk mixer sebelum diratakan di area pengecoran, atau bisa langsung diarahkan ke area yang akan dicor menggunakan pipa tremi dan vibrator (Gambar 5).
b. *System* manual (talang)
   Talang beton harus disiapkan sedemikian rupa agar saat truk *mixer* datang, beton bisa langsung dituang tanpa proses tambahan. Perlu diperhatikan jalur talang, beton harus bisa mengalir dengan baik tanpa tambahan air (penambahan air tidak diizinkan, namun boleh menggunakan *additive* tipe *superplasticizer*). Termasuk juga persiapan alat-alat kelengkapan pengecoran, seperti vibrator, cetok, pacul, dan alat lainnya yang dapat membantu kelancaran proses pengecoran tersebut.

Dengan persiapan yang matang serta perencanaan yang baik dan terstruktur, diharapkan seluruh proses pengecoran dapat berjalan lancar hingga selesai, tanpa melebihi waktu maksimum yang diizinkan, yaitu 2 jam atau 120 menit (David Willshurst-Material Engineering Mgr, NATA 1979, Mahaffey Associates Pty. Ltd. Pengujian Beton & Struktural).

Gambar 5 *System Concrete Pump*

 ISSN 2987-677x

Gambar 6 *System Manual* (Talang)

3. Persiapan *Manpower* Yang Memadai / Ahli

Pekerja atau tenaga kerja (*manpower*) yang terlibat dalam proses pengecoran beton harus merupakan tenaga yang ahli dan berpengalaman di bidangnya. Mereka harus terbiasa dengan pekerjaan pengecoran, serta memahami perilaku beton, baik dalam sistem pengecoran menggunakan *concrete pump* maupun secara manual menggunakan talang.

Dengan tenaga kerja yang profesional dan terlatih, seluruh proses pengecoran dapat berjalan dengan lebih efisien. Pekerja akan mampu bekerja secara cepat dan tepat tanpa banyak arahan karena telah memahami prosedur dan tahapan pengecoran yang benar.

Salah satu hal penting yang perlu diperhatikan dalam proses pengecoran adalah penyesuaian terhadap ritme atau interval pengiriman beton dari *batching plant*. Apabila terdapat jeda waktu pengiriman yang cukup lama atau pekerjaan harus disambung pada hari berikutnya, maka proses penghentian pengecoran harus dilakukan di lokasi yang sesuai dan berdasarkan arahan dari pengawas proyek. Hal ini penting karena tidak semua bagian struktur diperbolehkan menjadi titik henti pengecoran.

Sebelum pekerjaan dilaksanakan, seluruh tenaga kerja wajib diberikan *briefing* atau pengarahan terkait proses pengecoran, agar seluruh rencana dapat terlaksana dengan baik, hasil akhir memenuhi spesifikasi, dan keselamatan kerja tetap terjaga. Aspek K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja) juga harus disampaikan secara jelas agar pekerja selalu berhati-hati selama proses berlangsung (Gambar 7).

Gambar 7 Pengarahan Sebelum Bekerja

4. Evaluasi dan Catatan

Berdasarkan hasil evaluasi serta catatan selama pelaksanaan pengecoran, terdapat beberapa hal yang perlu mendapat perhatian, yaitu:

a. *Monitoring* Akses Jalan Truk *Mixer*
   Perlu diperhatikan mengenai *update* jalan yang dilalui oleh truk *mixer* mengingat bila ada kemacetan bisa segera diinfokan untuk diarah melalui jalan alternatif lainnya.
b. *Additive* Kondisi Darurat
   Perlu disepakati bila ada kondisi darurat (macet, mogok, ban kempes, dll) maka pemakaian *additive* untuk mengulur atau menambah jam *setting* beton dengan catatan bahwa sebelumnya sudah ditetapkan bersama aturan pemakaiannya.
c. Kontiniuos Pengecoran
   Terkait dengan pengecoran yang diharapkan tidak boleh berhenti meskipun jam istirahat, maka perlu dipertegas kembali kepada para pekerja untuk waktu istirahat harus diatur bergantian sehingga saat truk *mixer* datang di waktu istirahat masih dapat dilakukan pengecoran.
d. Informasi *Interval* Beton
   Informasi mengenai *interval* kedatangan truk *mixer* harus dikoordinasikan dengan baik antara lapangan dengan *batching plant* setiap 2-3 kali pengiriman setelah pengecoran karena kondisi pelaksanaan di lapangan bisa mempengaruhi *interval* waktu yang sudah ditetapkan sebelumnya.
e. Order Beton Secukupnya
   Mengingat area kerja adalah di daerah pengunungan dengan kondisi cuaca sering mendung dan hujan, untuk *order* volume beton harus dipastikan jangan terlalu banyak dan dikondisikan terhadap area kerja yang akan dicor supaya tahapan dan proses pengecoran tetap berjalan dengan baik (ditetapkan setiap truk *mixer* maksimal terisi 4-3 m3 beton saja).
f. Pengecoran dengan Pompa atau Manual
   Perhatikan bila *system* pengecoran mengunakan *concrete pump* atau manual karena ini mempengaruhi proses pengecoran. Maka, order beton jangan terlalu banyak sehingga tidak bisa diselesaikan sampai tuntas karena terhalang hujan atau sudah mendekati malam. Hal ini dikarenakan kondisi malam hari sering berkabut dan ini sangat berbahaya bagi keselamatan semua pekerja, serta akan berpengaruh terhadap hasil kerja yang kurang maksimal/jelek/rusak.

Untuk waktu *setting* beton maksimal 2 jam harus tetap dijaga dengan memperhatikan jarak tempuh truk *mixer*, proses tuang yang lancar, serta persiapan alat tuang yang sudah tersedia dengan baik sehingga semua proses dari *mixing* sampai pengecoran bisa diselesaikan tidak melebih batas waktu maksimal tersebut (Gambar 8). Berdasarkan Tabel 1 berikut, rata-rata pengecoran setiap truk *mixer* hanya membutuhkan waktu sekitar 73 menit < 120 menit yang ditetapkan sehingga beton benar-benar masih dalam fase plastis (*fresh*) (PT Waringin Megah Makmur, 2025).

Tabel 1 Data Rekap Pengecoran

DATA PENGECORAN LANTAI BBQ POOL HOUSE - PROYEK DKV LEDUG
MUTU K300 - SLUMP 10±2 CM - MANUAL TALANG - VOL 30 M3

NO	VOLUME	PENGIRIMAN / SUPPLIER				SLUMP	PENGECORAN / KONTRAKTOR			REKAP	REKAP
		BRGKAT	ONSITE	CEKING	WAKTU		TUANG	SELESAI	WAKTU	WAKTU	BETON
1	3 m3	10.00	10.34	10.45	45 mnt	10,5	10.45	11.06	21 mnt	66 mnt	3 m3
2	3 m3	10.30	11.02	11.12	42 mnt	11	11.15	11.33	18 mnt	63 mnt	6 m3
3	3 m3	11.00	11.35	11.45	45 mnt	11	11.48	12.10	22 mnt	70 mnt	9 m3
4	4 m3	11.30	12.05	12.15	45 mnt	10,5	12.18	12.48	30 mnt	78 mnt	13 m3
5	4 m3	12.00	12.37	12.47	47 mnt	11	12.52	13.22	30 mnt	82 mnt	17 m3
6	3 m3	12.30	13.00	13.10	40 mnt	11	13.25	13.45	20 mnt	85 mnt	20 m3
7	3 m3	13.00	13.35	13.45	45 mnt	12	13.48	14.08	20 mnt	68 mnt	23 m3
8	3 m3	13.30	14.02	14.12	42 mnt	12	14.15	14.34	19 mnt	64 mnt	26 m3
9	4 m3	14.00	14.35	14.45	45 mnt	11	14.48	15.17	29 mnt	77 mnt	30 m3
	30 m3				**44 mnt**				**23,2 mnt**	**72,6 mnt**	

ISSN 2987-677x

Kesimpulan

Untuk memastikan beton segar tetap berada dalam kondisi plastis yang baik saat tiba di lokasi proyek, perlu diperhatikan dengan seksama setiap tahapan proses—mulai dari *mixing* (pencampuran), *delivery* (pengiriman), hingga *pouring* (pengecoran). Dengan perencanaan dan pengawasan yang matang di setiap tahap tersebut, mutu beton dapat terjaga secara optimal. Hal ini akan memudahkan proses pengecoran di lapangan sehingga dapat dilakukan dengan lancar, cepat, dan tanpa hambatan.

Dengan demikian, pelaksanaan pengecoran tidak mengalami kendala berarti serta dapat terlaksana sesuai rencana, tanpa menimbulkan beban tambahan baik dari segi waktu, biaya, maupun mutu beton. Kualitas hasil akhir pun dapat memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada orang-orang yang terlibat dan berperan penting serta membantu dalam penulisan artikel ini.

Referensi

Alos, D., & Dehn, F. (2023, Oktober). Studi eksperimental tentang sifat mekanik beton plastis: Perkembangan kekuatan tekan dari waktu ke waktu, kekuatan tarik dan modulus elastisitas. *Studi Kasus dalam Bahan Konstruksi*, *19*, e02521.

Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 6880: Spesifikasi beton struktural*. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847: Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (ACI 318M-14 dan ACI 318RM-14, MOD)*. Jakarta: BSN.

Concrete Construction Magazine. (2012, Desember 4). *Waktu tunggu truk mixer beton*. https://www.concreteconstruction.net

Lauw, T. N. (2018). *Penerimaan & pemantauan beton segar*. https://lauwtjunnji.weebly.com

Limanto, S. (2014, Mei). Analisa waktu pengecoran pada lantai empat proyek gedung sekolah di Surabaya. Dalam *Seminar Nasional Teknik Sipil IV*. Solo: Universitas Sebelas Maret.

Puspitasari, I., & Uisharmandani, L. (2023). Kajian eksperimental beton menggunakan admixture SIKA Viscocrete 3115N untuk meningkatkan kuat tekan. *Jurnal TEDC*, *17*(1).

Puspitasari, I., & Uisharmandani, L. (2023). *Konstruksi bangunan*. Bandung: Politeknik TEDC Bandung.

PT Waringin Megah Makmur. (2025). *Data pengecoran lantai BBQ - Pool House*. Proyek DKV Ledug, Pasuruan.

Willshurst, D. (1979). *Laporan pengujian beton & struktural*. Mahaffey Associates Pty. Ltd., NATA Accredited Laboratory.

Wicaksono, H., & Murtadha, S. F. (2022). Pengaruh interval waktu pengiriman beton dengan truk mixer terhadap kualitas mutu beton. *Politeknik PU*. https://eprints.politeknikpu.ac.id

ISSN 2987-677x

Studi Proses *Leaching* Emas dengan *Gold Dressing Agent* X di PT Antam UBPE Pongkor

Tri Wahyuningsih[1,2], Syifa Adena Maharani Putri[2], Icha Widya Sari[2], Hoppy Ady Saputra[3], Suratno Lourentius[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[2] Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta, Indonesia

[3] PT Aneka Tambang UBPE Pongkor, Bogor, Jawa Barat, Indonesia

✉ tri.wahyuningsih@upnyk.ac.id

✉ suratno.lourentius@ukwms.ac.id

Proses sianidasi emas merupakan metode pelindian (*leaching*) emas yang paling banyak digunakan saat ini, namun terdapat masalah serius terhadap penggunaan sianida. Toksisitas dari sianida menyebabkan pencemaran lingkungan yang selayaknya dihindari. Saat ini sudah banyak pengganti sianida dalam proses pelindian emas, seperti *thiosulfate*, *thiourea*, dan klorin. Namun terdapat kekurangan dari reagen tersebut yang menyebabkan sianida masih digunakan saat ini. Pada penelitian ini, akan dibahas mengenai salah satu reagen pengganti sianida yang merupakan produk buatan China dengan nama *gold dressing agent X* yang lebih ramah lingkungan. Penelitian dilakukan dengan membandingkan reagen sianida dan *gold dressing agent X* dengan variasi dosis reagen. Pengujian dilakukan dengan metode *bottle roll test* dan diperoleh hasil persen ekstraksi. Penggunaan reagen dengan *gold dressing agent X* memiliki nilai *recovery* emas yang lebih tinggi daripada sianida, yaitu sebesar 97,99% sedangkan sianida hanya 92,19%. Pada penelitian ini, dilakukan juga pengujian adsorpsi karbon dan diperoleh persen adsorpsi tertinggi pada *gold dressing agent X* sebesar 97,62% sedangkan sianida sebesar 93,81%. Hasil yang diperoleh menunjukkan *recovery* yang didapat tidak jauh berbeda dari kedua reagen sehingga *gold dressing agent X* dapat dijadikan alternatif pengganti reagen sianida dalam proses pelindian emas.

Kata kunci: *leaching*, emas, reagen, sianida, *recovery*

Pendahuluan

Metode pengolahan emas yang paling umum digunakan untuk mengekstraksi emas adalah pelindian menggunakan sianida (Sabara et al., 2017). Metode ini diketahui mendapatkan *recovery* emas yang tinggi hingga 95% (Arham, 2020). Pelindian emas menggunakan sianida merupakan metode yang murah dan sederhana serta efektif untuk bijih emas berkadar rendah (Zafar & Hoppy, 2019). Sianida akan mengikat emas dalam larutan menjadi ion kompleks sianida-emas yang larut dalam air. Reaksi sianidasi sebagai berikut:

$$4Au + 8CN^- + O_2 + 2H_2O \leftrightarrow 4Au(CN)_2^- + 4OH^-$$

Sianida diketahui memiliki masalah yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan karena toksisitasnya yang tinggi sehingga tidak sesuai dengan standar lingkungan. Terdapat beberapa aletrnatif reagen lain yang dapat digunakan untuk proses pelindian emas antara lain *thiosulfate, thiourea, thiocyanate*, dan *chlorine* (Hilson, 2006).

Reagen *thiosulfate* digunakan sebagai pengganti sianida untuk tipe bijih yang mengandung tembaga cukup banyak, bijih *preg-robbing* atau jenis mineral sulfida (Yustanti et al., 2018). *Thiosulfate* diketahui efektif menggantikan sianida karena *ma*mpu melarutkan emas secara efektif namun perlu oksidan dan *oxidant stabilizer* (Setiawati et al., 2022). Selain itu, *thiosulfate* juga memiliki konsumsi tinggi dan biaya reagen yang tinggi (Ismiana, 2023).

Thiourea merupakan reagen yang tidak beracun dan biasa digunakan untuk pupuk tanaman, namun *thiourea* teroksidasi dengan cepat sehingga perlu memerlukan biaya reagen yang cukup tinggi dibandingkan sianida (Rapele et al., 2022).

Reagen pelindi *thiocyanate* memiliki keunggulan dibandingkan sianida, yaitu toksisitasnya yang lebih rendah dan dapat melarutkan emas pada bijih refraktori. Namun reagen ini membutuhkan pengendali pH, *temperature*, dan konsentrasi oksigen yang ketat untuk mencegah dekomposisi *Thiosianate* (Mufakhir et al., 2019).

Metode alternatif lain menggunakan gas klor (Cl_2) sebagai agen pelindian utama yang menghasilkan kompleks *Tetrachloroauric Acid* ($HAuCl_4$), yang larut dalam air. Penggunaan reagen ini efektif untuk bijih refraktori seperti bijih yang mengandung mineral sulfida, karbon aktif, dan bahan lain yang mengganggu proses sianida. Namun, klorinasi dapat menghasilkan senyawa yang sangat korosif seperti asam klorida (HCl), yang memerlukan peralatan khusus untuk mencegah kerusakan pada infrastruktur (Marsden & House, 1992).

Selain reagen di atas, terdapat alternatif reagen baru sebagai pengganti sianida yaitu *gold dressing agent X*. *Gold dressing agent X* merupakan produk non-sianida yang digunakan untuk ekstraksi emas. Reagen ini dikembangkan oleh salah satu perusahaan di China yang ramah lingkungan dan dirancang untuk mengekstraksi emas dari bijih dengan meminimalkan dampak berbahaya terhadap lingkungan yang biasanya terjadi pada metode sianidasi. Reagen ini juga diketahui memiliki efisiensi yang sebanding dengan sianida, tetapi dengan risiko yang lebih rendah terkait dengan

 ISSN 2987-677x

toksisitas dan bahaya lingkungan. Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian untuk mengetahui perbandingan % esktraksi dan % adsorpsi menggunakan reagen sianida dan *gold dressing agent X* yang dilakukan di PT Antam UBPE Pongkor.

PT Antam UBPE Pongkor adalah Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang mengelola sumber daya alam di Indonesia dengan memasarkan komoditas mineral logam dan memperluas operasinya yang mencakup kegiatan eksplorasi, penambangan, pengolahan, dan pemurnian. Pada PT Antam UBPE Pongkor melakukan proses pengolahan emas dengan metode sianidasi, di mana terdapat dua metode sianidasi yaitu *convensional leach* dan *intensive leach*. Metode *convensional leach* dilakukan dengan *agitation leach* dan dilanjutkan dengan proses adsorpsi karbon menggunakna metode *Carbon in Leach* (CIL). Sedangkan *intensive leach* dilakukan menggunakan alat *In-Leach Reactor* (ILR) dan menggunakan konsentrasi sianida yang lebih tinggi dibandingkan *convensional leach.*

Metode

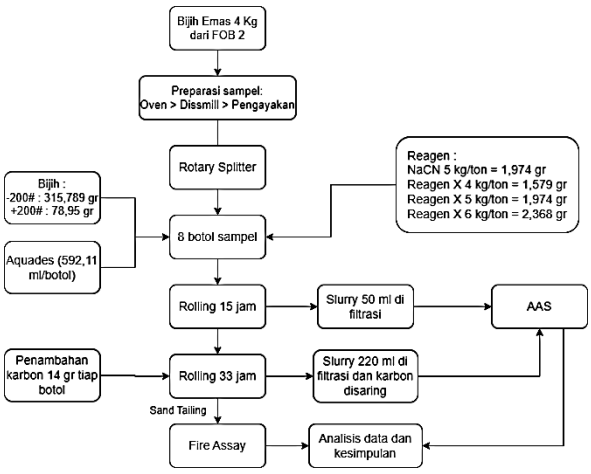
Pengujian dilakukan dalam skala laboratorium di Laboratorium PT ANTAM UBPE Pongkor menggunakan metode *bottle roll test*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui %esktraksi dan %adsorpsi dari proses pelindian dan CIL emas pada dua reagen yaitu natrium sianida dan *gold dressing agent* X. Proses ini dilakukan dengan penambahan karbon aktif didalam *slurry* hasil pelindian menggunakan sianida. Tahapan pengumpulan data pada proses penelitian melalui:

1. *Sampling*
   Sampling dilakukan dengan pengambilan sampel dari *fine ore bin* (FOB) II *process plant* PT ANTAM UBPE Pongkor sebanyak 4 kg. Sampel memiliki kandungan mineral silikat dan karbonat dalam bijih mencapai 97,9%.
2. Preparasi sampel
   Tahap preparasi pertama adalah melakukan pengeringan menggunakan oven selama 24 jam dengan suhu sekitar 100°C, selanjutnya dilakukan proses penggerusan bijih menggunakan *disc mill* hingga ukuran bijih P80 -200 *mesh*. Selanjutnya dilakukan homogenisasi menggunakan metode *quarterting* dan sampel dibagi menjadi 8 sampel menggunakan *rotary splitter*. Berat *ore* di tiap botol sebesar 394,74 gr, volume aquades sebesar 592,11 ml sehingga total *slurry* dalam botol 750 ml.
3. Analisis *headgrade* Au dan Ag
   Sampel hasil ayakan diambil sebanyak 50 gr dan dicampurkan *flux* berupa campuran borax, soda *ash*, dan *litharge* (50 gr: 50 gr: 50 gr). Campuran *flux* dan sampel dihomogenkan kemudian dilakukan pengujian *fire assay*.
4. Pengujian *bottle roller test*
   Sampel yang sudah dibagi 8 dimasukkan ke masing masing botol dan dilakukan penimbangan reagen natrium sianida dan *gold dressing agent X* dengan dosis yang berbeda. Dosis natrium sianida sebesar 5 kg/ton sedangkan reagen *gold dressing agent* X sebesar 4 kg/ton, 5 kg/ton dan 6 kg/ton. Selanjutnya dilakukan *rolling* selama 15 jam. Setelah 15 jam *slurry* hasil pelindian akan diambil sebanyak 50 ml kemudian difiltrasi sehingga didapatkan solution sebanyak 15 ml. Proses percobaan dengan menggunakan *bottle roller test* dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1 Proses *Bottle Roller Test*

Hasil filtrasi ini akan dilakukan pengecekan kadar emas menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Larutan sisa di botol sebanyak 700 ml akan dilakukan penambahan karbon sebanyak 14 gr. Selanjutnya, dilakukan proses *rolling* kembali selama 33 jam dan akan dilakukan penyaringan untuk mengambil karbon dan *slurry*. Karbon akan dilakukan pengujian AAS untuk dicek kadar emas didalam karbon, sedangkan *slurry* akan dilakukan filtrasi hingga menghasilkan *solution* untuk dicek kadar emas sisa di *slurry*. Kemudian endapan hasil filtrasi akan dikeringkan dan diambil sebanyak 50 gr untuk dilakukan pengujian *fire assay.*

Secara keseluruhan diagram alir proses penelitian mulai dari *sampling* bijih hingga analisa data dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

 ISSN 2987-677x

Hasil Kerja

Analisis *Head Assay* dan *Sand Tailing*

Analisis *head assay* dapat mengetahui kandungan emas dan perak yang ada pada bijih menggunakan pengujian *fire assay* dengan kedua reagen yaitu sianida (NaCN) dan *gold dressing agent X* (GDA X). Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 1. Diketahui bahwa pada bijih kandungan perak lebih besar daripada kandungan emas. Pengujian pada *sand tailing*, yaitu endapan yang dihasilkan pada proses filtrasi untuk mengetahui kadar emas dan perak yang tersisa, hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Kadar Au & Ag pada *Headgrade* dan *Sand tailing*

Sampel	Dosis (kg/ton)	Headgrade		Sand tailing	
		Kadar Au (ppm)	Kadar Ag (ppm)	Kadar Au (ppm)	Kadar Ag (ppm)
NaCN(1)	5	7,27	64,64	0,82	13,9
NaCN(2)				0,33	17,95
GDA X (1)	4			0,41	12,43
GDA X (2)				0,53	10,31
GDA X (1)	5			0,57	2,69
GDA X (2)				0,38	14
GDA X (1)	6			0,2	15,1
GDA X (2)				0,06	9,24

Kadar Au dan Ag pada *Solution* Hasil *Leaching* 15 Jam dan *Solution* Setelah Penambahan Karbon

Setelah dilakukan proses *rolling* botol selama 15 jam, *sample* diambil untuk dilakukan pengecekan kadar emas dan perak setelah proses *leaching* menggunakan metode AAS. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 2. Selanjutnya, dilakukan juga pengecekan kadar emas dan perak setelah proses CIL dengan penambahan karbon pada *solution* menggunakan AAS. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Kadar Au dan Ag pada *Solution*

Sampel	Dosis (kg/ton)	Solution setelah leaching		Solution setelah CIL	
		Kadar Au (ppm)	Kadar Ag (ppm)	Kadar Au (ppm)	Kadar Ag (ppm)
NaCN(1)	5	4,62	46,2	0,42	2,39
NaCN(2)		4,14	44,53	0,12	2,24
GDA X (1)	4	4,23	29,66	0,07	2,11
GDA X (2)		3,99	27,1	0,14	1,83
GDA X (1)	5	4,32	27,38	0,14	2,23
GDA X (2)		4,21	28,69	0,08	2,06
GDA X (1)	6	4,13	31,78	0,08	1,70
GDA X (2)		4,40	32,73	0,12	1,63

Kadar Au dan Ag pada Karbon

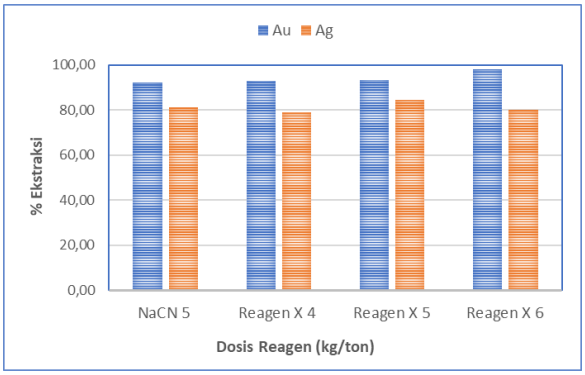
Pada proses ini, dilakukan penambahan HCl 3% yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor yang ikut kedalam karbon seperti karbonat dan partikel halus yang dapat menyumbat pori pori. Setelah ditambahkan HCL, dilakukan pencucian menggunakan *fresh water* dalam kondisi panas sekitar suhu 70◦C - 90◦C. Untuk mengetahui kadar emas dan perak pada karbon dilakukan pengujian AAS dengan menambahkan *aqua regia*. Hasil pengujian didapat kadar pada Tabel 3.

Tabel 3 Kadar Au dan Ag pada Karbon

Sampel	Dosis (kg/ton)	Kadar Au (ppm)	Kadar Ag (ppm)
NaCN(1)	5	152,91	2159,86
NaCN(2)		131,46	2001,26
GDA X (1)	4	136,9	1986,97
GDA X (2)		137,52	2050,9
GDA X (1)	5	133,82	2037,35
GDA X (2)		118,39	2088,13
GDA X (1)	6	128,86	1790,23
GDA X (2)		116,33	1439,77

Analisis Perbandingan % Ekstraksi Emas dan Perak Menggunakan Reagen Pelindi Nacn dan *Gold Dressing Agent X*

Berdasarkan data yang diperoleh dari proses pelindian, dapat diketahui persen ekstraksi emas dan perak dari hasil kadar emas di *solution* setelah pelindian selama 15 jam dan kadar emas di residu. Dari perhitungan yang dilakukan diperoleh hasil persen ekstraksi pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3 Perbandingan % Ekstraksi NaCN dan GDA X

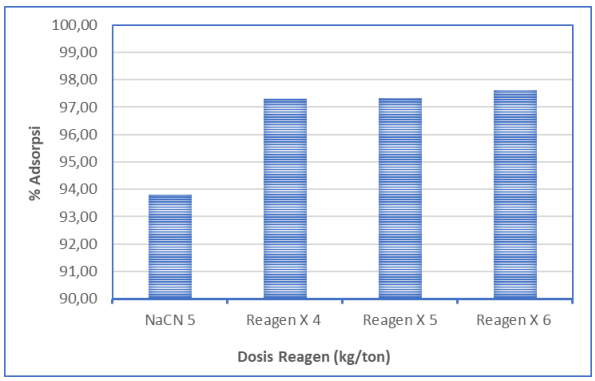
Perhitungan data dilakukan berdasarkan rata-rata hasil dari dua kali pengujian (*duplo*), sehingga diperoleh rata-rata persentase ekstraksi untuk setiap dosis reagen. Hasil menunjukkan bahwa persentase ekstraksi meningkat seiring dengan penambahan dosis reagen. Sebagai contoh, pada penggunaan reagen *gold dressing agent X* dengan dosis 4 kg/ton, persentase ekstraksi emas mencapai 92,90%. Namun, saat dosis reagen ditingkatkan menjadi 6 kg/ton, persentase ekstraksi emas naik menjadi 97,99%. Peningkatan ini disebabkan oleh penambahan reagen dalam proses pelindian yang berdampak pada persentase ekstraksi. Semakin tinggi konsentrasi reagen, semakin banyak emas yang dapat terlarut, karena laju pelindian juga meningkat. Hal ini menyebabkan lebih banyak ion reagen yang bereaksi dengan emas.

Selain itu, dari hasil persentase ekstraksi terlihat bahwa perbedaan antara penggunaan NaCN dan *gold dressing agent X* tidak terlalu signifikan, dengan persentase ekstraksi keduanya masih berada dalam rentang 90%. Hal ini menunjukkan bahwa *gold dressing agent X* bisa dijadikan alternatif pengganti NaCN dari segi teknis, khususnya dalam hal persentase ekstraksi yang dicapai.

 ISSN 2987-677x

Analisis Perbandingan % Adsorpsi Emas dan Perak Menggunakan Reagen Pelindi Nacn dan *Gold Dressing Agent X*

Berdasarkan data yang diperoleh dari proses *Carbon In Leach* (CIL) dapat diketahui berapa banyak emas yang terserap oleh karbon. Semakin sedikit kadar emas di *solution*, maka semakin banyak kadar emas yang ada di karbon. Agar dapat mengetahui kadar emas yang terserap oleh karbon, dapat dihitung dengan mencari % adsorpsi. Dari perhitungan yang dilakukan, diperoleh persen adsorpsi pada Gambar 4 sebagai berikut:



Gambar 4 Hasil % Adsorpsi Emas

Dari hasil perhitungan, diperoleh rata-rata persentase adsorpsi untuk setiap peningkatan dosis reagen. Persentase adsorpsi tertinggi dicapai pada dosis 6 kg/ton reagen *gold dressing agent X*, yaitu sebesar 97,62%, sementara persentase adsorpsi terendah ditemukan pada dosis 5 kg/ton untuk reagen NaCN. Hasil ini menunjukkan bahwa konsentrasi reagen yang paling efektif terdapat pada penambahan 6 kg/ton *gold dressing agent X*.

Selain itu, terlihat bahwa adsorpsi karbon dengan penggunaan reagen *gold dressing agent X* memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan NaCN. Maka, dapat disimpulkan bahwa reagen *gold dressing agent X* berpotensi menjadi alternatif pengganti NaCN.

Kesimpulan

Persentase ekstraksi pada proses *leaching* menggunakan NaCN dan *gold dressing agent X* menunjukkan hasil yang serupa, sehingga reagen *gold dressing agent X* layak dipertimbangkan sebagai alternatif pengganti NaCN dalam proses *leaching* emas. Persentase adsorpsi antara NaCN dan reagen *gold dressing agent X* memperlihatkan bahwa tingkat adsorpsi tertinggi dicapai dengan reagen *gold dressing agent X* pada dosis 6 kg/ton, menjadikannya dosis yang sesuai untuk proses *Carbon In Leach*. Selain itu, perbandingan persentase adsorpsi menunjukkan bahwa reagen *gold dressing agent X* memiliki performa yang lebih baik dibandingkan NaCN, sehingga reagen *gold dressing agent X* dapat berfungsi sebagai alternatif pengganti NaCN.

Ucapan Terima Kasih

Penulis berterimakasih kepada PT Antam UBPE Pongkor, khususnya divisi *proses plant*.

Referensi

Hilson, G., & Future, A. M. (2006). Alternatives to cyanide in the gold mining industry. *Journal of Cleaner Production*, *14*(12), 1158–1167.

Ismiana, N. (2023). Pelindian bijih emas menggunakan tiosulfat dengan perbandingan rasio padat-cair 1:20 pada temperatur 90°C. *Hexagon*, *4*(2), 114–120.

Arham, L. O., Mufakhir, F. R., Saputra, H. (2020). Studi ekstraksi bijih emas asal Pesawaran dengan metode pelindian agitasi dalam larutan sianida. *Journal of Science and Applicative Technology*, *4*(2), 103–109.

Marsden, J. O., & House, C. I. (2009). *The chemistry of gold extraction* (2nd ed.). Amerika Serikat: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.

Mufakhir, F. R., Sinaga, J. M., Oediyani, S., & Astuti, W. (2019). Pelarutan emas pada pelindian konsentrat emas hasil roasting menggunakan reagen tiosianat. *Jurnal Rekayasa Proses*, *13*(1), 24–30.

Rapele, N. P., Fajar, N. A., Febriana, F., & Ridzuan, M. (2022). Ekstraksi emas dan perak menggunakan tiourea. *Jurnal GEOSAPTA*, *8*(1), 39-43.

Sabara, Z., La Ifa, D. D., & Irmayani, R. R. (2017). Ekstraksi emas dari bijih emas dengan sianida dan oksigen dengan metode ekstraksi padat-cair. *Journal of Chemical Process Engineering*, *2*(2), 12-15.

Setiawati, S., Mukhtar, W., Aprillia, R., & Asbanu, G. C. (2022). Pengaruh variasi konsentrasi tiosulfat dalam proses ekstraksi emas asal Kabupaten Sanggau Kalimantan Barat. *Jurnal Ilmiah Ar-Razi*, *10*(1), 47–55.

Yustanti, E., Guntara, A., & Wahyudi, T. (2018). Ekstraksi bijih emas sulfida Tatelu Minahasa Utara menggunakan reagen ramah lingkungan tiosulfat. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, *14*(2), 97–106.

Zafar, N., Yudhistira, S., & Hoppy, A. (2019). Peningkatan recovery emas di Carbon In Leach Plant PT. Antam Tbk Unit Bisnis Pertambangan Emas Pongkor, Jawa Barat (Studi kasus kadar bijih 3,5–4,5 gpt di Plant-1). *Prosiding TPT XXVIII PERHAPI*, 49–58.

ISSN 2987-677x

Analisis Biaya Operasional dan Pemeliharaan antara *Forklift* Solar dan *Forklift* Listrik

Stanley Tanjaya[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

stanley.tanjaya2000@gmail.com

Artikel ini membahas analisis perbandingan antara *forklift* berbahan bakar solar dan *forklift* berbasis listrik di industri keramik sebagai upaya meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi biaya *maintenance*. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengevaluasi kelayakan teknis dan ekonomis penggantian *forklift* solar dengan *forklift* listrik menggunakan pendekatan *total cost of ownership* (TCO), *payback period*, dan *return on investment* (ROI). Data operasional dikumpulkan dari aktivitas penggunaan *forklift* di pabrik keramik dan dianalisis secara kuantitatif. Hasil analisis menunjukkan bahwa *forklift* listrik memiliki biaya operasional dan *maintenance* yang jauh lebih rendah dibandingkan *forklift* solar, dengan *payback period* sebesar 5,33 bulan, dan ROI sebesar 224,9% dalam periode satu tahun. Selain menghemat biaya, penggunaan *forklift* listrik juga berkontribusi terhadap pengurangan emisi karbon, mendukung penerapan prinsip *green industry*, dan meningkatkan keberlanjutan operasional pabrik. Studi ini menunjukkan bahwa penggantian *forklift* konvensional dengan *forklift* listrik tidak hanya layak secara teknis dan ekonomis, tetapi juga selaras dengan praktik keinsinyuran berkelanjutan.

Kata kunci: *forklift* listrik, *forklift* solar, *total cost of ownership*, efisiensi energi, *return on investment*, *payback period*, industri keramik

Pendahuluan

Dalam Industri manufaktur keramik, peranan *forklift* sebagai alat bantu material *handling* untuk memindahkan material dari satu titik ke titik yang lain mempunyai peranan yang sangat penting dalam menjaga kelancaran proses produksi. Seiring dengan perkembangan zaman dan kebutuhan operasional yang semakin beragam, pilihan jenis-jenis *forklift* pun mulai semakin beragam dengan sumber energi utama yang berbeda. Jenis *forklift* yang dimaksud adalah *forklift* dengan bahan bakar solar dan *forklift* dengan bahan bakar listrik. Perbedaan ini mendorong perlunya analisa terkait aspek biaya dan kinerja masing-masing *forklift*.

Pada umumnya *forklift* dengan bahan bakar solar dikenal dengan keandalannya dalam menangani beban yang berat dan operasional di area luar ruangan. Namun demikian, biaya operasional yang tinggi akibat dari konsumsi bahan bakar serta biaya pemeliharaan yang cukup tinggi juga menjadi pertimbangan. Di sisi lain, *forklift* dengan bahan bakar listrik menawarkan keunggulan dalam hal biaya operasional yang lebih rendah, emisi buang gas yang mendekati angka nol, tingkat kebisingan yang lebih rendah, dan biaya pemeliharaan yang tidak semahal *forklift* dengan bahan bakar solar. Walaupun memerlukan investasi awal yang lebih besar nilainya (Gupta et al., 2021; Mourtzis et al., 2020).

Dalam kegiatan operasional di industri keramik, salah satu yang menjadi faktor yang menjadi perhatian adalah efisiensi biaya dan menjadi faktor penting juga untuk meningkatkan daya saing. Oleh karena itu, pemilihan jenis *forklift* harus tepat dan mempertimbangkan biaya sepanjang umur asset, atau *total cost of ownership* (TCO), analisis *payback period*, dan *return on investment* (ROI) untuk memastikan bahwa investasi yang dilakukan memberikang keuntungan finansial dalam jangka waktu yang ditentukan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk membandingkan dan menganalisis biaya operasional, dan biaya pemeliharaan antara *forklift* solar dan *forklift* elektrik di lingkungan industri keramik.

Metode

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan studi komparatif antara *forklift* dengan bahan bakar solar dan *forklift* dengan bahan bakar listrik. Metode analisis yang digunakan adalah *total cost of ownership* (TCO), *payback period*, dan *retunt on investment* (ROI). Berikut ini penjelasan masing-masing metode, yaitu:

- *Total Cost of Ownership* (TCO)
  Penggunaan TCO ditujukan untuk menghitung total keseluruhan biaya selama umur pakai *forklift*, meliputi biaya investasi awal, biaya operasional tahunan, dan biaya pemeliharaan tahunan, dengan persamaan sebagai berikut:

  TCO = Investasi Awal + (Biaya Operasional/Tahun + Biaya Pemeliharaan/Tahun) x Umur Pakai

- *Payback Period*
  Payback period adalah waktu yang dibutuhkan agar nilai penghematan atau manfaat dari investasi dapat menutupi biaya investasi awal, dengan persamaan sebagai berikut:

$$Payback\ Period = \frac{\text{Investasi Awal}}{\text{Penghematan Tahunan}}$$

 ISSN 2987-677x

- *Return on Investment* (ROI)
  Penggunaan ROI adalah untuk mengukur seberapa besar nilai efisiensi yang dilakukan. Berikut ini persamaan untuk mengukur nilai ROI:

$$\text{ROI}\ (\%) = \frac{\text{Total Penghematan}}{\text{Investasi Awal}} \times 100\%$$

Hasil Kerja

Perbandingan Biaya Investasi Awal, Biaya Operasional, dan Biaya Pemeliharaan antara *Forklift* Solar dan *Forklift* Listrik

Dalam proses produksi di industri manufaktur keramik, distribusi material, produk setengah jadi, serta produk jadi memegang peranan yang sangat penting dalam mendukung kelancaran distribusi dari satu titik ke titik yang lainnya. Perusahaan saat ini hanya menggunakan satu jenis *forklift* saja, yakni *forklift* dengan bahan bakar solar dalam mendukung operasional harian di area produksi dan logistik. Maka dari itu, perusahaan saat ini perlu untuk menekan biaya yang dikeluarkan untuk operasional dengan biaya perbandingan investasi awal adalah sebagai berikut.

Tabel 1 Perbandingan Biaya Investasi Awal

Keterangan	*Forklift* Bahan Bakar Solar	*Forklift* Bahan Bakar Listrik
Investasi Awal	Rp 330.000.000	Rp 405.000.000

Selanjutnya perbandingan biaya bahan bakar atau biaya operasional dari *forklift* berbahan bakar solar pertahun dan *forklift* berbahan bakar listrik pertahun dengan detail sebagai berikut.

Tabel 2 Perbandingan Biaya Operasional

Keterangan	Solar/Tahun	Listrik/Tahun
Investasi Awal	Rp 181.613.780	Rp 32.375.546

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2, didapatkan biaya investasi awal dan biaya operasional antara *forklift* berbahan bakar solar yang dibandingkan dengan *forklift* berbahan bakar listrik. Selanjutnya adalah biaya pemeliharaan *forklift* berbahan bakar solar dan *forklift* berbahan bakar listrik, dengan detail biaya sebagai berikut.

Tabel 3 Biaya Pemeliharaan *Forklift* Solar Pertahun

Part	Std Ganti	Harga	Kebu tuhan	Harga/ Ganti	Ganti/ Thn	Biaya/Thn
Oli Mesin	250	Rp 27.732	8,5	Rp 235.722	16,644	Rp 3.923.357
***Filter* Oli Mesin**	250	Rp 43.500	1	Rp 43.500	16,644	Rp 724.014
Oli Trans misi	2500	Rp 61.818	4	Rp 247.273	1,6644	Rp 411.561
***Filter* Trans misi**	2500	Rp 75.500	1	Rp 75.500	1,6644	Rp 125.662
***Filter* Bahan Bakar**	2000	Rp 80.000	1	Rp 80.000	2,0805	Rp 166.440
Over haul engine	5 thn	-	1	Rp 85.000.000	0,2	Rp 17.000.000
			TOTAL			**Rp 22.351.034**

Tabel 4 Biaya Pemeliharaan *Forklift* Listrik Pertahun

Part	Std Ganti	Harga	Kebu tuhan	Harga/ Ganti	Ganti/ Thn	Biaya/Thn
Oli Hidrolis	3000	Rp 22.838	22	Rp 502.432	1,8	Rp 929.164
***Filter* Udara**	2000	Rp 120.000	1	Rp 120.000	2,8	Rp 332.880
***Filter* Hidrolis**	3000	Rp 210.000	1	Rp 210.000	1,8	Rp 388.360
Oli *Diffren tial*	2000	Rp 57.000	5	Rp 285.000	2,8	Rp 790.590
Oli *Brake*	1000	Rp 85.000	1	Rp 85.000	5,5	Rp 471.580
			TOTAL			**Rp 2.912.574**

Berdasarkan tabel-tabel di atas, berikut ini hasil perbandingan antara *forklift* dengan bahan bakar solar dan *forklift* dengan bahan bakar listrik.

Tabel 5 Hasil Perbandingan *Forklift* Solar dan *Forklift* Listrik

Keterangan Biaya	*Forklift* Solar	*Forklift* Listrik
Investasi Awal	Rp 330.000.000	Rp 405.000.000
Operasional/Tahun	Rp 181.613.780	Rp 32.375.546
Pemeliharaan/Tahun	Rp 22.351.034	Rp 2.912.574
TOTAL	**Rp 533.964.814**	**Rp 440.288.120**

Berdasarkan Tabel 5, menunjukkan total perbandingan biaya untuk *forklift* berbahan bakar solar adalah Rp533.964.814. Sedangkan, total biaya untuk *forklift* berbahan bakar listrik adalah Rp440.288.120. Selisih total biaya antara kedua jenis *forklift* ini adalah Rp93.676.694.

Urgensi dan Literatur Pendukung

Dalam industri manufaktur keramik penggunaan *forklift* merupakan bagian penting dari sistem logistik internal yang mampu menunjang kelancaran proses produksi. Efisiensi transportasi material sangat mempengaruhi biaya operasional manufaktur dan mempengaruhi produktivitas manufaktur (Yusra et al., 2021). Secara umum *forklift* yang digunakan saat ini adalah *forklift* dengan bahan bakar berbasis solar. Namun dengan meningkatnya kesadaran terhadap pengurangan emisi dan efisiensi energi, banyak industri mulai beralih ke *forklift* dengan bahan bakar berbasis listrik.

Keputusan investasi yang tepat dengan menggunakan pendekatan metode *total cost of ownership* (TCO) harus mempertimbangkan biaya awal, biaya operasional, biaya pemeliharaan, hingga nilai sisa aset (Kurniawan & Nugroho, 2020). Maka dari itu, analisa biaya operasional dan biaya pemeliharaan menjadi aspek yang krusial dalam pemilihan jenis *forklift*, dengan harapan analisa yang dilakukan dapat memberikan dasar yang kuat dalam pengambilan keputusan investasi peralatan industri secara objektif dan kuantitatif.

Penggantian *forklift* dengan basis bahan bakar solar dengan *forklift* dengan basis bahan bakar listrik secara

 ISSN 2987-677x

finansial sangat menguntungkan, serta mampu mengurangi biaya operasional dan emisi karbon (Rahmad & Sari, 2021). Hal ini sejalan dengan prinsip *green industry* dan *sustainable manufacturing* yang ingin dicapai oleh perusahaan.

Harapannya, penulisan artikel ini dapat memberikan manfaat yang besar dan signifikan dalam konteks profesi insinyur, antara lain:

1. Penguatan pengambilan keputusan teknis yang berbasis data kuantitatif dan evaluasi ekonomi yang komperhensif.
2. Dukungan terhadap efisiensi energi dan keberlanjutan.
3. Penerapan prinsip rekayasa industri melalui analisis sistematis terhadap biaya dan kinerja alat produksi.
4. Meningkatkan daya saing industri dengan membantu perusahaan mengambil keputusan investasi berbasis perhitungan teknis dan ekonomis yang matang.

Keterlibatan dalam penulisan artikel ini juga melatih keterampilan dalam melakukan analisa biaya, teknik evaluasi investasi, serta penyusunan rekomendasi kebijakan teknis, yang merupakan bagian dari kompetensi utama seorang insinyur sesuai dengan UU No.11 Tahun 2014 tentang keinsinyuran dan Pedoman Persatuan Insinyur Indonesia (PII).

Hasil Analisa Perbandingan antara *Forklift* Solar dan *Forklift* Listrik

1. ***Total Cost of Ownership* (TCO)**

   Total cost of ownership (TCO) adalah total biaya kepemilikan dari suatu aset selama umur ekonomisnya. TCO tidak hanya menghitung harga beli, tetapi juga biaya yang timbul selama masa pakai aset, meliputi biaya operasional dan biaya pemeliharaan.

   TCO = Investasi Awal + (Biaya Operasional/Tahun + Biaya Pemeliharaan/Tahun) x Umur Pakai

   Berdasarkan persamaan TCO diatas, berikut ini perhitungan TCO untuk *forklift* bahan bakar solar dan bahan bakar elektrik.

   TCO (FK Solar)
   = Rp 330.000.000 + (Rp 181.613.780 + Rp 22.351.034) x 5 tahun
   = Rp 330.000.000 + (Rp 203.964.814 x 5)
   = Rp 330.000.000 + Rp 1.019.824.070
   = Rp 1.349.824.070

   Jadi, berdasarkan perhitungan nilai *total cost of ownership* (TCO) untuk *forklift* dengan bahan bakar solar adalah Rp 1.349.824.070. Selanjutnya adalah perhitungan TCO untuk *forklift* dengan bahan bakar elektrik.

   TCO (FK Listrik)
   = Rp 405.000.000 + (Rp 32.375.546 + Rp 2.912.574) x 5 tahun
   = Rp 405.000.000 + (Rp 32.375.546 x 5)
   = Rp 405.000.000 + Rp 161.877.730
   = Rp 566.877.730

   Jadi berdasarkan perhitungan nilai *total cost of ownership* (TCO) untuk *forklift* dengan bakar listrik adalah Rp 581.440.600. Selisih nilai TCO dalam satu tahun adalah Rp 782.946.340 untuk satu unit *forklift*.

2. ***Payback Period***

   Payback period adalah waktu yang dibutuhkan untuk menutup kembali biaya investasi awal dari penghematan atau keuntungan dalam periode tertentu yang dihasilkan dari investasi yang dilakukan. Berikut ini persamaan yang digunakan untuk mengetahui kapan waktu payback period atau kembali modal.

   $$Payback\ Period = \frac{\text{Investasi Awal}}{\text{Penghematan Tahunan}}$$

   Berdasarkan persamaan *payback period* di atas, berikut ini hasil perhitungan dari *payback period*.

   $$Payback\ Period = \frac{\text{Rp } 75.000.000}{\text{Rp } 168.676.694}$$

   $$Payback\ Period = 0.47 \text{ tahun } = 5{,}33 \text{ bulan}$$

   Berdasarkan perhitungan *payback period forklift* dengan bahan bakar listrik hanya membutuhkan waktu sekitar 5,33 bulan untuk menutup selisih investasi awal yang dilakukan. Setelah itu, perusahaan mulai mendapatkan efisiensi dari biaya operasional di pabrik.

3. ***Return on Investment* (ROI)**

   Return on investment (ROI) adalah indikator yang membantu perusahaan atau individu dalam menentukan kelayakan dan keuntungan dari nilai investasi yang dikeluarkan perusahaan. ROI sendiri juga dapat menjadi indikator untuk mengukur tingkat pengembalian keuntungan sebuah investasi dan biaya yang dikeluarkan untuk investasi tersebut. Berikut ini persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai ROI.

   $$\text{ROI} = \frac{\text{Total Penghematan}}{\text{Investasi Awal}} \times 100\%$$

   Berdasarkan persamaan di atas, berikut ini perhitungan yang dilakukan untuk menghitung persentase nilai ROI.

   $$\text{ROI} = \frac{\text{Rp } 168.676.694}{\text{Rp } 75.000.000} \times 100\%$$

   $$\text{ROI} = 224{,}9\%$$

   Hasil perhitungan menunjukkan nilai ROI sebesar 224,9% yang menyatakan bahwa investasi pada *forklift* dengan bahan bakar elektrik akan memberikan pengembalian atau penghematan lebih dari dua kali lipat dari biaya investasi yang dikeluarkan di awal. Artinya, keputusan investasi pada *forklift* dengan bakar elektrik sangat menguntungkan dalam periode waktu tahunan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan, terkait perbandingan biaya operasional dan biaya pemeliharaan antara *forklift* dengan bahan bakar solar, dan *forklift* dengan bahan bakar listrik. Dapat ditarik suatu kesimpulan yang menyatakan bahwa penggunaan *forklift* dengan bahan bakar listrik lebih menguntungkan dan tidak memiliki dampak negatif yang signifikan pada lingkungan.

Meskipun biaya investasi awal penggunaan *forklift* dengan bahan bakar listrik lebih besar dibandingkan dengan *forklift* solar, namun biaya operasional dan pemeliharaan

ISSN 2987-677x

pertahunnya jauh lebih rendah. Hal ini dibuktikan dengan perhitungan nilai *total cost of ownership* (TCO) dengan selisihnya adalah Rp 782.946.340 untuk satu unit *forklift*.

Lalu biaya investasi yang dikeluarkan untuk penggunaan *forklift* listrik akan kembali dalam 5,33 bulan, dengan persentase *return on investment* adalah sebesar 224,9%. Dengan pertimbangan aspek teknis, lingkungan, keselamatan, dan etika profesi implementasi *forklift* listrik ini adalah pilihan utama yang menguntungkan dalam mendukung sistem logistik di lingkungan industri manufaktur keramik.

Ucapan Terima Kasih

Dalam penulisan artikel ini, penulis telah mendapatkan bimbingan dan bantuan yang luar biasa dari berbagai pihak, baik berupa materil, spiritual, maupun informasi yang membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan artikel, antara lain:

1. Puji dan syukur kepada Tuhan yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya yang diberikan kepada penulis, sehingga penulis dapat menjalankan praktik keinsinyuran dan menyelesaikan Laporan Praktik Keinsinyuran ini.
2. Bapak Dr. Ir. Ivan Gunawan S.T., M.MT., CSCM., IPM., ASEAN Eng selaku ketua Program Studi Program Profesi Insinyur Fakultas Teknik Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya dan sebagai dosen pendamping yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan masukan, arahan, dan semangat dalam menyusun Laporan Praktik Keinsinyuran.
3. Bapak/Ibu dosen Program Studi Program Profesi Insinyur Fakultas Teknik Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya yang memberikan pengetahuan ilmu dan pembelajaran baru selama perkuliahan.
4. Kedua orang tua, saudara-saudari di Samarinda dan di Surabaya yang selalu memberikan dukungan, doa, dan motivasi kepada penulis.
5. Teman-teman PSPI UKWMS angkatan 2024 periode genap, yang saling memberikan semangat serta masukan dalam menyelesaikan Program Studi Program Profesi Insinyur.

Dalam menyusun Laporan Praktik Keinsinyuran ini, penulis menyadari masih banyak kekurangan karena keterbatasan yang dimiliki oleh penulis. Oleh karena itu, penulis memohon maaf jika terdapat kata-kata yang kurang berkenan. Akhir kata, penulis berharap bahwa artikel ini dapat menambah wawasan dan bermanfaat bagi berbagai pihak.

Referensi

Gupta, S., Prakash, S., & Jain, A. (2021). Maintenance strategies for manufacturing systems: A comprehensive review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, *27*(4), 753–772.

IFMA. (2020). *Total cost of ownership (TCO) analysis*. International Facility Management Association.

Kurniawan, A., & Nugroho, Y. (2020). Analisis total cost of ownership untuk penentuan investasi alat berat di industri manufaktur. *Jurnal Manajemen Industri*, *12*(2), 33–41.

Mourtzis, D., Vlachou, E., & Milas, N. (2020). Industrial big data as a result of IoT adoption in manufacturing. *Procedia CIRP*, *88*, 338–343.

Rahmat, H., & Sari, P. D. (2021). Green manufacturing dalam rangka peningkatan efisiensi energi dan produktivitas. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, *10*(1), 45–53.

Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jordan, B. D. (2019). *Fundamentals of corporate finance* (12th ed.). McGraw-Hill Education.

Undang-Undang Republik Indonesia No. 11 Tahun 2014 tentang Keinsinyuran.

Yusra, R., Utomo, M. N., & Hartono, B. (2021). Evaluasi efisiensi sistem material handling menggunakan metode TCO. *Jurnal Teknik Industri*, *18*(1), 15–25.

ISSN 2987-677x

Pemanfaatan Gas Metana dari Dekomposisi Sampah Organik pada *Sanitary landfill* TPA Wonokerto, Pasuruan, Jawa Timur

Yuni Rokhmawati[1,2] Angga Yudha Satria[1] Iqbal Ramadhan[1] Suratno Lourentius[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[2]PT Senandika Karya Engineering

✉ yunimahesa41@gmail.com
✉ anggayudhasatria@gmail.com
✉ suratno.lourentius@ukwms.ac.id

Penelitian ini menganalisis potensi produksi gas metana (CH_4) di TPA Wonokerto, Kabupaten Pasuruan, yang menggunakan metode *sanitary landfill*. Selain itu, juga mengeksplorasi peluang dan tantangan dalam pengumpulan dan pemanfaatan gas metana sebagai sumber energi terbarukan. TPA Wonokerto berpotensi menghasilkan sekitar 4. 999,97 ton CH_4 per tahun, dengan yang dapat dimanfaatkan sekitar 1. 250 ton CH_4 setelah mempertimbangkan *recovery factor* 0,75. Sistem pengumpulan gas yang efektif sangat penting untuk menangkap gas metana. Pemanfaatan gas metana dapat digunakan untuk pembangkitan listrik, bahan bakar alternatif, dan pemanas. Pengelolaan gas metana yang baik dapat membantu menghasilkan energi terbarukan dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Diasumsikan pemanfaatan gas metan dapat melayani kebutuhan energi gas rumah tangga bagi sekitar 5.992 KK.

Kata kunci: *gas collection unit,* gas metana, keberlanjutan lingkungan, *sanitary landfill*, TPA

Pendahuluan

Manajemen pengolahan sampah padat perkotaan (SPP) adalah masalah lingkungan penting di negara berkembang. Pengelolaan sampah perkotaan memiliki enam elemen dasar yaitu penyortiran, penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, pemrosesan, dan pembuangan.

Di Kabupaten Pasuruan dengan jumlah penduduk yang diperkirakan mencapai 1,64 juta pada tahun 2024 dan pertumbuhan populasi serta urbanisasi menyebabkan peningkatan volume sampah. Kabupaten ini membutuhkan sistem pengelolaan sampah yang efektif. Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Wonokerto, Pasuruan menjadi fasilitas utama penampungan sampah sejak tahun 2020. TPA ini memiliki kapasitas desain 1.152 ton sampah per hari, tetapi hanya menerima 275 ton sampah per hari.

Metode *sanitary landfill* diterapkan untuk mengurangi dampak lingkungan, meskipun proses dekomposisi dari sampah menghasilkan gas metana. Gas metana dapat menjadi sumber energi terbarukan namun juga merupakan gas rumah kaca yang berbahaya. Oleh karena itu, pengelolaan gas metana dari TPA Wonokerto sangat penting. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi produksi gas metana berdasarkan karakteristik sampah dan metode yang digunakan serta mendalami peluang dan tantangan dalam sistem pengumpulan dan pemanfaatan gas tersebut.

Metode

TPA Wonokerto menggunakan metode *sanitary landfill*, dimana sampah ditimbun dan ditutup secara berkala dengan lapisan tanah untuk mengurangi dampak lingkungan. Meskipun memiliki kapasitas timbunan yang besar, fasilitas pengelolaan sampah di TPA ini hanya mampu menangani sekitar 275 ton per hari. Gas metana (CH_4) adalah salah satu produk utama dari dekomposisi sampah organik dalam sistem *sanitary landfill*. Proses ini terjadi secara anaerobik (tanpa oksigen) di lapisan dalam timbunan sampah.

Prinsip utama metode *sanitary landfill* dalam penimbungan sampah sebagai berikut:

1. Penimbunan berlapis: Sampah dikompaksi (dipadatkan) dalam lapisan dengan tinggi timbunan berkisar 0,5–2 meter;
2. *Daily cover*: Lapisan tanah dengan tebal berkisar 15–30 cm ditambahkan setiap hari;
3. Sel *landfill*: Area dibagi ke dalam beberapa sel untuk pengelolaan bertahap;
4. Sistem drainase: Menangani lindi (leachate) agar tidak mencemari lingkungan;
5. Gas venting atau gas *recovery*: Untuk mengelola gas metana yang terbentuk.

Gas yang dihasilkan oleh dekomposisi sampah organik di *sanitary landfill* merupakan gas metana (CH_4). Sistem pengumpulan gas metana (*gas collection system*) merupakan infrastruktur krusial dalam upaya memanfaatkan potensi gas sebagai energi gas rumah tangga sekaligus memitigasi dampak pencemaran lingkungan (pencemaran tanah) yang mungkin mengakibatkan terjadinya ledakan dalam tanah akibat penumpukan gas metana di dalamnya.

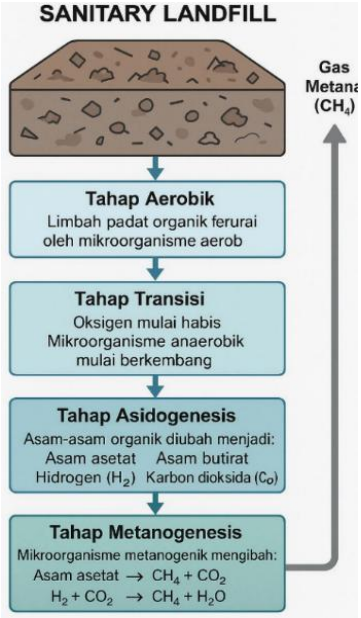
Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama yang bekerja secara terintegrasi untuk menangkap dan menyalurkan gas metana dari dalam timbunan sampah. Komponen tersebut meliputi *vertical wells* (sumur vertikal) atau *horizontal trenches*, *perforated pipes* (pipa berlubang) untuk menangkap gas, dan *header pipe* (pipa utama) yang menghubungkan gas ke semua *vertical wells*. Tahapan pembentukan gas metana dari dekomposisi sampah organik sebagai berikut:

1. Fase hidrolisis: Mikroorganisme menguraikan bahan organik kompleks menjadi senyawa sederhana, seperti asam amino, gula, dan asam lemak;

 ISSN 2987-677x

2. Fase sidogenesis: Senyawa sederhana tersebut selanjutnya dikonversi menjadi asam-asam volatil, karbon dioksida (CO_2), hidrogen (H_2), dan alkohol;
3. Fase asetogenesis: sam-asam volatil diubah menjadi asam asetat, CO_2, dan H_2;
4. Fase Metanogenesis: Bakteri metanogenik mengubah asam asetat dan gas lain menjadi metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2).

Tahapan pembentukan metana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Tahapan Proses Pembentukan CH4

Gas utama yang dihasilkan dari dekomposisi sampah organik adalah gas metana (CH4) dan karbon dioksida (CO2), yang sering disebut sebagai gas TPA (*landfill* Wonokerto). Gas metana adalah gas rumah kaca yang jauh lebih kuat daripada karbon dioksida dalam memerangkap panas di atmosfer, sehingga pengelolaannya sangat penting dari sudut pandang lingkungan. Dalam pengelolaan gas tersebut digunakan suatu unit yang disebut *gas collection unit*. Peran dari *gas collection unit* adalah sebagai berikut:

1. Pengurangan emisi gas rumah kaca: Fungsi paling krusial adalah mencegah pelepasan gas metana dan CO_2 secara langsung ke atmosfer. Dengan menangkap gas ini, kontribusi TPA terhadap efek rumah kaca dapat diminimalisir;
2. Pencegahan bahaya ledakan/kebakaran: Gas metana sangat mudah terbakar dan eksplosif jika terakumulasi dalam konsentrasi tertentu. Unit pengumpul gas mencegah akumulasi gas berbahaya ini di dalam TPA atau di area sekitar, sehingga mengurangi risiko ledakan atau kebakaran;
3. Pengendalian bau: Gas TPA seringkali mengandung senyawa sulfur dan lainnya yang menyebabkan bau tidak sedap. Dengan mengumpul dan mengolah gas ini, masalah bau yang mengganggu komunitas sekitar TPA dapat dikurangi secara signifikan;
4. Pemanfaatan energi (*waste-to-energy*): Gas metana adalah sumber energi yang berharga. Setelah dikumpulkan, gas ini dapat dimurnikan dan dimanfaatkan untuk berbagai keperluan;
5. Pembangkit listrik: Gas dapat dibakar dalam mesin gas untuk menghasilkan listrik;
6. Bahan bakar industri/rumah tangga: Gas dapat diolah menjadi gas alam terkompresi (CNG) atau gas alam cair (LNG) untuk digunakan sebagai bahan bakar kendaraan atau untuk kebutuhan industri/rumah tangga;
7. Pemanas: Digunakan sebagai bahan bakar untuk sistem pemanas;
8. Kepatuhan regulasi: Di banyak negara, ada regulasi ketat mengenai emisi gas dari TPA. Unit pengumpul gas membantu fasilitas TPA memenuhi persyaratan lingkungan ini.

Hasil Kerja

Perhitungan Kapasitas *Landfill* TPA Wonokerto

TPA Wonokerto melayani pembuangan akhir pada daerah Sukorejo, Kabupaten Pasuruan. Jumlah penduduk Kecamatan Sukorejo, Kabupaten Pasuruan, pada tahun 2024 adalah sekitar 88.336 jiwa. Data yang terkumpul:

- Luas lahan TPA Wonokerto: ±5 hektar = 50.000 m^2;
- Volume sampah masuk harian: ±400 m^3/hari atau sekitar 200-275 ton/hari;
- Perkiraan tinggi/lapisan penimbunan sampah: ± 10 meter (asumsi umum untuk *landfill* regional);
- Efisiensi pemadatan sampah: 0,75 (asumsi konservatif; 75% dari volume digunakan untuk sampah);

a. Perhitungan Volume Kapasitas Sampah Efektif TPA

Volume Kapasitas:
= Luas x Tinggi x Effisiensi pemadatan
= 50.000 m^2 x 10 m x 0,75
= 375.000 m^3.

b. Perhitungan Lama Pelayanan Berdasarkan Timbunan Harian

Durasi pelayanan (hari):
= 375.000 m^3/ 400m^3 perhari
= 937,5 hari atau sekitar 2 tahun 6 bulan

Dari hasil perhitungan didapatkan sebagai berikut:
Total kapasitas penampungan TPA Wonokerto sekitar ±375.000 m^3. Daya tampung terhadap sampah harian (400 m^3/hari). Maka dihasilkan durasi penampungan *landfill* pada TPA Wonokerto memiliki durasi pelayanan TPA sekitar 2 tahun 6 bulan.

Perhitungan Jumlah Gas Metan yang Dihasilkan

1. Data Asumsi (berdasarkan informasi sebelumnya):

Tabel 1 Data Asumsi untuk Menghitung Jumlah Gas Metana

Parameter	Nilai
Volume sampah masuk harian	400 m^3/hari
Densitas sampah	±500 kg/m^3 (asumsi konservatif)
Komposisi sampah organik	60% dari total sampah
Potensi pembentukan CH_4	±100 m^3 CH_4/ton sampah organik
Waktu akumulasi	1 tahun

 ISSN 2987-677x

2. Perhitungan Bertahap
   - Berat sampah masuk harian:
     400m³ x 500 kg/m³ = 200.000kg = 200 ton/hari
   - Diasumsikan sampah organik sekitar 60%:
     200ton x 60% = 120 ton organik/hari
   - Produksi metana harian (perkiraan):
     120 ton/hari x 100 m³/ton = 12.000 m³CH/hari
3. Produksi Tahunan
   - 120 ton/hari x 100 m³/ton = 12.000 m³CH/hari

Untuk menghitung produksi gas metana (CH_4) di TPA Kabupaten Pasuruan TPA Wonokerto, bisa menggunakan metode IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) yang umum digunakan untuk estimasi gas rumah kaca dari limbah padat.

Rumus IPCC Tier 1

CHemisi = MSW x DOCx DOCf x MCF x F 16/12 x R

Keterangan :

MSW	: Jumlah timbunan sampah (ton/tahun)
DOC	: *Degradable organic carbon* dalam sampah
DOC_f	: Fraksi DOC yang tergradasi secara anaerobik
MCF	: *Methane Correction Factor* (efisiensi *landfill -> sanitary* :1)
F	: Fraksi gas yang berupa metana
16/12	: Konversi dari C ke CH4
R	: *Recovery factor* (jika ada pemanenan gas, (biasanya 0-0.9)

Perhitungan Menggunakan Rumus IPCC Tier 1

Diketahui:

Jumlah sampah	= 275 ton/hari
MSW	= 275 x 365
	= 100.375 ton / tahun
DOC	= 0,15
DOC_f	= 0,5
MCF	= 1
F	= 0,5
R	= 0,75
16/12	= 1,33

Hasil Perhitungan:

CH = MSW x DOCx DOCf x MCF x F 16/12 x R
= 100.375 x 0,15 x 0,5 x 1 x 0,5 x 1,33 x (1-0,75)
= 100.375 x 0,15 x 0,5 x 0,5 x 1,33 x 0,25
= 100.375 x 0,012471.251 ton CH/tahun

Langkah 1:
Hitung potensi metana tanpa mempertimbangkan *recovery*.

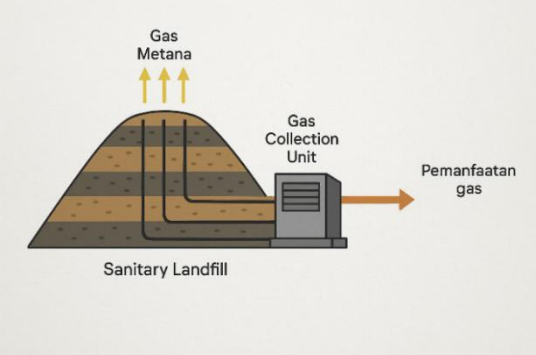
Potensi CH4 = MSW×DOC×DOC_f×MCF×F×16/12
= 100.375 × 0,15 × 0,5 × 1 × 0,5 × 1,33
= 100.375 × 0,049875
= 4.999,96875 ton CH4/tahun

Langkah 2:
Hitung metana yang dilepaskan ke atmosfer setelah mempertimbangkan *recovery*.

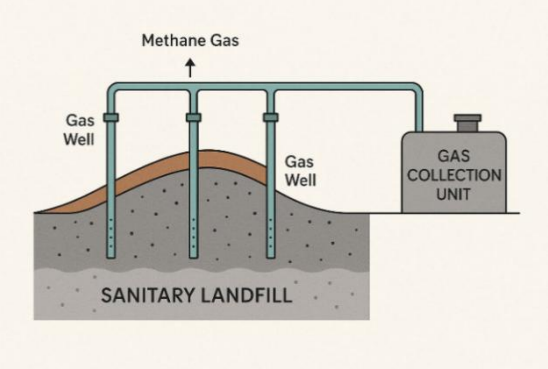
CH4 emisi = Potensi CH4 × (1−R)
= 4.999,96875 x (1-0,75)
= 4.999,96875 x 0,25
= 1.249,9921875 ton CH4/tahun

Jadi, dari hasil perhitungan di atas didapatkan potensi produksi gas metana yang di dapatkan sekitar 1.250 ton CH_4/tahun

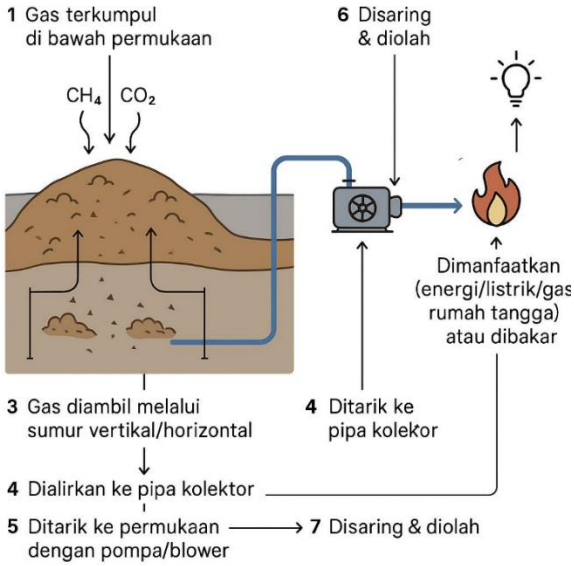
Skema Pengumpulan Gas Metan



Gambar 2 Skema Pengumpulan Gas Metan ke GCU



Gambar 3 Skema Pipa Pengumpulan Gas Metan ke GCU



Gambar 4 Proses Alur Pemanfaatan CH_4

Berdasarkan Gambar 2 ditunjukan skema pemanfaatan gas Metan yang didapatkan oleh dekomposisi sampah akibat penumpukan sampah pada *landfill cell*. Untuk tahapan alur dijelaskan sebagai berikut:

1. Sampah membusuk (terdapat pada *sanitary landfill*) → menghasilkan gas (CH_4 dan CO_2);
2. Gas terkumpul di bawah permukaan;
3. Gas diambil melalui sumur vertikal/horizontal (*perforated pipe*);
4. Gas metan dialirkan ke pipa kolektor (*non perforated pipe*);
5. Gas metan ditarik ke permukaan dengan pompa/*blower*;

 ISSN 2987-677x

6. Gas metan dilakukan penyaringan dan pengolahan;
7. Dimanfaatkan (energi/listrik/gas rumah tangga) atau dibakar ulang.

Pemanfaatan Gas Metana

1. Pembangkit Listrik (*Electricity Generation*)
   Proses:
   - Gas metana ditangkap → disaring → dibakar dalam generator gas atau turbin gas.
   - Dihasilkan energi listrik.

   Output:
   - Setiap 1 m^3 CH_4 dapat menghasilkan sekitar 10 kWh listrik.
   - Cocok untuk memenuhi kebutuhan listrik TPA dan dijual ke jaringan listrik PLN (jika skema *grid-connected* tersedia).
2. Bahan Bakar Kendaraan
   Proses:
   - Gas metana dimurnikan menjadi *renewable natural gas* (RNG).
   - Dikompresi menjadi *compressed natural gas* (CNG).
   - Digunakan sebagai bahan bakar armada pengangkut sampah atau kendaraan umum.
3. Pemanas (*Thermal Utilization*)
   - Metana dapat digunakan untuk:
   - Pemanas air
   - Pemanas ruangan
   - Proses industri

   Biasanya dilakukan di fasilitas dekat dengan *landfill* agar efisien secara energi dan distribusi.
4. Biogas untuk Rumah Tangga (Skala Kecil)
   Dalam sistem *landfill* terdesentralisasi atau TPS 3R skala desa, gas metana dapat digunakan untuk kompor gas dan lampu gas. Namun, ini lebih umum pada digester anaerobik rumahan daripada *sanitary landfill* besar seperti Wonokerto.
5. *Flare* (Pembakaran Terkendali)
   Gas *Flare* TPA (TPA Wonokerto), atau sering disebut juga *landfill flare gas* (LFG), adalah fasilitas pembakaran terkontrol yang digunakan untuk mengelola gas metana (CH4) dan gas lain yang dihasilkan dari dekomposisi sampah organik di TPA. Bila belum tersedia sistem pemanfaatan, gas metana dibakar di *flare* berfungsi untuk mengurangi dampak gas rumah kaca (CH_4 jauh lebih kuat daripada CO_2) dan menghindari risiko ledakan dalam kasus ini gas metan yang dihasilkan oleh TPA Wonokerto sebanyak 1.250ton ch_4 per tahun.

Untuk pemanfaatan energi pada kasus ini, diasumsikan untuk mensuplai biogas untuk keperluan rumah tangga didapatkan perhitungan sebagai berikut:
Diketahui:

- Jumlah gas yang dibutuhkan untuk keperluan rumah tangga 0,557 m3 gas CH_4/hari = 0,0004 ton gas CH_4/ hari.
- Maka jumlah KK yang didistribusikan:
  Pengambilan kapasitas gas metana di ambil 70% untuk *spare* ke ekfektifan pipa dan *spare* untuk *gas collection unit*
  Kapasitas distribusi gas metana:
  = 70% x 3,424 ton CH_4 / hari
  = 2,397 ton CH_4 / hari
  Kapasitas rumah untuk distribusi gas:
  = 2,397 / 0,0004 ton CH_4 per hari
  = 5,992 KK per hari

Kesimpulan

Penelitian ini menganalisis potensi produksi gas metana di TPA Wonokerto, Kabupaten Pasuruan, serta peluang dan tantangan dalam sistem pengumpulan dan pemanfaatannya. Dengan metode IPCC Tier 1, TPA Wonokerto diperkirakan menghasilkan sekitar 4.999,97 ton CH_4 per tahun, dengan emisi metana atmosfer sebesar 1.250 ton CH_4 per tahun setelah mempertimbangkan faktor pemulihan. Ini menunjukkan bahwa gas metana dapat menjadi sumber energi terbarukan tetapi juga dapat menjadi ancaman emisi gas rumah kaca jika tidak dikelola dengan baik.

Sistem pengumpulan gas metana yang efektif, termasuk sumur vertikal atau horizontal, pipa berlubang, dan pipa kolektor, sangat penting untuk menangkap gas dari dekomposisi anaerobik sampah. Kontaminan seperti amonia juga perlu diperhatikan dalam desain sistem pengolahan untuk mencegah masalah.

Pemanfaatan gas metana dari TPA menawarkan peluang, seperti pembangkitan listrik dan produksi bahan bakar alternatif. Dengan pemanfaatan 70% dari potensi gas metana, diperkirakan bisa mendukung sekitar 5.992 KK per hari. Pengelolaan gas metana di TPA Wonokerto juga dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan membantu memitigasi perubahan iklim. Penelitian lebih lanjut dibutuhkan untuk mengoptimalkan sistem dan teknologi yang sesuai dengan kondisi TPA Wonokerto.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan rasa syukur dan terima kasih yang tulus kepada Univeristas Katolik Widya Mandala Surabaya atas dukungan fasilitas dan dana yang telah memungkinkan terlaksananya penelitian ini. Apresiasi setinggi-tingginya juga disampaikan kepada Bapak Suratno Lourentius atas bimbingan, arahan, serta masukan konstruktif yang tak ternilai selama proses penelitian hingga penyusunan jurnal ini. Tidak lupa, terima kasih kami haturkan kepada pihak pengelola TPA Wonokerto atas izin dan kerja sama yang diberikan sehingga data lapangan dapat terkumpul dengan baik. Segala kontribusi dari berbagai pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu, sangat berarti bagi penyelesaian artikel ini

Referensi

Ahsan, A., Alamgir, M., El-Sergany, M. M., Shams, S., Rowshon, M. K., & Daud, N. N. (2014). Assessment of municipal solid waste management system in a developing country. *Chinese Journal of Engineering*, *2014*(1), 1–11.

Asase, M., Yanful, E. K., Mensah, M., Stanford, J., & Amponsah, S. (2009). Comparison of municipal solid waste management systems in Canada and Ghana: A case study of the cities of London, Ontario, and Kumasi, Ghana. *Waste Management*, *29*(10), 2779–2786.

Badan Pusat Statistik Kabupaten Pasuruan.

ISSN 2987-677x

Brunner, C. R. (1991). Biological sludge incineration. *Waste Management*, *11*(3), 155–162.

Buclet, N., & Godard, O. (Eds.). (2013). *Municipal waste management in Europe: A comparative study in building regimes* (Vol. 10). Springer Science & Business Media.

Burnley, S., Phillips, R., Coleman, T., & Rampling, T. (2011). Energy implications of the thermal recovery of biodegradable municipal waste materials in the United Kingdom. *Waste Management*, *31*(9–10), 1949–1959.

Ecarnot, F., Seronde, M. F., Chopard, R., Schiele, F., & Meneveau, N. (2015). Writing a scientific article: A step-by-step guide for beginners. *European Geriatric Medicine*, *6*, 573–579. https://doi.org/10.1016/j.eurger.2015.08.005.

Kar, S. S., & Kar, R. (2017). Components and structure of a manuscript. In S. C. Parija & V. Kate (Eds.), *Parasites and vector-borne diseases in Asia* (pp. 9–15). Springer Nature Singapore Pte Ltd.

ISSN 2987-677x

Optimasi Desain *Jig Welding* Kain Berbasis CAE (*Computer Aided Engineering*) untuk Peningkatan Konsistensi Kualitas *Front Grille Speaker* Yamaha

Izzal Islam[1] Julius Mulyono[1]

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ izzal.islam96@gmail.com

✉ juliusnyamulyono@ukwms.ac.id

Desain *jig* yang optimal memegang peranan krusial dalam menjamin konsistensi dan kualitas proses pengelasan, khususnya pada produk yang menggunakan material kain seperti *front grille speaker*. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan desain *jig welding* berbasis *computer aided engineering* (CAE) dengan pendekatan simulasi dinamis menggunakan SolidWorks Simulation, yang diimplementasikan langsung pada lini produksi Yamaha Music. Fokus utama penelitian adalah meningkatkan kekakuan *jig*, menurunkan deformasi selama proses *welding*, serta mengoptimalkan penggunaan material tanpa mengorbankan integritas struktural. Hasil simulasi menunjukkan bahwa desain yang dioptimasi mampu menurunkan tegangan maksimum hingga 55,3% dan defleksi hingga 66,7%, dengan peningkatan faktor keamanan dari 2,3 menjadi 6,4. Selain itu, efisiensi material ditunjukkan dengan pengurangan volume sebesar 24,2% dan penurunan berat *jig* sebesar 23,8%. Optimalisasi ini secara langsung berdampak pada peningkatan konsistensi kualitas pengelasan kain serta menurunkan potensi cacat produksi. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa pendekatan CAE mampu menggantikan metode *trial-and-error* secara lebih efektif dan ekonomis. Dengan mengedepankan validasi desain berbasis simulasi dalam konteks manufaktur nyata, penelitian ini memberikan kontribusi strategis bagi pengembangan teknologi *jig* presisi tinggi di sektor elektronik dan akustik.

Kata kunci: *jig welding*, CAE, simulasi dinamis, efisiensi material, kualitas pengelasan, *front grille speaker*, SolidWorks

Pendahuluan

Latar Belakang

Dalam industri manufaktur komponen audio, kualitas, dan konsistensi produk sangat krusial. Pada lini produksi *front grille speaker* Yamaha, ditemukan masalah kualitas hasil pengelasan kain yang inkonsisten meski menggunakan material yang minimalis. Desain *jig* pengelasan berperan penting untuk menstabilkan posisi komponen dan memastikan pengulangan proses yang akurat (Azdkar, 2019). *Jig* yang dirancang dengan tepat dapat meningkatkan kualitas las dan produktivitas, namun sering kali proses perancangan *jig* konvensional memakan waktu lama dan memerlukan biaya signifikan (Nugroho, 2009). Menurut studi sebelumnya, biaya pembuatan dan desain *jig* dapat mencapai 10–20% dari total biaya proses manufaktur. Oleh karena itu, kebutuhan akan metode desain *jig* yang lebih efisien dengan biaya rendah semakin mendesak (Siswanto, 2011).

Gap Penelitian

Metode pengelasan konvensional yang digunakan saat ini menunjukkan keterbatasan dalam efisiensi biaya dan konsistensi hasil, terutama saat bahan yang dilas relatif tipis atau terbatas (Tannady, 2015). Desain *jig* tradisional sangat tergantung pada keahlian desainer dan sering melibatkan uji coba fisik berulang, sehingga sulit menjamin kualitas las yang konsisten. Padahal, simulasi berbasis CAE telah terbukti mampu memprediksi distorsi dan tegangan sisa pada proses pengelasan sehingga dapat menyesuaikan parameter sebelum produksi nyata (Ayudya, 2017).

Selain itu, penelitian pada *fixture* lain menunjukkan bahwa analisis elemen hingga FEA dan optimasi tata letak penopang mampu meminimalkan deformasi workpiece demi mempertahankan toleransi desain (Gaspersz, 2007). Namun, penerapan teknologi CAE untuk optimasi desain *jig* pengelasan kain *front grille* secara struktural dan tata letak belum banyak dieksplorasi (Heizer, 2019). Dengan demikian, terdapat gap penelitian dalam penggunaan pendekatan CAE/CAE-FEM untuk memperbaiki konsistensi kualitas las di konteks perakitan skala industri speaker.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan desain *jig* pengelasan kain pada produk *front grille speaker* Yamaha melalui pendekatan Computer Aided Engineering. Melalui pemodelan dan simulasi CAE, karakteristik kekuatan struktural *jig* dan efek beban panas pengelasan dianalisis untuk memperbaiki tata letak dan jumlah material *jig* (Arohman, 2022). Secara khusus, algoritma optimasi berbasis FEM digunakan untuk menentukan lokasi penopang, kekakuan, dan geometri *jig* yang meminimalkan deformasi pada area las (Fajar, 2015). Diharapkan, desain *jig* yang dihasilkan lebih ringan namun cukup kaku, sehingga material terpakai dapat diminimalkan tanpa mengorbankan stabilitas proses las (Fajar, 2015). Dengan model CAE, pengaturan variabel proses las dapat dilakukan secara iteratif hingga diperoleh desain *jig* optimal yang mendukung pengelasan seragam pada bahan kain *front grille*.

Kontribusi Ilmiah

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penerapan teknologi CAE untuk perancangan *jig* pengelasan yang

 ISSN 2987-677x

dioptimasi secara struktural dan tata letak di lingkungan industri nyata. Pendekatan ini bersifat inovatif karena mengintegrasikan analisis FEM dan optimasi tata letak ke dalam siklus desain *jig*, sehingga menghasilkan desain *jig* yang lebih efisien dan presisi tinggi (Hanky, 2014). Hasil penelitian menunjukkan peningkatan signifikan dalam konsistensi kualitas pengelasan produk, dengan risiko cacat las yang berkurang melalui proses desain virtual yang detail (Indrayati, 2024). Kontribusi penting lainnya adalah demonstrasi bahwa metode *computer-aided fixture design* dapat memangkas biaya pengembangan dan *prototyping* secara drastis, sejalan dengan temuan sebelumnya bahwa simulasi proses menjamin perencanaan produksi yang lebih hemat biaya dan peningkatan kualitas produk (Manufaktur, 2021). Dengan demikian, penelitian ini menghadirkan solusi kebaruan dalam desain *jig* pengelasan skala industri, yaitu desain *jig* yang lebih ringan, efisien penggunaan material, dan mampu meningkatkan kualitas hasil las secara konsisten.

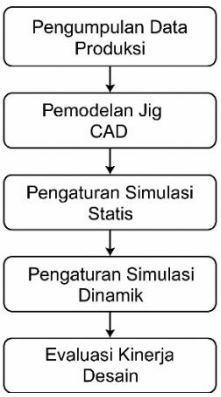
Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi komputasional berbasis CAE (*Computer Aided Engineering*) dengan metode elemen hingga FEM untuk merancang dan mengoptimalkan *jig welding* kain pada *front grille speaker* Yamaha (Pustakarya, 2019). Perangkat lunak SolidWorks Simulation dimanfaatkan untuk melakukan analisis struktur secara statis dan dinamis, sehingga karakteristik kekuatan dan ketangguhan desain *jig* dapat dievaluasi tanpa perlu uji fisik awal (Tampubolon, 2014).

Analisis tegangan dari simulasi memastikan bahwa *jig* mampu menahan beban mekanis dan termal selama proses pengelasan (Heizer, 2019). Secara garis besar, metode penelitian ini dirancang sistematis, dimulai dari pengumpulan data produksi hingga evaluasi hasil simulasi. Untuk metode yang sudah standar tidak perlu dijelaskan terlalu panjang, cukup menyebutkan standar yang digunakan (Azdkar, 2019).

Tahapan Penelitian

1. Pengumpulan data produksi: Data input simulasi diperoleh dari data proses produksi aktual di pabrik Yamaha Musik, termasuk parameter pengelasan (gaya penjepit, waktu las, arus las), geometri bagian depan speaker, dan sifat material (Manufaktur, 2021). Data tersebut digunakan untuk mendefinisikan kondisi batas dan beban pada pemodelan simulasi.
2. Pemodelan *jig* CAD: Desain awal *jig* dibuat dalam software SolidWorks CAD mengikuti spesifikasi fungsi (posisi penjepit, lekuk *jig* sesuai *front grille*). Material *jig* dipilih sesuai data pabrik (misalnya baja karbon SS400 dengan modulus Young ~210 GPa, batas luluh ≈400 MPa) (Manufaktur, 2021). Model 3D lengkap dibuat untuk semua elemen *jig* dan komponen penjepit benda kerja.
3. Pengaturan simulasi statis: Model CAD diimpor ke SolidWorks Simulation untuk analisis struktur. Langkah simulasi statis meliputi pendefinisian material isotropik, pemberian kondisi batas (titik-titik penjepit *jig* sebagai fixed support) dan beban (gaya penjepit standarnya) (Pustakarya, 2019). Simulasi statis dijalankan untuk memperoleh peta tegangan, regangan, dan defleksi *jig* di bawah beban nominal. Hasil simulasi ini digunakan untuk menghitung kekakuan *jig* (rasio gaya terhadap defleksi) serta mengevaluasi faktor keamanan desain.
4. Pengaturan simulasi dinamik: Selain analisis statis, simulasi dinamik dilakukan untuk meniru kondisi operasional *real-time* pada *jig* selama proses pengelasan (Pustakarya, 2019). Pendekatan dinamik penting karena pada kenyataannya *jig* menerima beban variatif dan siklik, bukan hanya beban statis. Simulasi dinamik ini mempertimbangkan beban bergantian dan efek getaran saat las berjalan, sehingga respons waktu-jelas *jig* dapat diprediksi.
5. Evaluasi kinerja desain: Hasil-hasil simulasi diinterpretasi untuk menilai kualitas desain *jig*. Kekakuan *jig* dievaluasi dari besarnya defleksi maksimum di bawah beban; distribusi beban dianalisis melalui pola tegangan *von-mises* dan tekanan kontak pada titik penjepitan; sedangkan deformasi akibat proses pengelasan dianalisis menggunakan model termal-elastis-plastis berbasis FEM untuk memprediksi distorsi las (Tampubolon, 2014).



Gambar 1 Bagan Alut Penelitian

Validasi dan Evaluasi

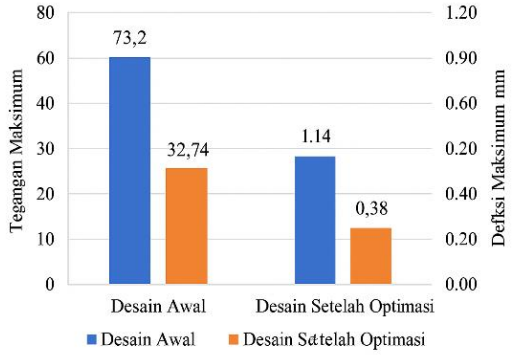
Seluruh validasi dilakukan melalui simulasi, tanpa pembuatan prototipe fisik. Tahapan simulasi statis disesuaikan dengan kondisi lapangan nyata, sehingga hasilnya mencerminkan keandalan desain pada proses produksi. Parameter kritis seperti tegangan maksimum, defleksi, dan faktor keamanan diverifikasi terhadap kriteria desain yang ditetapkan. Dengan demikian, simulasi CAE memberikan 253ambaran komprehensif mengenai konsistensi kualitas *jig* dan produk *front grille speaker* yang dihasilkan, sebelum dilakukan implementasi nyata di lapangan.

Hasil dan Pembahasan

Hasil Analisis Tegangan dan Defleksi

Hasil simulasi SolidWorks menunjukkan bahwa desain *jig* hasil optimasi memiliki distribusi tegangan *von mises* yang merata dan tidak melebihi batas luluh material (Gaspersz, 2007). Pada desain awal, tegangan maksimum tercatat sebesar 73,2 Mpa, mendekati 18% dari batas luluh material SS400 (sekitar 400 Mpa). Setelah dilakukan optimasi tata letak dan penambahan elemen penopang, tegangan maksimum turun menjadi 32,74 Mpa, memperlihatkan penurunan sebesar 55,3% (Ayudya, 2017).

 ISSN 2987-677x

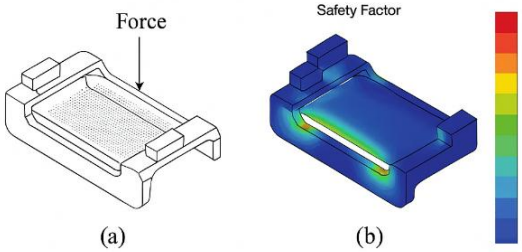


Gambar 2 Hasil Analisis Tegangan dan Defleksi

Sementara itu, defleksi maksimum pada titik kritis penjepitan kain juga mengalami penurunan signifikan. Sebelum optimasi, defleksi maksimum tercatat sebesar 1,14 mm, sedangkan setelah optimasi hanya 0,38 mm atau mengalami penurunan sebesar 66,7% (Hanky, 2014). Hasil ini menunjukkan bahwa desain *jig* yang dioptimasi secara struktural mampu meningkatkan kekakuan sistem secara menyeluruh.

Evaluasi Faktor Keamanan

Faktor keamanan (*safety factor*) merupakan parameter penting dalam penilaian struktur mekanis. Berdasarkan hasil simulasi, desain awal memiliki *safety factor* sebesar 2,3, sedangkan desain akhir meningkat menjadi 6,4, yang berarti desain hasil optimasi jauh lebih aman dan tahan terhadap beban siklik yang mungkin timbul selama proses pengelasan (Arohman, 2022). Nilai ini jauh di atas ambang minimum industri manufaktur untuk aplikasi non-kritis, yang umumnya berada pada kisaran 1,5–2,5.



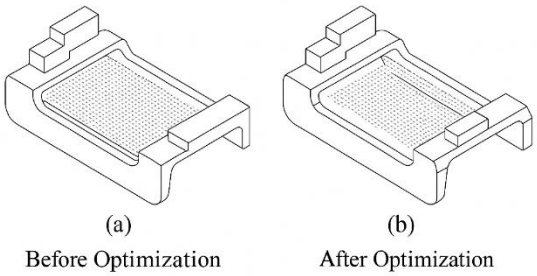
Gambar 3 Simulasi Evaluasi Faktor Keamanan

Tabel 1 Hasil Evaluasi Faktor Keamanan

Min	Max	Avg
1.75	11.20	3.68

Efisiensi Material: Perbandingan Berat dan Volume *Jig*

Dari hasil optimasi berbasis simulasi, efisiensi penggunaan material dapat dicapai tanpa mengorbankan kekakuan struktural. Volume total *jig* menurun dari 28.750 cm³ menjadi 21.800 cm³, menunjukkan penghematan sebesar 24,2% dalam penggunaan material (Nugroho, 2009). Berat *jig* juga turun dari sekitar 226 kg menjadi 172 kg, memberikan dampak positif dalam aspek ergonomi operator, biaya manufaktur, dan konsumsi energi mesin (Fajar, 2015).



Gambar 4 Simulasi Efisiensi Material

Tabel 2 Hasil Efisiensi Material

	Weight (kg)	Volume(m
Before Optimization	8.79	6.70
After Optimization	6.70	0.0376

Implikasi terhadap Konsistensi Pengelasan

Studi ini menunjukkan bahwa penurunan defleksi *jig* secara langsung berkontribusi terhadap peningkatan konsistensi kualitas pengelasan. Defleksi yang lebih rendah memastikan bahwa kain tetap berada dalam posisi yang seragam selama proses *welding* berlangsung, mengurangi kemungkinan distorsi atau cacat (seperti lipatan atau ketegangan lokal berlebih). Simulasi berbasis dinamik menunjukkan bahwa getaran akibat penjepitan cepat dan perubahan suhu selama proses pengelasan tidak menyebabkan deformasi berlebih yang berdampak pada mutu produk akhir.

Hasil ini selaras dengan temuan dalam literatur bahwa kekakuan *jig* berkorelasi positif dengan konsistensi dan kualitas hasil pengelasan dalam proses produksi massal. Dalam praktik industri, pendekatan berbasis trial-and-error dalam desain *jig* tidak hanya menyita waktu dan sumber daya, tetapi juga tidak dapat menjamin performa optimal sebelum implementasi fisik. Penelitian ini membuktikan bahwa pendekatan CAE mampu mempersingkat siklus desain *jig* dan mengurangi iterasi pengujian fisik secara drastis, sejalan dengan prinsip desain terintegrasi berbasis simulasi.

Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa penerapan pendekatan *computer aided engineering* (CAE) berbasis simulasi dinamik menggunakan SolidWorks Simulation secara efektif mampu meningkatkan kualitas desain *jig welding* untuk aplikasi *front grille speaker* Yamaha. Melalui pemodelan dan simulasi berbasis metode elemen hingga (FEM), desain *jig* dapat dioptimalkan secara struktural sehingga menghasilkan peningkatan signifikan dalam aspek kekakuan, keamanan, dan efisiensi material. Berdasarkan hasil simulasi, desain *jig* yang telah dioptimasi menunjukkan penurunan tegangan maksimum hingga 55,3% serta penurunan defleksi sebesar 66,7% dibandingkan desain awal. Selain itu, faktor keamanan (*safety factor*) meningkat dari 2,3 menjadi 6,4, yang menunjukkan bahwa desain akhir memiliki margin keamanan yang tinggi dan dapat diandalkan dalam kondisi kerja yang bervariasi.

Dari sisi efisiensi material, desain hasil optimasi menunjukkan pengurangan volume sebesar 24,2% dan penurunan berat sebesar 23,8%. Temuan ini sangat relevan dalam konteks industri manufaktur karena berkontribusi

 ISSN 2987-677x

langsung pada penghematan biaya material, peningkatan ergonomi, dan efisiensi dalam proses produksi. Penurunan deformasi *jig* selama proses pengelasan juga berdampak positif terhadap konsistensi posisi kain, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap peningkatan mutu hasil pengelasan. Dengan deformasi yang lebih rendah, potensi cacat seperti lipatan atau ketegangan lokal berkurang, sehingga kualitas produk menjadi lebih stabil dan seragam.

Secara praktis, pendekatan simulasi ini menggantikan metode *trial-and-error* yang umum digunakan di industri, yang biasanya memerlukan iterasi fisik berulang dan biaya pengembangan tinggi. Dengan simulasi, proses validasi desain dapat dilakukan secara virtual, lebih cepat, dan lebih hemat sumber daya. Temuan ini tidak hanya memperlihatkan efektivitas metode CAE dalam meningkatkan performa *jig welding*, tetapi juga menunjukkan kesesuaiannya untuk diterapkan di industri akustik dan elektronik yang selama ini jarang mendapat perhatian dalam literatur terkait desain *jig* berbasis simulasi. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan simulasi dinamik dalam konteks pengelasan kain dengan karakteristik lentur dan kompleks, serta implementasinya secara langsung dalam proses produksi nyata di lingkungan manufaktur Yamaha Music.

Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi teoritis dan praktis yang penting dalam pengembangan desain *jig* yang efisien, kuat, dan mampu menjamin konsistensi kualitas produk secara berkelanjutan. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini dapat direplikasi untuk berbagai aplikasi manufaktur lain yang menghadapi tantangan serupa dalam desain dan kontrol kualitas proses pengelasan dengan presisi tinggi.

Referensi

Arohman, A. W., Purbaningrum, S. P., Solih, E. S., & Sudrajat, H. (2022). Pengaruh kuat arus terhadap kekerasan superalloy berbasis nikel menggunakan TIG. *Jurnal Teknologi dan Manajemen*, *20*(1), 9–16. https://doi.org/10.52330/jtm.v20i1.37.

Ayudya, M., & Herawan, I. G. A. W. (2017). Implementasi DMAIC Six Sigma dalam meningkatkan layanan Puskesmas X di Kota Malang. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, *3*(1), 50-60.

Azdkar, M. S., Pratikno, H., & Titah, H. S. (2018). Analisis pengelasan SMAW pada baja ASTM A36 dengan variasi elektroda terhadap sifat mekanik dan ketahanan biokorosi di lingkungan laut. *Jurnal Teknik ITS*, *7*(2). https://doi.org/10.12962/j23373539.v7i2.32118.

Fajar, A. N., Safera, I., Hustnusawab, M., & Sumpena, A. (2019). Rancang bangun jig and fixture sebagai pemosisi bor tangan. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta*, 175–180.

Fransiscus, H., Juworo, C. P., & Astari, I. S. (2014). *Implementasi metode Six Sigma DMAIC untuk mengurangi paint bucket cacat di PT X. Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, *3*(2), 53–64.

Gaspersz, V. (2007). *Lean Six Sigma for manufacturing and service industries*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

Heizer, J., & Render, B. (2009). *Manajemen operasi* (Buku 1, Edisi 9). Jakarta: Salemba Empat.

Indrayati, M. P., Djoenaidi, R., & Setiawan, A. (2021). Jig and fixture pengelasan sudut siku ukuran lebar profil (3–60 mm) di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang. *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur*, *4*(2), 17–20. https://doi.org/10.33795/jetm.v4i02.81.

Nugroho, A. (2009). *Ensiklopedia otomotif*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

Sinaga, Z., Muhazir, A., & Fuadi, M. I. (2019). Optimalisasi desain dan posisi jig welding guna mengurangi spatter pada produksi Half Outer Comp menggunakan metode DMAIC. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, *4*(2), 94–103.

Siswanto. (2011). *Konsep dasar teknik las (Teori dan praktik)*. Jakarta: PT Prestasi.

Tampubolon, M. P. (2014). *Manajemen operasi & rantai pemasok (Operation and supply-chain management)* (Edisi pertama). Jakarta: Mitra Wacana Media.

Tannady, H. (2015). *Pengendalian kualitas*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

ISSN 2987-677x

Pembangunan Jembatan Gantung Jawa Timur Bentang 80 Meter (JG Gayam)

Marianus Eko Supriyanto

[1] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ eko81bwi@gmail.com

Pembangunan Jembatan Gantung pejalan kaki dengan bentang 80 meter (JG Gayam) sangat bermanfaat sebagai penghubung Desa Lanas dan Desa Gayam, Kecamatan Botolinggo, Kabupaten Bondowoso yang dalam pelaksanaannya menggunakan metode *erection* gantung yang dilaksanakan oleh Kementrian Pekerjaan Umum, Balai Besar Jalan Nasioanal Jawa Timur-Bali pada tahun 2024/2025 yang digunakan untuk pejalan kaki dengan umur rencana 50 tahun, akan tetapi perawatan yang berkala sangat penting demi tetap kokohnya jembatan gantung tersebut.

Kata kunci: jembatan gantung, metode erection gantung, rencana 50 tahun

Pendahuluan

Pentingnya penghubung akses transfortasi yang menghubungkan antara Desa Lanas dan Desa Gayam, Kecamatan Botolinggo, Kabupaten Bondowoso, yang dipisahkan oleh Sungai Corah Misem, mendorong pemerintah pada tahun 2024/2025 melalui Kementerian Pekerjaan Umum, Balai Besar Jalan Jawa Timur–Bali, untuk melaksanakan pembangunan Jembatan Gantung Gayam. Pembangunan ini sangat ditunggu-tunggu oleh masyarakat sekitar karena dapat memotong jarak tempuh sekitar 25 kilometer bila ingin ke Kecamatan Botolinggo. Jembatan Gayam ini nantinya dipergunakan untuk pejalan kaki dan kendaraan ringan dengan berat 300 kg/m^2, serta mempertimbangkan kenyamanan, yaitu mampu dilewati 40 orang yang berjalan beriringan. Desain jembatan ini terdiri dari gelagar melintang lantai, dengan pelat lantai berupa *deck* baja dan digantung dengan *hanger* ke kabel utama. Komponen satu dengan komponen yang lain dari jembatan ini disambung menggunakan baut, pin, dan resin. Selain itu, jembatan ini juga dilengkapi dengan tumpuan karet sebagai peredam gempa. Bangunan atas jembatan berfungsi sebagai pemikul langsung beban pejalan kaki, yang terdiri dari sistem lantai *checkered plate*, gelagar melintang, *hanger*, kabel, *pylon*, dan pagar pengaman. Seluruh gaya yang bekerja dipikul oleh sepasang kabel utama dan ditumpukan ke kedua menara/*pylon*, sedangkan ujung kabel utama ditahan oleh blok angkur.

Metode

Untuk metode pekerjaan Jembatan Gantung pejalan kaki bentang 80 meter ini yang digunakan adalah dengan sistem *erection* gantung. Material yang digunakan adalah material baja. Jembatan ini direncanakan dirakit secara bertahap, dengan metode gantung pada tiap komponennya, sehingga tidak memerlukan perancah pada tengah bentang jembatan.

Hasil Kerja

Stacking Out

Memastikan jarak minimal *abutment* ke tepi sungai minimal 5 meter dan elevasi *base plate pylon* pada kedua kaki *pylon* sejajar (pada elevasi yang sama).

Pekerjaan Bangunan Bawah dan *Setting* Angkur *Pylon*

Bangunan bawah jembatan terdiri struktur pondasi yang dikerjakan sebelum struktur baja jembatan dirakit. Memastikan elevasi pada setiap *base plate* sama rata dan sejajar (sudut 0˚), serta sudut angkur *block* terlihat dengan kokoh pada pembesian dengan sudut 30˚. Yang termasuk pekerjaan bangunan bawah, yaitu:

- Pekerjaan pondasi *block* angkur.
- Pekerjaan pondasi angkur *pylon.*

Komponen angkur pada jembatan gantung pejalan kaki menggunakan *standard* JIS G3112 *grade* SR24, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tensile Strength : 382-520 Mpa
Yield Strength : 235 MPa (minimum)
Finish : *Hot Dip Galvanized*

Jumlah angkur yang diperlukan untuk *pylon*
= Dia 32 x 1364; Qty = 80 pcs
Jumlah angkur yang diperlukan untuk *deck*
= Dia 32 x 660; Qty = 16 pcs

Seluruh komponen yang membentuk satu kesatuan bentangan jembatan dan peralatan kerja yang dibutuhkan untuk perakitan dan pemasangan jembatan untuk spesifikasi material/bahan yang digunakan seperti Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Tabel Bahan Jembatan

No.	Komponen	Spesifikasi	
		Kode	*Grade*
1	Struktur baja (*gelagar*, *pylon*, *deck* lantai)	JIS G3101	SS400
2	*Saddle*	JIS G3106	SMA490YB
3	Kabel baja	JIS G3525	IWRC 6×WS36 Gr B (1770 MPa)
4	Sambungan baut	Gr. 8.8	Gr. 8.8
5	*Hanger rod*	JIS G4051	S45C
6	*Shackle* & *turnbuckle*	Baja tuang	Tegangan leleh minimum 245 MPa
7	Blok angkur	JIS G4051	S45C
8	*Bearing pad*	SNI 3967:2013	Neoprene

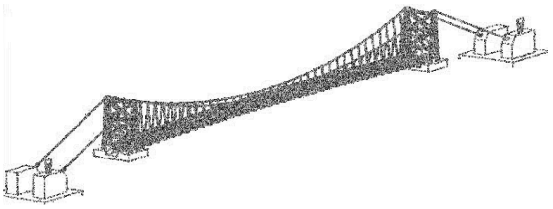
Alat bantu perakitan jembatan yang perlu disediakan tersebut merupakan peralatan sederhana yang mudah digunakan walaupun menggunakan pekerja yang tidak terlatih. Peralatan minimum yang digunakan selama proses

 ISSN 2987-677x

perakitan jembatan gantung pejalan kaki seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Tabel Daftar Peralatan Minimum yang Dibutuhkan

No.	Peralatan	No.	Peralatan
1	Total station / Theodolit	7	Kunci pas
2	Meteran	8	Kunci torsi M20, M16, dan M12
3	Palu	9	Gerinda potong
4	Gergaji	10	*Body harness*
5	Cangkul	11	Tali tambang
6	*Tackle* 5 cm dan 20 cm	12	Sarung tangan

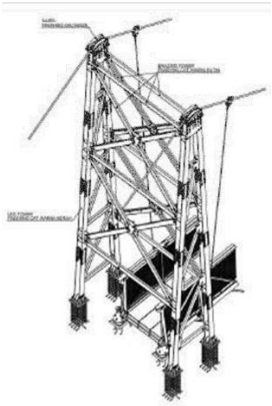


Gambar 1 Jembatan Gantung

Pemasangan *Pylon*

Memastikan jarak antar kaki *pylon* sesuai dengan desain, dan pemasangan baut serta pengencangan baut 70% saat pemasangan dan 100% apabila komponen sudah terpasang semua. Tahapan pekerjaan:

1. Sebelum pemasangan *pylon* agar dilakukan koordinasi dengan bangunan bawah untuk memastikan posisi angkur *pylon* sesuai dengan gambar rencana.
2. *Jika* posisi angkur tidak sesuai, maka *pylon* sulit untuk terpasangan sempurna atau tidak bisa dirakit sama sekali.
3. Disarankan untuk menggunakan *mobile crane* untuk pemasangan *tower pylon*, dengan pertimbangan keselamatan dan efektivitas. Namun, bila *mobile crane* tidak memungkinkan digunakan di lokasi, maka dapat menggunakan alat bantu berupa *gin pole*. Berikut gambar *Pylon.*



Gambar 2 Gambar *Pylon*

Pemasangan Kabel

Salah satu komponen yang memerlukan penanganan khusus saat persiapan hingga pekerjaan perakitan adalah wire rope atau kabel baja. Hal penting yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

- Semua kabel baja harus disimpan di tempat yang kering dan jauh dari tempat yang terkontaminasi seperti air laut, asam dan basa. Masalah yang sering terjadi saat penyimpanan adalah keroposnya gulungan kabel baja sehingga menyulitkan pada saat pemasangan dan akhirnya kabel baja tersebut tidak dapat dipakai. Untuk itu sangatlah penting memastikan tempat penyimpanan jauh dari lumpur, air, dan rayap. Jika belum yakin, minta petunjuk dari ahlinya.
- Kabel baja dapat mengalami kerusakan yang tidak dapat diperbaiki ataukerusakan yang dapat memperpendek umur pemakaiannya karena kesalahan saat pembongkaran atau penanganan. Hal ini seringkali terjadi saat pembongkaran dari truk dengan menggunakan forklift atau saat dibongkar dari koil atau gulungan. Kesalahan ini sering tidak disadari oleh pengguna.
- Kabel baja hendaknya jangan sampai terpelintir atau kusut. Saat pembongkaran gulungan atau koil, hendaknya dilakukan secara natural dan hindari timbulnya puntiran. Kesalahan saat pembongkaran dari gulungan atau koil ini seringkali menyebabkan penurunan umur rencana kabel baja. Oleh sebab itu, hendaknya pembongkaran kabel baja dilakukan oleh operator yang terlatih.
- Untuk memudahkan pemasangan dan mengurangi resiko kecelakaan kerja, maka kabel baja harus dipotong dengan alat potong yang sesuai.
- Sebelum proses pemotongan dilakukan, kabel baja harus diikat dengan ikatan kawat untuk menghindari kabel baja terpuntir. Disarankan agar menggunakan kawat bendrat galvanis.
- Terdapat beberapa cara pemasangan kabel baja yang lebih mudah untuk menghindari kerusakan kabel baja saat pemasangan. Secara umum, ketika kabel baja dibentangkan harus dalam kondisi lurus untuk membuang puntiran yang mungkin terjadi dan juga menghindari terjadinya kusut. Gulungan kabel baja harus dipasang di atas penyangga agar dapat berputar dengan baik saat ditarik.

Tahapan pekerjaan meliputi:

1. Posisikan *reel*/gulungan kabel dengan benar dan tidak bergeser selama pembongkaran kabel.
2. Tandai/*marking* posisi tiap *center pylon* pada kebel menggunakan cat atau penanda lain.
3. Seberangkan ujung kabel yang lain, yaitu yang akan dikaitkan dengan *pylon.*
4. Setelah ujung kabel utama sampai di seberang, kemudian naikan kabel keatas *pylon* dengan batuan katrol.

Kabel sebaiknya dibentangkan dulu sebelum dipotong pada semua sisi, dan tidak diperkenankan dipotong pada satu sisi saja.

Pekerjaan Sambungan

Sambungan pada struktur jembatan pejalan kaki menggunakan baut *grade* 8.8. Spesifikasi baut *grade* 8.8 disampaikan pada Tabel 3 berkut ini.

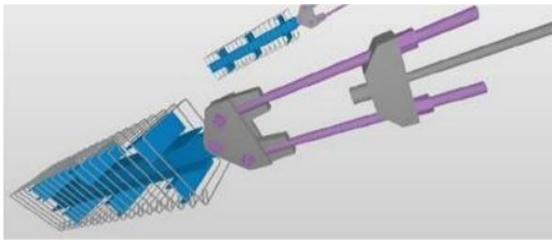
Tabel 3 Tabel Spesifikasi Baut

Head Marking	*Class and Material*	*Nominal Size Range*	*Mechanical Properties*		
			Proof Load	*Min. Yield Strength*	*Min. Tensile Strength*
		(mm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
	Class 8.8 Medium carbon steel, quenched and tempered	All Sizes below 16 mm	580	640	800
		16 mm - 72 mm	600	660	830

 ISSN 2987-677x

Pekerjaan Blok Angkur

Blok angkur digunakan sebagai sambungan setiap kabel utama/*main rope* ke pondasi blok angkur. Terdapat 4 (empat) set blok angkur yang digunakan untuk jembatan gantung 80 m.



Gambar 3 Gambar Blok Angkur

Pengecoran Resin dan Socket

Untuk tahapan pekerjaannya sebagai berikut:

1. Persiapan material resin sesuai volume masing-masing lubang *end socket*.
2. Ikatlah kabel/*wire rope* dengan kawat pengikat/*seizing*, dengan jarak 330 mm dari ujung *wire rope*.
3. Masukkan *wire rope* ke dalam *end socket.*
4. Pisahkan untaian *wire rope* dari satu-kesatuan untaian.
5. Pembersihan kawat *wire rope* yang telah dimekarkan.
6. Pembersihan serabut *wire rope* tidak boleh menggunakan asam, soda, *methol hydrate*, atau *acetone*.
7. Untuk memastikan posisi *socket* dan *wire rope* tidak goyang, gunakan konstruksi kokoh untuk mengunci *wire rope* dan *socket*. Hal ini dikarenakan jika terjadi goyangan akan mengakibatkan adanya ruang kosong di dalam *end socket* sehingga mengurangi kekuatan. Letakkan *socket* dalam keadaan rata dan *wire rope* tegak lurus terhadap *socket*.
8. Kemudian pastikan kabel yang terurai terlihat di ujung *socket* dengan jarak antar ujung kabel ke ujung *socket* sebesar 150 mm.
9. Kemudian, bagian bawah lubang blok angkur yang masih terdapat celah/rongga ditutup dengan menggunakan malam/lilin/tanah liat/bahan aspal sampai tidak ada celah/rongga untuk menghindari kebocoran resin WIRELOCK® saat pengecoran.
10. Siapkan material resin sesuai kebutuhan volume *end socket*. Material resin terdiri dari dua komponen yang harus dicampur menjadi satu kesatuan yang homogen. Tuang seluruh isi campuran komponen ke dalam tempat pencampuran kemudian aduk sebentar dan pastikan tidak ada campuran komponen yang menggumpal, kemudian masukkan seluruh cairan resin dan aduk merata selama kurang lebih 2 (dua) menit oleh batang pengaduk sampai kedua bahan tersebut tercampur merata. Resin WIRELOCK® akan berubah warna dari kuning kecokelatan menjadi biru kehijauan.

Bahan resin yang digunakan adalah produk WIRELOCK® yang terdiri dari dua komponen, yaitu resin 250 cc dan *granular compound* 250 cc. Total resin yang digunakan untuk satu jembatan 12 paket, masing-masing paket terdiri dari 1 kaleng resin 250 cc dan 1 kaleng *granular compound* 250 cc. Terdapat 4 pcs socket, masing-masing *socket* membutuhkan 3 paket resin. Pastikan resin tidak kadaluarsa dengan kebutuhan 1265 cc/*anchor block*. Usia kadaluarsa WIRELOCK® adalah 18 bulan sehingga perlu diperiksa label kadaluarsa sebelum digunakan.

Pekerjaan *Pre – Sagging*

Pre-sagging diukur dari garis lurus *as wire rope* di atas *roller* dengan *as wire rope* di posisi tengah bentang jembatan.

Pemasangan *Turnbuckle* dan *Hanger*

Kriteria bahan *turnbuckle* adalah:

- Bahan terbuat dari bahan baja tuang dengan tegangan leleh fy= 245 Mpa, dengan pelapisan *hot dip galvanized.*
- *Turncbuckle* dapat menahan beban 3265,87 kg.
- Ukuran *turnbuckle* 7/8" x 12" dengan *type* ulir UNC.
- Jumlah *turnbuckle* yang diguanakan 2 pcs untuk setiap *hanger rod.*
- Memastikan *turnbuckle* dipasang satu arah dan pengencangan *clamp hanger* 100%.

Pemasangan Rangka Gelegar

Pengencangan baut pada komponen rangka gelegar secara bertahap sampai 100%. Tahapan pekerjaannya meliputi:

- Pemasangan *cross grider* dan sambungkan dengan set *hanger*.
- Pasang diagonal *bracing* untuk sambungan diagonal *cross girder*.
- Pasang *bottom cord*, *plate gusset*, dan *plate splice* untuk sambungan memanjang antara *cross girder*.

Penyetelan *Camber*

Penyetelan *camber* dilakukan dari tepi menuju tengah bentang jembatan. Pengecekan *camber* ini bisa dilakukan dengan alat total *station*/*theodolit*, jika *camber* belum sesuai maka putar kembali *turnbuckle* pada *hanger*. Pengaturan *camber* harus bertahap dari notasi 01 sampai 30.

Geometrik jembatan gantung pejalan kaki di atas adalah sebagai berikut:

Panjang bentang	: 80 meter
Tinggi *tower pylon*	: 11 meter
Jarak as antar kaki tower	: 5 meter
Panjang segmen lantai	: 2 meter
Lebar lantai	: 1.8 meter
Lebar jembatan	: 3 meter

Faktor-Faktor Penyebab Kerusakan Komponen Jembatan

Penanganan yang salah dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen jembatan yang mengakibatkan komponen tersebut tidak dapat dipasang atau berfungsi sebagaimana mestinya dan mempengaruhi kinerja jembatan secara keseluruhan. Faktor-faktor penyebab kerusakan komponen jembatan antara lain sebagai berikut:

- Penandaan (*marking*) yang tidak benar atau salah pemasangan mengakibatkan komponen jembatan tertukar sehingga tidak dapat dipasang.
- *Packing* yang tidak benar mengakibatkan kerusakan komponen pada jembatan dan bisa mengurangi usia komponen tersebut.
- Area penyimpanan yang kotor, lembab, serta terkontaminasi basa dan asam mengakibatkan lapuknya kayu landasan untuk komponen jembatan.
- *Packing* kabel baja yang tidak benar mengakibatkan kabel baja terpelintir dan berubah bentuk sehingga sulit

 ISSN 2987-677x

untuk dibentangkan.
- Galvanis pada komponen yang terlepas atau terkelupas akan menimbulkankorosi pada baja.
- Perbaikan atau pergantian komponen jembatan yang rusak atau hilang pada waktu jembatan telah terbebani akan mengakibatkan runtuhnya elemen lainnya dan keruntuhan struktur.

Pengecekan Akhir

Tahapan pekerjaannya meliputi:
- Periksa bentuk geometri dan elevasi jembatan dengan menggunakan *theodolite* dan *waterpass*.
- Periksa kembali kekencangan semua mur baut dan *clamp* kabel, jika sudah kencang tandai dengan garis putih atau sejenisnya.
- Periksa ketepatan *camber* sesuai dengan gambar perakitan.
- Lakukan pemeriksaan posisi kabel di atas *pulley saddle* apakah sudah tepat dan pastikan diberikan pelumas di daerah tersebut untuk mengurangi gesekan.
- Lakukan pemeriksaan pada *wind rope* dan pastikan jembatan tidak bergoyang.

Pekerjaan pemeliharaan diperlukan untuk menjaga fungsi jembatan sebagaimana diharapkan dan juga bisa memperpanjang usia jembatan. Pemeliharaan rutin diperlukan untuk mengetahui kerusakan-kerusakan yang terjadi pada komponen jembatan karena hal itu bisa meyebabkan bahaya. Beban maksimal jembatan adalah sebesar 300 kg/m2.

Gambar 3 Gambar Jembatan Gantung Gayam

Kesimpulan

Pelaksanaan pekejaan jembatan gantung bentang 80 meter ini sangat bermanfaat bagi masyarakat, sebagai alat penghubung antar desa yang dipisahkan oleh sungai. Akan tetapi, pemeliharaan dari sarana ini tentunya juga penting agar umur rencana jembatan ini tetap terjaga dengan baik dan aman bagi para penggunanya.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada Bapak/Ibu dosen pembimbing PSPI UKWM Surabaya, Kementrian PU Balai Jalan Nasional Jawa-Bali, Kontraktor, serta rekan Konsultan pengawas, sehingga artikel ini bisa terwujud.

Referensi

Badan Standardisasi Nasional. (1994a). *SNI 03-3428-1994: Perencanaan jembatan gantung*. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (1994b). *SNI 03-3429-1994: Pelaksanaan jembatan gantung*. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 1725:2016: Pembebanan untuk jembatan*. Jakarta: BSN.

Kementerian Pekerjaan Umum. (2010). *Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No.02/SE/M/2010 tentang Pemberlakuan Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi Jembatan Gantung*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.

Kementerian Pekerjaan Umum. (2024a). *Buku saku perakitan dan pemasangan jembatan gantung pejalan kaki tipe rigid bentang 80 meter*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.

Kementerian Pekerjaan Umum. (2024b). *Manual book perakitan dan pemasangan jembatan gantung pejalan kaki tipe rigid bentang 80 meter*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.

Kementerian Pekerjaan Umum. (2024c). *Perencanaan teknis jembatan gantung: Jembatan Gantung Gayam, Kabupaten Bondowoso*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum;

ISSN 2987-677x

Kesiapan Laboratorium Konstruksi Bina Marga Kabupaten Pasuruan Menghadapi Proses Akreditasi: Studi Kasus dan Pengalaman

Sarinah Rostief[1] Deddy Hafiluddin A. M[1]

[1]Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

✉ nonanoet@gmail.com

✉ presisi.design@gmail.com

Laboratorium Konstruksi Bina Marga Kabupaten Pasuruan mempersiapkan diri untuk mengikuti proses akreditasi ISO/IEC 17025:2017 untuk memastikan kualitas pengujian material konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesiapan laboratorium dalam menghadapi akreditasi, dengan fokus pada sistem manajemen mutu, kompetensi personel, peralatan, dan dokumentasi pengujian. Metode yang digunakan adalah pendekatan kualitatif dengan studi kasus, melalui wawancara, observasi, dan analisis dokumen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laboratorium telah menunjukkan kesiapan yang baik pada sebagian besar aspek, khususnya dalam sistem manajemen mutu dan pemenuhan peralatan. Namun, tantangan utama terdapat pada dokumentasi dan pengujian, yang memerlukan pembaruan dan perbaikan lebih lanjut. Rekomendasi utama adalah mempercepat pembaruan peralatan, melanjutkan pelatihan personel, dan memperbaiki sistem dokumentasi untuk memastikan kesuksesan dalam proses akreditasi.

Kata kunci: akreditasi, laboratorium konstruksi, ISO/IEC 17025, Bina Marga, pengujian material, standar akreditasi

Pendahuluan

Akreditasi laboratorium adalah proses penting yang memastikan bahwa laboratorium pengujian memenuhi standar internasional terkait kompetensi teknis dan sistem manajemen mutu. Dalam industri konstruksi, laboratorium yang terakreditasi memiliki peran vital dalam menjamin keandalan hasil uji material, yang langsung berdampak pada kualitas dan keselamatan struktur bangunan (Witara, 2018). Di Indonesia, ISO/IEC 17025:2017 adalah standar internasional yang diterapkan dalam akreditasi laboratorium pengujian dan kalibrasi, termasuk laboratorium konstruksi (Setyoko et al., 2020). Standar ini mencakup persyaratan manajemen mutu serta persyaratan teknis yang harus dipenuhi oleh laboratorium agar dapat dinyatakan kompeten dalam melaksanakan pengujian yang valid dan dapat dipercaya (Hadi, 2018).

Laboratorium Konstruksi Bina Marga Kabupaten Pasuruan, sebagai salah satu laboratorium yang terlibat dalam pengujian material konstruksi untuk proyek-proyek pembangunan di Kabupaten Pasuruan, memiliki peran strategis dalam memastikan kualitas beton, agregat, dan bahan bangunan lainnya. Dalam upaya untuk meningkatkan kualitas pelayanan dan mengoptimalkan hasil pengujian, laboratorium ini tengah mempersiapkan diri untuk mengikuti proses akreditasi ISO/IEC 17025.

Proses akreditasi ini tidak hanya melibatkan peningkatan kompetensi teknis laboratorium, tetapi juga memerlukan perbaikan dalam sistem manajemen mutu yang ada. Berbagai tantangan dan hambatan kerap dihadapi, mulai dari persiapan dokumentasi yang lengkap, pemenuhan peralatan yang sesuai, hingga pelatihan personel yang kompeten. Oleh karena itu, penting untuk melakukan analisis terhadap kesiapan Laboratorium Konstruksi Bina Marga Kabupaten Pasuruan dalam menghadapi proses akreditasi ini, serta mengidentifikasi langkah-langkah yang perlu diambil untuk memastikan kelancaran dan keberhasilan akreditasi.

Kegiatan yang dikerjakan dalam proses akreditasi meliputi beberapa langkah penting, antara lain persiapan dokumen sistem manajemen mutu, penyusunan dan verifikasi kompetensi personel, evaluasi peralatan dan pemeliharaannya, audit internal dan pemeriksaan lapangan, perbaikan dan tindakan korrektif, serta keputusan akreditasi dan pemantauan berkelanjutan (Astuti, 2020).

ISO/IEC 17025:2017 adalah standar internasional yang menetapkan persyaratan umum untuk kompetensi laboratorium pengujian dan kalibrasi (Capryani et al., 2017). Standar ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu persyaratan manajemen dan persyaratan teknis. Bagian pertama berkaitan dengan sistem manajemen mutu yang memastikan laboratorium memiliki prosedur yang terdokumentasi untuk mengelola proses uji secara efektif dan efisien. Bagian kedua menetapkan persyaratan teknis untuk memastikan laboratorium memiliki kompetensi untuk melaksanakan pengujian dan kalibrasi sesuai dengan metode yang berlaku dan dapat diandalkan (Heires, 2008).

Standar ini berfungsi sebagai acuan global bagi laboratorium yang ingin memperoleh akreditasi. Laboratorium yang memenuhi standar ISO/IEC 17025 menunjukkan bahwa mereka memiliki sistem manajemen mutu yang baik dan mampu menghasilkan data uji yang akurat, terpercaya, dan dapat diterima secara internasional. Penerapan ISO/IEC 17025 juga meningkatkan kredibilitas laboratorium dan menjamin kualitas hasil uji yang diterima oleh pelanggan (Hadi, 2018).

Akreditasi laboratorium konstruksi sangat penting dalam memastikan kualitas pengujian material yang digunakan dalam proyek pembangunan (Nasional, 2009). Laboratorium yang terakreditasi dapat menjamin bahwa proses pengujian material konstruksi seperti beton, agregat, dan baja dilakukan sesuai dengan prosedur yang

 ISSN 2987-677x

terstandarisasi dan di bawah pengawasan yang ketat (Pratiwi & Pudyastuti, 2023). Hal ini penting karena kualitas material yang digunakan sangat berpengaruh pada ketahanan dan keamanan bangunan (Pratiwi & Pudyastuti, 2023).

Sebagai contoh, dalam pengujian beton, laboratorium yang terakreditasi dapat memastikan bahwa beton yang diuji memenuhi standar kekuatan tekan yang diperlukan untuk memastikan kestabilan struktur bangunan. Tanpa akreditasi, laboratorium tidak dapat dipastikan memiliki prosedur dan kontrol kualitas yang memadai, yang berisiko menghasilkan data yang tidak akurat dan merugikan proyek konstruksi (Shin et al., 2023).

Proses akreditasi laboratorium konstruksi melibatkan beberapa tahapan yang bertujuan untuk memastikan laboratorium memenuhi standar kompetensi teknis dan manajemen yang ditetapkan (Witara, 2018). Proses ini dimulai dengan pengajuan permohonan akreditasi kepada lembaga akreditasi, diikuti dengan penyusunan dokumen sistem manajemen mutu, verifikasi peralatan dan metode uji, serta pelatihan personel. Selain itu, dilakukan audit internal dan eksternal untuk menilai sejauh mana laboratorium telah memenuhi persyaratan standar (Gunawan & Rahardjo, 2022).

Setelah audit, jika laboratorium dinyatakan memenuhi persyaratan, maka sertifikat akreditasi akan diberikan. Namun, proses ini tidak berhenti pada pemberian sertifikat, karena laboratorium harus menjalani pemantauan dan audit berkala untuk memastikan mereka tetap mematuhi standar yang berlaku (Widyaningrum et al., 2025).

Artikel ini bertujuan untuk mengulas kesiapan Laboratorium Konstruksi Bina Marga Kabupaten Pasuruan dalam menghadapi proses akreditasi ISO/IEC 17025. Dengan pendekatan studi kasus, artikel ini akan mengeksplorasi pengalaman laboratorium dalam persiapan akreditasi, tantangan yang dihadapi, serta solusi yang diterapkan untuk memenuhi standar internasional tersebut. Diharapkan hasil dari studi ini dapat memberikan wawasan bagi laboratorium lain yang ingin mengikuti proses akreditasi serta meningkatkan kualitas laboratorium konstruksi di Indonesia.

Metode

1. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan studi kasus untuk menganalisis kesiapan Laboratorium Konstruksi Bina Marga Kabupaten Pasuruan dalam menghadapi proses akreditasi ISO/IEC 17025:2017. Pendekatan ini dipilih karena fokus penelitian adalah menggali pengalaman dan tantangan yang dihadapi laboratorium dalam mempersiapkan akreditasi serta mengevaluasi kesiapan aspek teknis dan manajerial laboratorium.

2. Subyek Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi Bina Marga Kabupaten Pasuruan, yang bertanggung jawab untuk pengujian material konstruksi untuk berbagai proyek pembangunan di Kabupaten Pasuruan. Laboratorium ini sedang mempersiapkan diri untuk mengikuti proses akreditasi ISO/IEC 17025:2017.

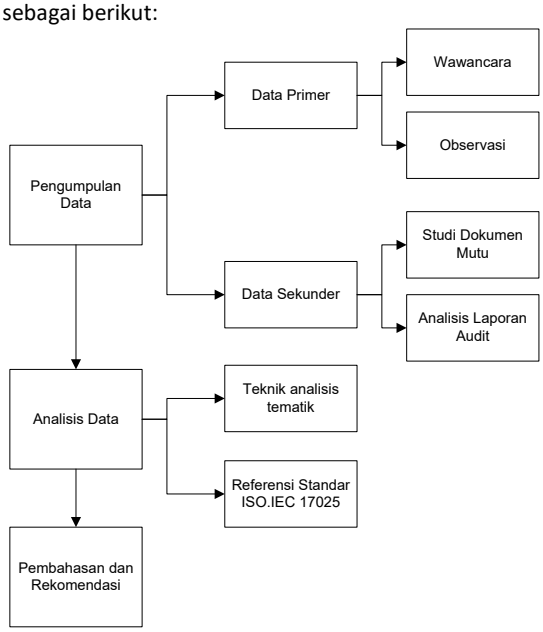
3. Sumber Data

Sumber data dalam penelitian ini terdiri dari:

a. Wawancara
   Wawancara mendalam dilakukan dengan pihak-pihak yang terlibat langsung dalam proses persiapan akreditasi, termasuk kepala laboratorium, personel teknis, serta staf yang bertanggung jawab atas sistem manajemen mutu dan kualitas pengujian.
b. Dokumentasi
   Dokumen-dokumen terkait yang digunakan dalam proses akreditasi, seperti manual mutu, prosedur operasional standar (SOP), instruksi kerja, catatan pelatihan personel, laporan audit internal, dan dokumen verifikasi peralatan dan kalibrasi.
c. Observasi
   Pengamatan langsung dilakukan di laboratorium untuk menilai implementasi prosedur manajemen mutu dan sistem pengujian, serta kondisi fasilitas dan peralatan yang digunakan.

4. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:



Gambar 1 Prosedur Penelitian

5. Validitas dan Reliabilitas

Untuk memastikan validitas dan reliabilitas data, penelitian ini menggunakan triangulasi data (Sepriano et al., 2025), yaitu pengumpulan data dari berbagai sumber (wawancara, dokumentasi, dan observasi) untuk mendapatkan pandangan yang lebih komprehensif tentang kesiapan laboratorium dalam menghadapi akreditasi. Selain itu, verifikasi data dilakukan dengan melibatkan lebih dari satu sumber informasi, termasuk pihak laboratorium dan dokumentasi resmi (Puspitarini et al., 2025).

6. Batasan Penelitian

Penelitian ini terbatas pada Laboratorium Konstruksi Bina Marga Kabupaten Pasuruan, sehingga hasil dan temuan penelitian ini mungkin tidak sepenuhnya dapat digeneralisasi ke laboratorium konstruksi lain yang belum mengikuti proses akreditasi atau yang memiliki konteks berbeda.

 ISSN 2987-677x

Hasil dan Pembahasan

1. Kesiapan Laboratorium Konstruksi Bina Marga Kabupaten Pasuruan

Laboratorium Konstruksi Bina Marga Kabupaten Pasuruan telah melakukan berbagai persiapan untuk menghadapi proses akreditasi ISO/IEC 17025:2017. Berdasarkan hasil wawancara dan analisis dokumen, berikut adalah hasil evaluasi kesiapan laboratorium pada beberapa aspek utama, yaitu:

a. Sistem Manajemen Mutu
Laboratorium telah menyusun Manual Mutu dan Prosedur Operasional Standar (SOP) yang sesuai dengan standar ISO/IEC 17025. Dokumen-dokumen tersebut mencakup aspek pengendalian mutu pengujian, pengelolaan peralatan, serta prosedur audit internal dan eksternal. Meski demikian, beberapa SOP masih perlu diperbarui untuk menyesuaikan dengan perkembangan terkini dalam praktik laboratorium dan perubahan regulasi yang relevan.

b. Kompetensi Personel
Laboratorium telah melakukan pelatihan kepada personel untuk memastikan kompetensi mereka dalam melaksanakan pengujian sesuai standar. Namun, berdasarkan hasil wawancara, ada kebutuhan untuk pelatihan lanjutan, terutama dalam pemahaman mendalam terhadap metode pengujian tertentu dan prosedur manajemen mutu yang lebih terperinci. Beberapa personel juga masih perlu memperbaharui sertifikasi kompetensinya.

c. Peralatan dan Kalibrasi
Laboratorium telah memenuhi persyaratan peralatan dengan melakukan kalibrasi dan pemeliharaan secara rutin. Peralatan yang digunakan, seperti mesin uji tekan dan peralatan kalibrasi, tercatat dalam dokumen log kalibrasi. Meski demikian, beberapa peralatan lama perlu diganti atau diperbaharui untuk memenuhi standar terkini yang lebih ketat.

2. Proses Akreditasi yang Dihadapi Laboratorium

Proses akreditasi yang dihadapi oleh Laboratorium Konstruksi Bina Marga Kabupaten Pasuruan berjalan melalui beberapa tahapan penting.

a. Audit Dokumen dan Persiapan
Sebelum audit eksternal dilakukan, laboratorium telah menyusun seluruh dokumen yang diperlukan, termasuk manual mutu, laporan audit internal, dan prosedur pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa laboratorium sudah cukup siap dalam hal dokumentasi dan manajemen mutu.

b. Audit Lapangan
Pada tahap ini, tim auditor KAN melakukan pemeriksaan di lokasi untuk mengevaluasi sejauh mana laboratorium menerapkan sistem manajemen mutu dan prosedur yang telah ditetapkan. Berdasarkan laporan sementara, meskipun laboratorium telah mematuhi sebagian besar persyaratan, beberapa ketidaksesuaian ditemukan pada prosedur verifikasi peralatan dan dokumentasi pengujian, yang memerlukan perbaikan sebelum akreditasi dapat diberikan.

3. Pengalaman dan Tantangan yang Dihadapi

Selama proses persiapan akreditasi, beberapa tantangan signifikan dihadapi oleh Laboratorium Konstruksi Bina Marga Kabupaten Pasuruan antara lain dokumentasi yang Komprehensif. Menyusun dan memperbarui dokumentasi yang sesuai dengan standar ISO/IEC 17025 terbukti menjadi tantangan besar, terutama dalam menyelaraskan berbagai prosedur yang ada dengan persyaratan akreditasi. Beberapa dokumen, seperti catatan pelatihan personel dan laporan kalibrasi peralatan, perlu disesuaikan dengan format yang lebih terstruktur dan rinci.

Selain itu, pemenuhan standar peralatan. Meskipun sebagian besar peralatan sudah terkalibrasi dengan benar, laboratorium menghadapi kesulitan dalam mengganti beberapa peralatan lama yang tidak lagi memenuhi standar terkini. Oleh karena itu, ada kebutuhan untuk berinvestasi lebih banyak dalam pembaruan peralatan agar memenuhi standar yang ditetapkan oleh KAN.

Kemudian pelatihan personel. Laboratorium telah melaksanakan pelatihan untuk personel, tetapi pelatihan lanjutan dan sertifikasi kompetensi masih diperlukan untuk memastikan semua anggota tim memiliki pemahaman yang mendalam mengenai standar akreditasi dan penerapan metode uji yang tepat.

4. Perbandingan dengan Laboratorium Lain

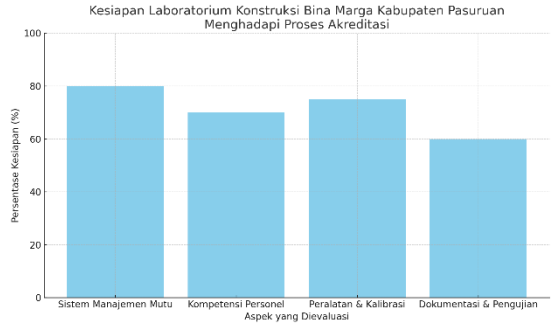
Berdasarkan literatur dan wawancara dengan beberapa laboratorium yang telah terakreditasi, Laboratorium Konstruksi Bina Marga Kabupaten Pasuruan menghadapi tantangan yang serupa dengan laboratorium lain, seperti peningkatan prosedur dokumentasi, pembaruan peralatan, dan pengembangan kompetensi personel. Namun, beberapa laboratorium lain melaporkan bahwa dengan adanya dukungan penuh dari manajemen dan investasi yang memadai, mereka berhasil mengatasi tantangan ini dalam waktu yang lebih singkat. Hal ini menunjukkan pentingnya komitmen manajemen dan alokasi anggaran yang tepat untuk mendukung proses akreditasi. Pada Tabel 1 digambarkan aspek-aspek yang di evaluasi beserta kesiapan laboratorium, tantangan yang dihadapi, serta rekomendasinya.

 ISSN 2987-677x

Tabel 1 Hasil Rekomendasi Kesiapan Laboratorium

Aspek yang Dievaluasi	Kesiapan Laboratorium	Tantangan yang Dihadapi	Rekomendasi
Sistem Manajemen Mutu	Manual mutu dan SOP sudah disusun dan diterapkan	Beberapa SOP perlu diperbarui sesuai dengan perkembangan terbaru	Pembaruan dan penyusunan SOP yang lebih terperinci dan terstruktur
Kompetensi Personel	Pelatihan sudah dilakukan, personel memiliki sertifikasi dasar	Perlu pelatihan lanjutan untuk beberapa personel	Menyelenggarakan pelatihan berkelanjutan dan sertifikasi ulang
Peralatan dan Kalibrasi	Peralatan telah terkalibrasi sesuai dengan standar yang berlaku	Beberapa peralatan lama perlu diperbarui	Penggantian dan pembaruan peralatan yang lebih modern dan sesuai standar
Dokumentasi dan Pengujian	Dokumentasi pengujian sudah lengkap namun perlu penyempurnaan	Beberapa laporan kalibrasi dan hasil uji tidak terdokumentasi dengan baik	Memastikan semua hasil uji dan kalibrasi terdokumentasi dengan rapi dan terperinci

Pada Gambar 2 menunjukkan persentase kesiapan Laboratorium Konstruksi Bina Marga Kabupaten Pasuruan dalam empat aspek yang dievaluasi untuk proses akreditasi ISO/IEC 17025. Dari grafik tersebut, dapat dilihat bahwa laboratorium memiliki kesiapan yang cukup baik di sebagian besar aspek. Sistem manajemen mutu menunjukkan persentase kesiapan tertinggi, yaitu 80%, yang mengindikasikan bahwa laboratorium telah memiliki sistem manajemen yang matang dan prosedur yang terdokumentasi dengan baik. Peralatan dan Kalibrasi juga menunjukkan kesiapan yang cukup tinggi di angka 75%, menunjukkan bahwa laboratorium memiliki peralatan yang telah terkalibrasi dan terawat sesuai dengan standar yang berlaku.



Gambar 2 Hasil Kesiapan Laboratorium Konstruksi

Namun, aspek dokumentasi dan pengujian memiliki persentase kesiapan terendah, yaitu 60%. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat kebutuhan untuk memperbaiki dan memperbaharui sistem dokumentasi, serta memastikan bahwa semua hasil pengujian tercatat dengan rapi dan sesuai dengan prosedur yang disyaratkan. Meskipun demikian, secara keseluruhan, kesiapan laboratorium dalam menghadapi akreditasi sudah cukup baik, dan dengan perbaikan pada aspek dokumentasi, laboratorium diharapkan dapat memenuhi seluruh persyaratan akreditasi ISO/IEC 17025 dengan sukses.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa Laboratorium Konstruksi Bina Marga Kabupaten Pasuruan telah menunjukkan kesiapan yang signifikan dalam menghadapi proses akreditasi ISO/IEC 17025:2017. Laboratorium ini telah melakukan persiapan yang mencakup penyusunan sistem manajemen mutu, pelatihan personel, dan pemeliharaan peralatan untuk memastikan kualitas hasil uji material konstruksi.

Namun, meskipun telah menunjukkan kemajuan yang positif, beberapa tantangan masih perlu diatasi, terutama dalam hal pembaruan peralatan, peningkatan kompetensi personel, dan penyesuaian dokumen pengujian agar lebih sesuai dengan standar internasional.

Dengan adanya perbaikan pada aspek-aspek tersebut, laboratorium ini diperkirakan akan memenuhi seluruh persyaratan yang ditetapkan oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN) dan berhasil meraih akreditasi. Proses akreditasi ini bukan hanya akan meningkatkan kredibilitas laboratorium, tetapi juga meningkatkan kualitas pengujian material konstruksi yang pada gilirannya mendukung kesuksesan proyek-proyek pembangunan di Kabupaten Pasuruan.

Rekomendasi utama untuk keberhasilan akreditasi adalah mempercepat pembaharuan peralatan, melanjutkan pelatihan berkelanjutan bagi personel, serta memperbaiki dokumentasi pengujian dan kalibrasi peralatan agar lebih sistematis dan terstruktur.

Dengan langkah-langkah tersebut, Laboratorium Konstruksi Bina Marga Kabupaten Pasuruan diharapkan dapat memastikan keberhasilan akreditasi dan memberikan kontribusi lebih besar dalam meningkatkan mutu konstruksi di Indonesia.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Program Studi Profesi Insinyur Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya atas dukungan, bimbingan, dan fasilitas yang telah diberikan selama proses penelitian dan penyusunan artikel ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu keinsinyuran dan konstruksi. Juga, kepada Persatuan Insinyur Indonesia (PII) Kabupaten Pasuruan yang telah memberikan banyak dukungan agar terus melanjutkan keilmuan profesi di bidang insinyur.

Referensi

Astuti, R. (2020). *Manajemen laboratorium yang cerdas, cermat, dan selamat*. Bandung: CV Jejak (Jejak Publisher).

Capryani, A., Fahma, F., & Nur, A. (2017). Perancangan dokumentasi sistem manajemen pada Laboratorium Mekatronika UNS berdasarkan SNI ISO/IEC 17025:

 ISSN 2987-677x

2008. *Performa: Media Ilmiah Teknik Industri*, *16*(1), 54-61.

Gunawan, K. S., & Rahardjo, J. (2022). Perancangan dokumen SNI ISO 17025: 2017 untuk laboratorium beton dan konstruksi di Universitas Kristen Petra. *Jurnal Titra*, *10*(2), 473-480.

Hadi, A. (2018). *Persyaratan umum kompetensi laboratorium pengujian & laboratorium kalibrasi ISO/IEC 17025: 2017*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Heires, M. (2008). The International Organization for Standardization (ISO). *New Political Economy*, *13*(3), 357–367.

Nasional, B. S. (2009). *Pengantar standardisasi*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Pratiwi, S. A., & Pudyastuti, P. S. (2023). Pengawasan dan pengendalian mutu beton pada pelaksanaan pembangunan Bendungan Jlantah. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS*, 50–57.

Puspitarini, E. W., Suprapto, A., Tantawi, I. A. R., Rusmiati, E., Jawak, G., & Buan, F. C. H. (2025). *Perancangan eksperimen*. Surabaya: CV Rey Media Grafika.

Sepriano, S., Prasetyo, Y. P. W., Judijanto, L., Akhlak, M. L. M., Erna, A., Puspitarini, E. W., Adhicandra, I., Saifuddin, S., Sutoyo, N., & Efitra, E. (2025). *Multi criteria decision making: Teori dan praktik*. Semarang: PT Sonpedia Publishing Indonesia.

Setyoko, A. T., Achmadi, A., Kristiningrum, E., Susanto, D. A., Lukiawan, R., & Ayundyahrini, M. (2020). *Potret standardisasi dan penilaian kesesuaian di Indonesia dan negara lain*. Yogyakarta: Deepublish.

Shin, S., Hong, J., & Kim, G. (2023). Study on the standard components of digital forensics laboratory. *Journal of Forensic Sciences*, *68*(3), 839–855.

Widyaningrum, N., Ilham, I., Sadat, L. A., Flora, H. S., Wijaya, E. P., Novasani, R. J., Simarmata, N., & Anjani, I. A. M. S. (2025). *Pengantar kesehatan dan keselamatan kerja (K3)*. Surabaya: CV Rey Media Grafika.

Witara, K. (2018). *Cara singkat memahami sistem manajemen mutu ISO 9001:2015 dan implementasinya*. Bandung: CV Jejak (Jejak Publisher).

ISSN 2987-677x

Manajemen Konstruksi Berbasis Kearifan Lokal: Studi Kasus Pembangunan Rumah Adat di Nias Utara

Hamedoni Harita[1] Rasional Sitepu[1] Dermawan Zebua[1] Jun Fajar Krisman Giawa[1]

[1] Program Studi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

[2] Program Teknik Sipil, Universitas Nias

✉ hamedoniharita@unias.ac.id

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji praktik manajemen konstruksi berbasis kearifan lokal dalam pembangunan rumah adat di Nias Utara, dengan fokus pada struktur organisasi tradisional, teknik konstruksi, pengelolaan material, serta sistem tenaga kerja. Menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi kasus, data dikumpulkan melalui observasi lapangan, wawancara mendalam, dan dokumentasi visual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa manajemen konstruksi rumah adat dijalankan dalam kerangka budaya yang kuat, dimana tokoh adat memegang peran sentral dalam perencanaan hingga pelaksanaan proyek. Teknik konstruksi tradisional, seperti penggunaan sambungan tanpa paku dan pemanfaatan material lokal, terbukti adaptif terhadap kondisi geografis dan risiko gempa. Sistem pengadaan material dan tenaga kerja mengandalkan nilai gotong royong dan kontribusi komunitas, tanpa melibatkan transaksi ekonomi konvensional. Meskipun efisien dan berbasis nilai sosial, praktik ini menghadapi tantangan regenerasi serta tekanan modernisasi. Temuan ini merekomendasikan perlunya integrasi manajemen tradisional dengan pendekatan modern guna menjaga keberlanjutan budaya serta efektivitas pembangunan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kearifan lokal tidak hanya berfungsi sebagai pelestarian budaya, tetapi juga sebagai model alternatif dalam pengelolaan proyek konstruksi berbasis komunitas.

Kata kunci: manajemen konstruksi, kearifan lokal, rumah adat, Nias Utara, gotong royong, studi kasus

Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur di berbagai wilayah Indonesia tidak hanya mencerminkan aspek teknis semata, tetapi juga menyentuh dimensi sosial, budaya, dan historis masyarakat setempat. Dalam konteks pembangunan rumah adat, aspek kultural menjadi bagian integral dari proses perencanaan hingga pelaksanaan konstruksi. Di tengah arus globalisasi dan penetrasi teknologi modern dalam industri konstruksi, keberadaan manajemen konstruksi berbasis kearifan lokal menjadi semakin penting sebagai wujud pelestarian nilai-nilai tradisional yang adaptif dan kontekstual (Suwondo, 2018).

Kearifan lokal merujuk pada sistem pengetahuan yang berkembang dalam masyarakat dan menjadi pedoman hidup yang telah terbukti bertahan dalam waktu hidup yang lama. Dalam ranah konstruksi, kearifan lokal tampak dalam bentuk teknik bangunan, pemilihan material, pengelolaan tenaga kerja, hingga tata ruang yang sesuai dengan kondisi geografis dan sosial budaya setempat (Rahmawati, 2020). Di Nias Utara, rumah adat tradisional yang dikenal sebagai Omo Hada mencerminkan hasil penerapan prinsip konstruksi yang sarat akan kearifan lokal, mulai dari struktur tahan gempa hingga filosofi ruang yang sarat makna.

Manajemen konstruksi berbasis kearifan lokal menciptakan pendekatan unik yang mengintegrasikan aspek teknis dan sosial secara holistik. Hal ini mencakup pengambilan keputusan yang melibatkan tokoh adat, distribusi peran berdasarkan hierarki sosial, serta sistem gotong royong dalam pelaksanaan pembangunan (Simanjuntak, 2017). Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dan keberterimaan proyek, tetapi juga memperkuat identitas budaya lokal dan meningkatkan rasa memiliki masyarakat terhadap hasil pembangunan.

Meskipun demikian, pengembangan rumah adat di era modern menghadapi tantangan signifikan. Perubahan gaya hidup, keterbatasan dana, hingga kurangnya dokumentasi teknik bangunan tradisional menjadi hambatan dalam pelestarian Omo Hada. Oleh karena itu, penting untuk mengkaji bagaimana prinsip-prinsip manajemen konstruksi dapat diadaptasi untuk mendukung revitalisasi pembangunan rumah adat berbasis kearifan lokal secara terstruktur dan berkelanjutan (Hutapea & Nainggolan, 2021).

Penelitian ini berfokus pada studi kasus pembangunan rumah adat di salah satu desa di Nias Utara sebagai representasi praktik manajemen konstruksi yang mengedepankan nilai-nilai lokal. Studi kasus digunakan untuk menggali secara mendalam proses, aktor, dinamika sosial, serta hasil akhir dari proyek pembangunan rumah adat tersebut. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan pendekatan manajerial yang sensitif terhadap konteks budaya lokal.

Adopsi prinsip kearifan lokal dalam manajemen konstruksi juga memiliki implikasi terhadap keberlanjutan lingkungan. Penggunaan material lokal seperti kayu dan bambu yang dikelola secara lestari menunjukkan bahwa konstruksi tradisional telah sejak lama mengusung prinsip ekologis yang saat ini mulai diarusutamakan dalam pendekatan pembangunan modern (Arifin & Nugroho, 2019). Di Nias, teknik penyambungan tanpa paku dan desain

 ISSN 2987-677x

rumah panggung turut membuktikan kecanggihan teknik lokal dalam menjawab tantangan alam seperti gempa bumi dan banjir.

Gambar 1 Rumah Adat yang Akan Direnovasi di Nias Utara

Lebih jauh, pendekatan ini dapat dijadikan model pembelajaran bagi proyek-proyek pembangunan di wilayah adat lainnya di Indonesia, mengingat keberagaman budaya yang menjadi kekayaan bangsa. Dengan menggabungkan metode manajemen modern dan pengetahuan lokal, maka diharapkan tercipta sinergi antara efisiensi proyek dan pelestarian nilai-nilai budaya (Yuliani, 2022). Oleh sebab itu, eksplorasi terhadap praktik manajemen konstruksi rumah adat tidak hanya relevan dalam konteks budaya, tetapi juga dalam upaya penciptaan model pembangunan nasional yang inklusif.

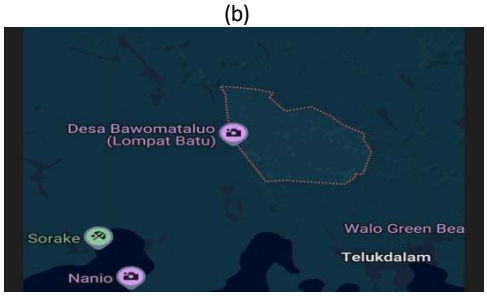
Melalui artikel ini, penulis bertujuan untuk mengkaji secara sistematis penerapan manajemen konstruksi berbasis kearifan lokal dalam pembangunan rumah adat di Nias Utara. Fokus utama diberikan pada identifikasi elemen-elemen kunci manajerial yang berakar dari tradisi lokal, serta potensi integrasinya dengan pendekatan konstruksi kontemporer. Harapannya, hasil kajian ini dapat memberikan kontribusi dalam upaya pelestarian budaya sekaligus pengembangan sistem manajemen konstruksi yang lebih adaptif dan kontekstual terhadap budaya keberagaman Indonesia.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode studi kasus, yang bertujuan untuk memahami secara mendalam praktik manajemen konstruksi berbasis kearifan lokal dalam pembangunan rumah adat di Nias Utara. Pendekatan kualitatif dipilih karena fokus utama penelitian ini adalah menggali makna, nilai-nilai, serta proses sosial dan budaya yang melekat dalam pelaksanaan konstruksi rumah adat.

(a)

(b)



Gambar 2 (a) Lokasi Proyek, (b) Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ditetapkan di Desa Bawomataluo, Kecamatan Fanayama, Kabupaten Nias Selatan. Meskipun secara administratif desa ini berada di wilayah selatan, desa tersebut menjadi representasi penting dalam pelestarian rumah adat Omo Hada yang memiliki karakteristik serupa dengan yang ditemukan di wilayah utara. Penentuan lokasi dilakukan secara *purposive* berdasarkan keberadaan rumah adat yang masih utuh dan aktif digunakan oleh masyarakat.

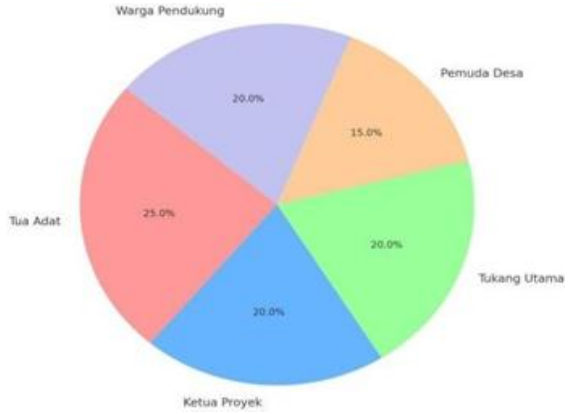
Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, wawancara mendalam, dan dokumentasi visual. Observasi lapangan bertujuan untuk mengamati langsung proses konstruksi, teknik bangunan, penggunaan material lokal, serta interaksi sosial di antara para pekerja. Observasi dilakukan secara partisipatif, dimana peneliti turut hadir dalam beberapa tahapan pembangunan rumah adat. Wawancara mendalam dilakukan dengan berbagai informan kunci, meliputi tokoh adat, tukang kayu tradisional, pemilik rumah, dan kepala desa. Selain itu, wawancara juga dilakukan dengan masyarakat sekitar yang terlibat dalam proses gotong royong pembangunan. Instrumen wawancara disusun dalam bentuk panduan semi-terstruktur agar memungkinkan pengembangan pertanyaan sesuai dengan dinamika wawancara.

Gambar 3 Dokumentasi Wawancara dan Proses Pembangunan Bersama Masyarakat

Data dokumentasi mencakup foto-foto proses pembangunan, sketsa bangunan, dan catatan lapangan yang mendukung analisis kontekstual. Selain itu, peneliti juga memanfaatkan dokumen sekunder, seperti peraturan adat, naskah sejarah desa, serta catatan pembangunan rumah adat sebelumnya yang disimpan oleh tokoh adat setempat. Proses analisis data dilakukan melalui reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan sebagaimana dijelaskan oleh Miles dan Huberman (1994). Reduksi data dilakukan dengan menyaring informasi penting dari hasil

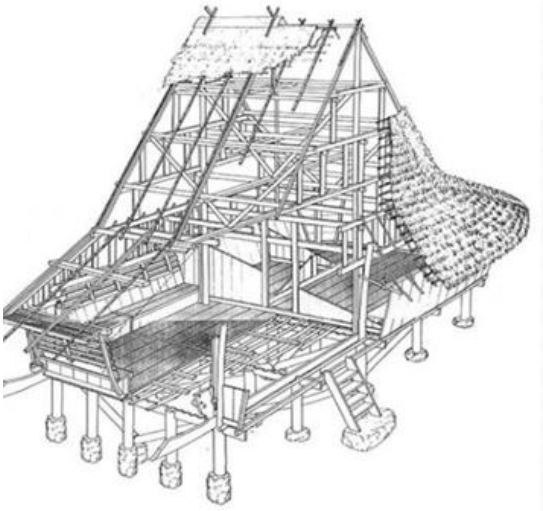
 ISSN 2987-677x

wawancara dan observasi, lalu diklasifikasikan ke dalam kategori, seperti aspek teknis bangunan, manajemen tenaga kerja, penggunaan material, dan nilai-nilai budaya.



Gambar 4 Struktur Pelaksanaan Proyek Rumah Adat Nias

Penyajian data dilakukan dalam bentuk narasi deskriptif yang disertai dengan kutipan langsung dari informan. Hal ini bertujuan untuk menjaga keaslian makna dan konteks dari data yang diperoleh. Data yang telah disusun selanjutnya dianalisis untuk menemukan pola-pola dan hubungan antar elemen dalam manajemen konstruksi berbasis kearifan lokal. Untuk menjamin validitas data, dilakukan triangulasi sumber dan teknik. Triangulasi sumber dilakukan dengan membandingkan data dari berbagai informan, sedangkan triangulasi teknik dilakukan dengan membandingkan hasil wawancara dengan observasi dan dokumentasi. Validasi juga diperkuat dengan melakukan *member checking*, yaitu meminta informan untuk memverifikasi kembali hasil interpretasi peneliti.



Gambar 5 Rancangan Rumah Adat

Etika penelitian dijaga dengan memastikan persetujuan dari para informan sebelum wawancara dan dokumentasi dilakukan. Seluruh informan diberikan penjelasan mengenai tujuan penelitian dan dijamin kerahasiaan identitasnya. Pendekatan humanistik ini penting mengingat konteks penelitian yang erat dengan nilai dan norma adat masyarakat setempat. Selain pendekatan kualitatif, data kuantitatif ringan juga dikumpulkan untuk memperkuat informasi, seperti jumlah tenaga kerja, lama waktu pembangunan, dan volume material yang digunakan. Data ini berfungsi sebagai pelengkap dalam menjelaskan aspek manajerial proyek secara objektif dan terukur.

Rentang waktu penelitian berlangsung selama tiga bulan, dimulai dari bulan Februari hingga April 2025. Selama periode tersebut, peneliti melakukan tiga kali kunjungan lapangan utama, masing-masing selama 7–10 hari, dan melakukan komunikasi lanjutan secara daring untuk konfirmasi informasi tambahan dari narasumber.

Dengan metode ini, diharapkan hasil penelitian mampu memberikan gambaran yang menyeluruh mengenai bagaimana prinsip-prinsip kearifan lokal terintegrasi dalam sistem manajemen konstruksi rumah adat. Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi model penerapan pendekatan budaya dalam pengelolaan proyek konstruksi di wilayah lain di Indonesia.

Gambar 6 Sambungan Kayu Tanpa Paku

Hasil dan Pembahasan

Hasil observasi dan wawancara menunjukkan bahwa pembangunan rumah adat di Nias Utara melibatkan sistem organisasi tradisional yang berbasis pada hierarki sosial adat. Tokoh adat (Si'ulu) memegang peran sentral dalam pengambilan keputusan, termasuk penunjukan tukang utama (mataro), serta penentuan waktu yang dianggap baik menurut kalender adat.

Tabel 1 Struktur Kelembagaan dalam Pembangunan Rumah Adat

Peran/Posisi	Tanggung Jawab Utama	Status Sosial
Si'ulu (Kepala Adat)	Menetapkan keputusan, lokasi rumah, waktu pembangunan	Tertinggi
Mataro (Tukang Utama)	Memimpin teknis konstruksi dan mengawasi tukang lain	Tinggi
Na'obu (Tukang Biasa)	Pelaksana kerja teknis harian	Menengah
Fefu (Masyarakat Umum)	Membantu secara gotong royong	Umum

Sistem ini mencerminkan bentuk manajemen proyek tradisional yang terstruktur namun fleksibel. Tidak terdapat dokumen tertulis atau kontrak resmi, namun kepercayaan sosial dan norma adat menggantikan mekanisme formal tersebut. Teknik konstruksi rumah adat Nias sangat adaptif terhadap lingkungan geografis dan risiko bencana. Struktur bangunan dibangun tanpa paku, menggunakan sistem sambungan pasak dan ikat, serta berdiri di atas tiang-tiangtinggi dari kayu keras (balobasolo) yang tahan terhadap guncangan gempa.

 ISSN 2987-677x

Tabel 2 Teknik Konstruksi Tradisional

Elemen Bangunan	Teknik Tradisional	Fungsi Adaptif
Fondasi tiang kayu	Sistem tatap-tumpang	Menahan gempa dan banjir
Sambungan struktur	Tanpa paku, sistem pasak	Fleksibel dan tahan retak
Atap	Ijuk dan bambu	Isolasi panas dan hujan
Dinding	Kayu papan tanpa paku	Mudah diganti atau dirawat

Adaptasi ini membuktikan bahwa kearifan lokal telah menerapkan prinsip rekayasa struktural yang efektif, meski tidak melalui pendekatan ilmiah modern. Bahkan, ketahanan rumah adat terhadap gempa sering kali lebih tinggi daripada rumah beton non-rekayasa.

Material utama seperti kayu, bambu, ijuk, dan rotan seluruhnya berasal dari wilayah lokal. Proses pengadaan dilakukan melalui musyawarah desa, dimana masyarakat menyumbangkan sumber daya sesuai kemampuan. Tidak ada sistem pembelian formal, tetapi menggunakan sistem "hibah adat" dan gotong royong yang menjadi ciri khas manajemen berbasis komunitas.

Tabel 3 Sumber dan Pengelolaan Material

Jenis Material	Asal Sumber	Cara Pengadaan	Catatan Budaya
Kayu balobasolo	Hutan desa	Donasi keluarga adat	Memerlukan izin tokoh adat
Bambu	Lahan masyarakat	Kerja bakti	Diambil sebelum musim hujan
Ijuk	Kebun warga	Tukar hasil tani	Digunakan juga untuk upacara
Rotan	Lembah sekitar	Kolektif anak muda	Biasanya dilakukan malam hari

Manajemen material seperti ini mendorong efisiensi tanpa menambah beban ekonomi keluarga. Di sisi lain, praktik ini juga memperkuat solidaritas sosial antarwarga.

Tidak ada sistem upah dalam pembangunan rumah adat. Semua tenaga kerja dilakukan secara gotong royong (famaewa), dan sebagai gantinya pemilik rumah menyediakan makanan serta ritual syukuran. Gotong royong berlangsung secara bertahap, mulai dari pengumpulan material hingga pemasangan atap. Fenomena ini menggantikan konsep formal manajemen tenaga kerja dan menciptakan ikatan sosial yang kuat. Selain itu, keterlibatan generasi muda dalam proses pembangunan menjadi bentuk pendidikan informal mengenai budaya dan teknik konstruksi tradisional.

Meski efektif dalam konteks lokal, pendekatan ini menghadapi sejumlah tantangan. Beberapa di antaranya adalah keterbatasan tenaga tukang terlatih, hilangnya pengetahuan teknik akibat minimnya regenerasi, serta tekanan modernisasi yang membuat masyarakat mulai meninggalkan pola bangunan tradisional. Dari wawancara dengan pemuda setempat, ditemukan bahwa hanya sekitar 20% yang memahami proses konstruksi rumah adat, dan lebih dari 70% menyatakan lebih memilih rumah beton karena dianggap modern dan praktis.

Gambar 7 Hasil Akhir Rumah Adat Nias Utara

Dari temuan di atas, dapat disimpulkan bahwa manajemen konstruksi berbasis kearifan lokal di Nias Utara memiliki keunggulan dalam aspek sosial, partisipatif, dan ekologis. Namun demikian, model ini membutuhkan dokumentasi sistematis serta integrasi dengan pendekatan manajemen modern agar tetap relevan. Misalnya, peran mataro dapat didorong untuk menerima pelatihan manajemen proyek dasar, sementara prinsip gotong royong tetap dijaga sebagai filosofi dasar kolaborasi. Di sisi lain, pendataan sumber daya material dan dokumentasi desain teknis bisa ditingkatkan dengan teknologi digital untuk regenerasi dan konservasi.

Kesimpulan

1. Penelitian ini menunjukkan bahwa manajemen konstruksi berbasis kearifan lokal di Nias Utara merupakan sistem yang terstruktur secara sosial dan budaya, meskipun tidak berbentuk formal seperti dalam manajemen proyek modern. Sistem ini mengandalkan kepemimpinan adat, gotong royong, dan norma sosial sebagai dasar utama pelaksanaannya.
2. Struktur organisasi dalam pembangunan rumah adat sangat dipengaruhi oleh hierarki adat, dimana tokoh adat (Si'ulu) memegang peran sentral dalam setiap tahap pengambilan keputusan. Hal ini mencerminkan bentuk manajemen partisipatif berbasis kewenangan tradisional yang dihormati secara kolektif oleh masyarakat.
3. Teknik konstruksi rumah adat Nias terbukti memiliki nilai adaptif yang tinggi terhadap kondisi geografis dan risiko bencana seperti gempa bumi. Penggunaan sambungan pasak tanpa paku, material lokal yang tahan cuaca, serta desain rumah panggung merupakan hasil rekayasa budaya yang telah terbukti efektif selama berabad-abad.
4. Proses pengadaan material tidak dilakukan melalui skema logistik konvensional, melainkan melalui mekanisme sosial seperti musyawarah desa dan sumbangan sukarela. Hal ini menegaskan pentingnya dimensi sosial dalam keberhasilan proyek konstruksi tradisional.
5. Sistem tenaga kerja yang berbasis gotong royong merupakan kekuatan utama dalam model ini. Tidak adanya sistem upah formal digantikan dengan nilai kebersamaan, kehormatan keluarga, dan imbalan simbolik berupa konsumsi dan ritual adat. Hal ini

 ISSN 2987-677x

menciptakan efisiensi sekaligus memperkuat solidaritas sosial.

6. Kendati demikian, tantangan modern, seperti berkurangnya generasi muda yang tertarik melanjutkan teknik konstruksi tradisional serta persepsi bahwa rumah beton lebih praktis dan modern mengancam keberlanjutan sistem ini. Regenerasi pengetahuan dan dokumentasi teknik menjadi aspek yang mendesak untuk segera ditangani.
7. Dari sisi akademik, manajemen konstruksi berbasis kearifan lokal di Nias Utara dapat dikembangkan sebagai model alternatif dalam pengelolaan proyek, khususnya di wilayah pedesaan atau komunitas adat. Nilai-nilai yang terkandung di dalamnya seperti keberlanjutan, kolaborasi, dan efisiensi layak diadopsi dalam kerangka pembangunan berkelanjutan.
8. Oleh karena itu, perlu adanya integrasi antara pendekatan tradisional dan manajemen konstruksi modern melalui pelatihan, dokumentasi teknis, dan kebijakan yang mendukung pelestarian warisan budaya. Dengan demikian, praktik kearifan lokal tidak hanya menjadi warisan budaya semata, tetapi juga solusi kontekstual bagi tantangan pembangunan masa kini.

Referensi

Agustinus, A. (2016). *Kearifan lokal dalam arsitektur tradisional Indonesia*. Yogyakarta: Ombak.

Arifin, M. Z., & Nugroho, Y. S. (2019). Konstruksi berkelanjutan berbasis material lokal: Kajian arsitektur tradisional Indonesia. *Jurnal Arsitektur Nusantara, 11*(2), 85–94. https://doi.org/10.14710/jan.v11i2.1234.

Asmara, A. Y. (2019). Manajemen proyek berbasis nilai-nilai lokal dalam pembangunan permukiman adat. *Jurnal Arsitektur Nusantara, 5*(2), 88–102. https://doi.org/10.1234/jan.v5i2.88.

Atmadi, P. (1992). *Arsitektur tradisional daerah Nias*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.

Effendy, M. (2021). Pengaruh struktur sosial terhadap tata kelola proyek lokal: Studi kasus pembangunan rumah adat. *Jurnal Sosial dan Budaya, 18*(1), 55–70.

Haryanto, J. T. (2020). Sistem kerja gotong royong dalam masyarakat tradisional. *Antropologi Indonesia, 41*(3), 201–216. https://doi.org/10.7454/ai.v41i3.8120.

Hutapea, A., & Nainggolan, R. (2021). Revitalisasi arsitektur rumah adat Nias sebagai upaya pelestarian budaya lokal. *Jurnal Warisan Budaya Indonesia, 8*(1), 15–27. https://doi.org/10.24198/jwbi.v8i1.5678.

Ibrahim, S. (2017). *Manajemen proyek konstruksi di Indonesia: Teori dan aplikasi*. Bandung: Penerbit ITB.

Kleden, I. (2006). Kearifan lokal dan pembangunan berkelanjutan. *Wacana, 8*(2), 111–123.

Koentjaraningrat. (2009). *Pengantar ilmu antropologi*. Jakarta: Rineka Cipta.

Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.

Nugroho, H. (2018). Model pengelolaan proyek partisipatif di wilayah adat. *Jurnal Manajemen Pembangunan Daerah, 3*(1), 25–40.

Nusa, R. D., & Lase, T. (2015). Teknik konstruksi rumah adat Nias: Perspektif ketahanan terhadap gempa. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur, 9*(2), 131–142.

Purnomo, E. P. (2014). Integrasi kearifan lokal dalam sistem pembangunan berkelanjutan. *Jurnal Kebijakan dan Administrasi Publik, 18*(3), 99–112.

Rahardjo, M. (2011). *Manajemen konstruksi berbasis komunitas*. Surakarta: UNS Press.

Rahmawati, I. (2020). Kearifan lokal dalam praktik pembangunan berkelanjutan di komunitas tradisional. *Jurnal Sosiologi Pembangunan, 6*(3), 198–210. https://doi.org/10.22146/jsp.v6i3.23456.

Rapoport, A. (1969). *House form and culture*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Rukmana, D. (2019). *Perencanaan dan pembangunan berbasis budaya lokal*. Jakarta: LP3ES.

Sibarani, R. (2015). Kearifan lokal sebagai dasar pembangunan karakter bangsa. *Jurnal Antropologi Indonesia, 36*(1), 49–56. https://doi.org/10.7454/ai.v36i1.9131.

Simanjuntak, T. (2008). Sejarah dan kebudayaan Nias. *Jurnal Arkeologi Indonesia, 27*(1), 101–117.

Simanjuntak, T. (2017). Peran tokoh adat dalam proses pembangunan rumah adat di Sumatera. *Prosiding Seminar Nasional Kebudayaan Indonesia, 3*, 145–152.

Soekiman, D. (2001). *Arsitektur tradisional Indonesia: Nilai, konsep, dan makna*. Jakarta: Grasindo.

Suwondo, S. (2018). Integrasi nilai kearifan lokal dalam manajemen proyek konstruksi. *Jurnal Manajemen Konstruksi Indonesia, 4*(1), 33–41. https://doi.org/10.31294/jmki.v4i1.9876.

Yuliani, D. (2022). Strategi pelestarian budaya lokal melalui penerapan manajemen konstruksi kontekstual. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota, 18*(1), 55–64. https://doi.org/10.23917/jpwk.v18i1.8765.

Yuliani, E. L. (2020). Revitalisasi peran masyarakat adat dalam pembangunan lokal. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota, 15*(2), 80–95. https://doi.org/10.14710/pwk.v15i2.80-95.

ISSN 2987-677x

Normalisasi Kali Lamong Sebagai Upaya Penanggulangan Banjir di Kabupaten Gresik

Suhartono[1,2] Abdullah Charif[1,2] Yahya Muchaimin Aji[1,2] Suratno Lourentius[2]

[1] Bidang Sumber Daya Air Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Kabupaten Gresik

[2] Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

charifpeganden@gmail.com
pusdasuhartono@gmail.com
muchaiminclan@gmail.com
suratno.lourentius@ukwms.ac.id

Kali Lamong merupakan salah satu sungai di Jawa Timur yang memiliki kondisi hidrologi kritis, ditandai dengan banjir pada musim hujan dan kekeringan saat kemarau. Debit banjir yang mencapai 796,7 m³/detik jauh melebihi kapasitas sungai sebesar 250,0 m³/detik, menyebabkan genangan di wilayah Kabupaten Gresik setiap tahun. Sebagai upaya pengendalian banjir, pemerintah Kabupaten Gresik melalui Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang menyiapkan strategi pengendalian Banjir Kali Lamong dalam penentuan kebijakan (manajemen) serta perencanaan program (pembangunan konstruksi). Penanganan Kali Lamong dilaksanakan secara kolaboratif antara pemerintah pusat dan daerah. Agar penanganan Kali Lamong terlaksana secara efektif dan efisien, maka penanganan berdasarkan skala prioritas diklasifikasikan berdasarkan waktu pelaksanaan. Untuk jangka pendek, penanganan banjir Kali Lamong diimplementasikan dalam tiga kegiatan, yaitu normalisasi (Kali Lamong dan anak sungainya), konstruksi parapet, dan konstruksi tanggul. Adapun *retarding basin* dan tampungan sementara merupakan program jangka menengah, sedangkan rencana program jangka panjangnya adalah pembangunan Waduk Pedes di Kecamatan Sambeng, Kabupaten Lamongan.

Kata kunci: Kali Lamong, normalisasi sungai, pengendalian banjir, Kabupaten Gresik

Pendahuluan

Latar Belakang

Kabupaten Gresik merupakan salah satu daerah yang berada di dalam DAS Kali Lamong selain Kabupaten Lamongan, Kabupaten Mojokerto, dan Kota Surabaya. Cakupan DAS Kali Lamong di wilayah administrasi Kabupaten Gresik memiliki porsi ± 50% dari keseluruhan luasan DAS Kali Lamong sebesar ± 720 km². Panjang total Kali Lamong yang berada di wilayah administrasi Kabupaten Gresik tercatat sepanjang ± 50,7 km dari total panjang 103 km.

Fenomena banjir di Kabupaten Gresik yang terjadi setiap tahunnya, khususnya di daerah tangkapan Kali Lamong dipandang perlu untuk dilakukan usaha-usaha penanggulangan banjir pada saluran utama dan anak Kali Lamong. Dalam beberapa tahun terakhir, kondisi hidrologi di DAS Kali Lamong menunjukkan gejala yang sangat kritis. Debit air sungai pada musim hujan dapat mencapai 700 m³/detik, jauh melampaui kapasitas aliran sungai yang hanya sekitar 250 m³/detik. Akibatnya, wilayah-wilayah di sepanjang aliran sungai, terutama di bagian tengah dan hilir, seperti Kabupaten Gresik, kerap mengalami banjir tahunan yang merusak lahan pertanian, permukiman, serta infrastruktur jalan.

Hal tersebut juga disebabkan sebagian besar ruas saluran sudah dangkal dan mengalami penyempitan akibat longsornya tanggul saluran serta transpor sedimen dari wilayah hulu sehingga perlu untuk dilakukan normalisasi dan perkuatan lereng sungai.

Sebagai contoh, pada tahun 2024, total keseluruhan wilayah tergenang di Kabupaten Gresik seluas 921 ha yang tersebar di tiga (3) kecamatan, yaitu Kecamatan Balongpanggang, Kecamatan Benjeng, dan Kecamatan Cerme. Total kerugian yang diderita oleh masyarakat ditaksir mencapai 24,9 milyar. Gambar 1 di bawah ini merupakan salah satu potret kejadian banjir yang melanda Kabupaten Gresik pada tahun 2024, khususnya di Kecamatan Cerme, Desa Jono.

Gambar 1 Banjir Kali Lamong di Kabupaten Gresik

Maksud dan Tujuan

Maksud dari pelaksanaan kegiatan normalisasi Kali Lamong Tahap III adalah untuk mengurangi banjir Kali Lamong yang menggenangi desa-desa di wilayah Kabupaten Gresik. Tujuan kegiatan normalisasi Kali Lamong Tahap III adalah sebagai berikut:

a. Menurunkan intensitas banjir Kali Lamong;
b. Sebagai dasar dan evaluasi pelaksanaan kegiatan konstruksi pembangunan.

Metode

Pelaksanaan kegiatan ini mengacu pada *review detail design* (DD) Kali Lamong yang direncanakan oleh PT Virama Karya, paket pekerjaan milik Balai Besar Wilayah Sungai Solo dengan nomor HK0203-BS.02/2012-04 Tahun Anggaran

 ISSN 2987-677x

2012 dengan cakupan desain perencanaan mulai dari hulu hingga hilir Kali Lamong. Aspek perencanaan mencakup analisis hidrologi, gambar desain, analisis hidrolika, serta analisis mekanika tanah.

Hasil Kerja

Lokasi Pekerjaan

Normalisasi Kali Lamong Tahap III dimulai dari Desa Morowudi Kecamatan Cerme sampai dengan Desa Prambangan Kecamatan Kebomas Kabupaten Gresik. Panjang Saluran yang akan dilakukan normalisasi sepanjang ± 13,70 km dengan kisaran lebar sungai 20-35 meter. Gambar 2 di bawah ini merupakan ilustrasi rencana pekerjaan normalisasi Kali Lamong yang dikerjakan oleh Pemerintah Kabupaten Gresik melalui Dinas PUTR.

Gambar 2 Peta Lokasi Pekerjaan

Waktu Pelaksanaan

Rencana pelaksanaan kegiatan normalisasi Kali Lamong Tahap III dilaksanakan mulai tahun 2024 dan/atau apabila telah selesai melengkapi persyaratan administrasi sesuai aturan yang berlaku yaitu pengajuan berkas rekomendasi teknis dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Bengawan Solo dan perijinan dari Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia.

Estimasi waktu pelaksanaan pekerjaan normalisasi Kali Lamong ditampilkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 Jadwal Pekerjaan Normalisasi

JADWAL WAKTU PELAKSANAAN

Program : Program Pengelolaan Sumber Daya Air (SDA)
Sub Kegiatan : Normalisasi / Restorasi Sungai
Pekerjaan : Normalisasi Kali Lamong
Lokasi : Kabupaten Gresik
Waktu Pekerjaan : 3 Tahun

NO.	URAIAN PEKERJAAN	SAT	VOLUME	BOBOT FISIK (%)	WAKTU PELAKSANAAN TAHUN I	TAHUN II	TAHUN III	KET.
I.	PEKERJAAN PERSIAPAN							
1	Ukur Trase Saluran	m	13.700,00	0,196	1,065	1,065	1,065	
2	Mobilisasi Demobilisasi Alat Berat	unit/ls	50,00	26,612	8,837	8,837	8,837	
	- Excavator 4 Unit 2 hari/Tahun							
	- Pontan 1 Unit 2 hari/Tahun							
II.	PEKERJAAN TANAH							
1	Galian Tanah Biasa dengan Alat Berat Excavator	m³	92.196,41	46,942	15,647	15,647	15,647	
	Hasil Galian untuk Timbunan Ditaratkan dan Diratakan							
III.	SISTEM MANAJEMEN KESELAMATAN KONSTRUKSI (SMKK)							
1	Penyiapan RKK	Ls	5,00	0,589	0,196	0,196	0,196	
2	Spanduk (banner 1,0 x 4,0) M	Lb	6,00	0,084	0,028	0,028	0,028	
3	Pembatas Area	Ls	6,00	0,065	0,022	0,022	0,022	
4	Topi / Helm/Safety Helmet)	Bh	50,00	0,324	0,108	0,108	0,108	
5	Sarung Tangan (Safety Gloves)	Ooasn	5,00	0,031	0,010	0,010	0,010	
6	Sepatu Keselamatan (Safety Shoes)	Pasang	50,00	1,119	0,373	0,373	0,373	
7	Rompi Keselamatan (safety Vest)	Bh	50,00	0,084	0,028	0,028	0,028	
8	Asuransi dan Perizinan	Ls	1,00	0,153	0,051	0,051	0,051	
9	Petugas K3	Oft	20,00	20,606	6,869	6,869	6,869	
10	Kotak P3K	set	5,00	0,107	0,036	0,036	0,036	
11	Rambu peringatan (Banner 0,80 x 1,25) M	Lb	10,00	0,047	0,016	0,016	0,016	
12	Bendera K3	Bh	5,00	0,067	0,022	0,022	0,022	
13	Pembuatan Kartu Identitas Pekerja (KIP)	Lb	20,00	0,030	0,010	0,010	0,010	
14	Masker	Box	5,00	0,017	0,006	0,006	0,006	
	RENCANA TIAP TAHUN (%)				33,333	33,333	33,333	
	KUMULATIF RENCANA TIAP TAHUN (%)				33,333	66,666	100,000	

Diketahui Oleh,
Kepala Bidang Sumber Daya Air
Dinas Pekerjaan Umum Dan Tata Ruang Kab. Gresik

UBAIDILLAH, ST., MT.
Pembina
NIP. 19790927 200804 1 019

Disetujui Oleh,
Koordinator Seksi Pelaksanaan

ANDIK WIJAYA,ST.
Penata Tk. I
NIP. 19760120 201001 1 006

Koordinator Seksi Perencanaan

NUNIK SUCILAWATI, ST
Penata Tk. I
NIP. 19751125 200904 2 022

Metode Pelaksanaan

Pelaksanaan pekerjaan dibagi menjadi empat bagian:

- Pekerjaan persiapan
- Pekerjaan galian
- Pekerjaan urugan
- SMK3

Spesifikasi Teknis

Agar pekerjaan normalisasi memberikan *output* sesuai dengan yang diharapkan, maka diperlukan pedoman berupa spesifikasi teknis seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Spesifikasi Teknis Pekerjaan Normalisasi

No.	Parameter Pekerjaan	Keterangan
1	Penampang melintang alur	Lebar dasar galian ± 20,00 m Elevasi dasar - 1,70 s/d - 3,96 Kemiringan tebing galian 1 : 2
2	Memanjang Alur	Kemiringan dasar sungai 0,00019
3	Disposal/material hasil galian	Hasil galian dirapikan dan diratakan diletakkan sebelah bagian kanan dan kiri di luar badan sungai
4	Perbaikan tanggul	Tidak ada perbaikan tanggul, hasil disposal tidak menggangu fungsi tanggul

Peralatan yang Dibutuhkan

Untuk melaksanakan pekerjaan normalisasi, perlu dibuat daftar peralatan yang dibutuhkan seperti disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Peralatan Pekerjaan Normalisasi

No.	Peralatan	Jumlah	Keterangan
1	Excavator	4 unit	PC - 200
2	Ponton	1unit	Bila diperlukan
3	Waterpass	1 buah	
4	Bak Ukur	3 buah	
5	GPS	1 buah	

Setelah semua rangkaian persiapan pelaksanaan selesai, pelaksanaan pekerjaan perlu dievaluasi secara berkala agar hasil yang diharapkan dapat tercapai. Proses pelaksanaan pekerjaan tampak seperti pada Gambar 3.

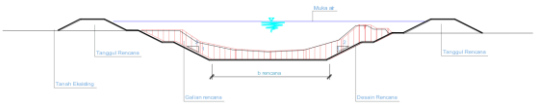
Gambar 3 Pelaksanaan Pekerjaan Galian

Analisa Teknis

Dengan adanya kegiatan normalisasi, didapatkan reduksi banjir kali lamong dari hasil analisis/perhitungan sebagai berikut:

a. Desain normalisasi Kali Lamong mengikuti hasi pekerjaan "*Review* DD Kali Lamong" nomor: HK0203-BS.02/2012-04 Tahun Anggaran 2012 yang dilakukan oleh PT Virama Karya, paket pekerjaan milik Balai Besar Wilayah Sungai Solo. Contoh penampang saluran sesuai dengan desain rencana ditampilkan pada Gambar 4.

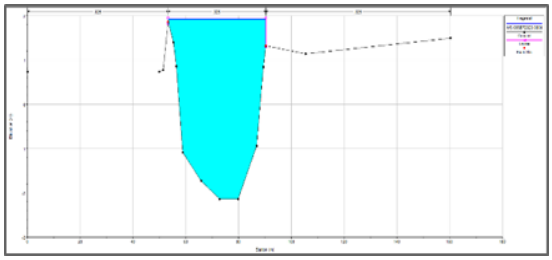
 ISSN 2987-677x



Gambar 4 Penampang Saluran Rencana

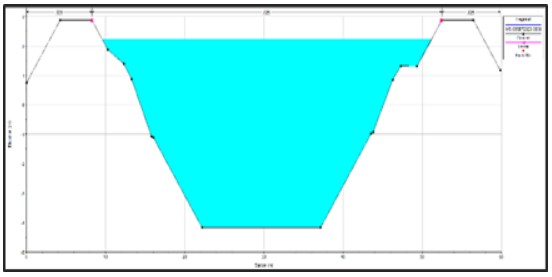
b. Hasil perhitungan hidrologi menunjukkan bahwa debit banjir rencana terjadi pada angka 796,7 m^3/dt.

c. Analisis hidrolika menggunakan pemodelan aplikasi *Hydrologic Engineering Center's River Analysis System* (HEC- RAS) menunjukkan pencegahan terjadinya luapan banjir pada titik *cross section* yang sebelumnya mengalami luapan banjir. Muka air banjir pada aplikasi pemodelan mengalami penurunan 0,30-0,50 m setelah penampang saluran dinormalisasi. Contoh pemodelan menggunakan aplikasi HEC-RAS disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5 Pemodelan Debit Banjir Sebelum Normalisasi

Perbedaan kondisi saluran dapat diamati pada penampang saluran sebelum dinormalisasi dan setelah dinormalisai seperti pada Gambar 6.



Gambar 6 Pemodelan Debit Banjir Sesudah Normalisasi

d. Pada aspek keamanan tanah, didapatkan stabilitas tanggul dengan penampang rencana dalam kondisi aman dengan nilai faktor keamanan (FS) lebih dari 1,50 berdasarkan simulasi menggunakan perangkat lunak Geostudio. Aplikasi GeoStudio membutuhkan parameter karakteristik tanah seperti pada Tabel 4 agar bisa melakukan pemodelan.

Tabel 4 Data Kondisi Tanah

No Sampel	Unit Weight		Tri axial UU	
	Y wet	Ydry	C	φ
	gr/cm³	gr/cm³	kg/cm²	°
BH1	1,677	0,888	0,114	7,24
BH2	1,666	1,088	0,195	11,01

Nilai keamanan untuk kondisi tanah 1 adalah 4,65 > 1,50 dan kondisi tanah 2 adalah 6,02 > 1,50 sehingga keduanya dinyatakan Aman.

Anggaran Kegiatan

Kegiatan ini dilaksanakan menggunakan anggaran terkait operasi dan pemeliharaan (OP) normalisasi Kali Lamong yang tercantum pada Dokumen Pelaksanaan Anggran (DPA) tiap tahunnya.

Kesimpulan

Pelaksanaan normalisasi Kali Lamong dari Desa Morowudi Kecamatan Cerme sampai dengan Desa Prambangan Kecamatan Kebomas merupakan langkah strategis dalam upaya pengendalian banjir Kali Lamong yang telah menjadi bencana tahunan bagi masyarakat sekitar. Kegiatan konstruksi ini melibatkan tahapan pekerjaan teknis yang utamanya berupa pekerjaan galian.

Hasil perhitungan hidrologi menunjukkan bahwa debit banjir rencana terjadi pada angka 796,7 m^3/dt. Normalisasi Kali Lamong ini mampu mencegah terjadinya luapan banjir pada titik *cross section* yang sebelumnya mengalami luapan lewat pemodelan aplikasi HEC-RAS, serta muka air banjir pada pemodelan juga mengalami penurunan 0,30-0,50 m setelah adanya normalisasi.

Selain itu, stabilitas tanggul dengan penampang rencana dinyatakan aman dengan nilai faktor keamanan (FS) lebih dari 1,50 berdasarkan simulasi menggunakan perangkat lunak GeoStudio.

Proyek ini tidak hanya mendukung program prioritas nasional dalam penanggulangan bencana hidrometeorologi, tetapi juga berkontribusi pada pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs no.11), yaitu mewujudkan kota dan permukiman yang inklusif, aman, tahan bencana, dan berkelanjutan. Oleh karena itu, pelaksanaan normalisasi diharapkan menjadi model implementatif dalam pengendalian banjir terpadu di daerah rawan banjir lainnya, khususnya di wilayah hulu Kali Lamong mulai dari Kecamatan Balongpanggang, Kecamatan Benjeng, dan Kecamatan Kedamean.

Referensi

Balai Besar Wilayah Sungai Solo. (2012). *Detail Engineering Design (DED) normalisasi Kali Lamong* (Nomor: HK0203-BS.02/2012-04). PT Virama Karya.

Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Kabupaten Gresik. (2024). *Ekspos rekomendasi teknis (Rekomtek) normalisasi Kali Lamong*.

Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Kabupaten Gresik. (2024). *Paparan penanganan banjir di Kabupaten Gresik*.

Istiarto. (2014). *Modul pelatihan HEC-RAS: Simple geometry river*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Republik Indonesia. (2019). *Peraturan Presiden Nomor 80 Tahun 2019 tentang percepatan pembangunan kawasan strategis nasional*. Jakarta: Sekretariat Negara.