

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Spent Bleaching Earth (SBE) merupakan limbah padat yang dihasilkan selama proses *bleaching* pada proses *refinery* minyak nabati mentah. SBE merupakan adsorben berbasis *bentonite clay* yang telah dipakai sebagai agen adsorben dalam menghilangkan getah, logam berat ataupun pengotor lainnya pada proses *refinery* minyak nabati (Abdelbasir, Shehab, & Khalek, 2023). Limbah ini termasuk dalam golongan B3 dengan kode limbah B413, sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021. Klasifikasi sebagai limbah B3 dikarenakan kadar minyak diatas 3%, dengan kisaran kandungan minyak 20-50 %wt. Kandungan minyak yang tinggi pada limbah SBE juga menjadikannya berisiko mengalami kebakaran spontan dan juga mencemari lingkungan, sehingga perlu penanganan khusus. (Research Team PASPI, 2020b; Smallwood, 2016). Limbah ini paling banyak dihasilkan oleh industri pengolahan kelapa sawit, mengingat produksi minyak berbasis kelapa sawit menempati posisi teratas dalam produk minyak nabati di Indonesia dan memenuhi 40% permintaan minyak nabati secara global (Satriawisti, Satriawisti, & Parung, 2024). Dengan pengolahan minyak nabati mentah yang intensif utamanya *Crude Palm Oil* (CPO), SBE yang dihasilkan secara global dapat mencapai 4,8 juta ton per tahun (Tetrisyanda & Wibawa, 2022). Jumlah *bleaching earth* (BE) yang digunakan pada tahap *bleaching* umumnya berkisar antara 0,5–2% berat terhadap CPO yang diproses, tergantung pada kualitas minyak yang diinginkan. Namun, dalam praktik industri, dosis yang paling umum digunakan adalah sekitar 1% berat CPO, sehingga SBE yang dihasilkan sangat banyak. Hal ini mempertimbangkan volume produksi CPO di Indonesia sebesar 47 juta ton pada tahun 2023 dan diprediksi akan terus meningkat (Abdelbasir et al., 2023; Redaksi Sawit Indonesia, 2020). Jumlah limbah ini tidak sepadan dengan ketersediaan perusahaan pengelola SBE berlisensi di Indonesia pada tahun 2019, sebanyak 11 perusahaan yang hanya mampu memproses sebanyak 116 ribu ton/tahun. Data pada tahun yang sama menunjukkan bahwa hanya 51,47% SBE yang diolah, sehingga terdapat gap besar antara limbah yang dihasilkan dan kemampuan pengolahan (Research Team PASPI, 2020a, 2020b). Hal ini membuka peluang besar dalam dibukanya pabrik atau *plant* khusus yang dapat mengolah limbah tersebut. *Plant* ini dapat menjadi pihak ketiga bagi industri *refinery* kelapa sawit yang banyak terletak di area

industri yang terletak di pulau Sumatera. Tidak hanya menjadi jasa pengolahan limbah, pengolahan dari *plant* ini akan menghasilkan *De-Oiled Bleached Earth* (De-OBE) yang memiliki nilai ekonomis serta dapat diaplikasikan sebagai bahan konstruksi, adsorben, tambahan pupuk dan tambahan pakan ternak. Alternatif lainnya yaitu mengaktivasi ulang De-OBE agar dapat digunakan kembali dalam proses *refinery* CPO. Selain itu, minyak yang dihilangkan dari SBE dapat di-*recovery* (*Recovery Oil* atau R-Oil) dan digunakan dalam *downstream* pengolahan minyak nabati untuk keperluan non-pangan seperti produksi biodiesel dan pelumasan (Research Team PASPI, 2020b, 2020a).

Desain proses ekstraksi SBE yang dibuat menggunakan metode *solvent extraction* secara *batch* dengan pelarut non-polar n-heksana untuk mendapat De-OBE dan R-Oil. Pelarut ini telah dikenal luas dan digunakan secara komersial dalam ekstraksi minyak karena memiliki berbagai kelebihan. Kelebihan tersebut antara lain harga yang relatif murah dengan puritas solven yang tinggi, efisiensi ekstraksi yang relatif tinggi, selektivitas yang baik, solven mudah di-*recovery* dan *recycle* serta kemampuannya untuk mempertahankan kualitas minyak yang terekstraksi. Solven n-heksana memiliki panas laten penguapan yang rendah (330 kJ/kg), sehingga proses *recovery*-nya juga lebih hemat energi dibanding pelarut lain. (Carré, Berthold, Piofczyk, Bothe, & Hadjiali, 2025; Kumar et al., 2017). Selain proses ekstraksi yang cukup sederhana dan dapat menghasilkan 2 output produk, kelebihan proses ini juga terletak pada penggunaan suhu dan tekanan yang tidak terlalu tinggi sehingga mengurangi kebutuhan energi. Proses ini kemudian dilanjutkan dengan pemisahan minyak yang terekstrak dari pelarut n-heksana dengan *desolvenizer* sehingga terdapat produk lain yaitu R-Oil. Selama pemisahan, kondensasi bertahap akan memastikan bahwa gas buang pada radius 200 m dibawah standar paparan hidrokarbon termasuk n-heksana yaitu 160 ug/m³ (Pemerintah Republik Indonesia, 2021a). Produk De-OBE yang dihasilkan berbentuk padatan kering dengan kandungan minyak dibawah <3%. Minyak R-Oil memiliki kandungan trigliserida dan asam lemak yang serupa dengan CPO dan sesuai untuk bahan baku industri oleokimia non-pangan.

Namun demikian, tantangan utama dari implementasi desain ini mencakup aspek kesehatan, keselamatan kerja dan aspek lingkungan hidup karena melibatkan penggunaan pelarut n-heksana yang mudah terbakar dan mudah menguap sehingga memerlukan sistem isolasi proses yang ketat dan penanganan gas buang yang tepat. Tantangan administratif termasuk perizinan AMDAL, fluktuasi komposisi produk yang masuk dan ketersediaan tenaga kerja teknis di wilayah target.

Sebagai kesimpulan, pabrik Ekstraksi SBE dengan produk De-OBE (kadar minyak <3%wt) dan R-Oil kapasitas pengolahan SBE 250.000 ton/tahun direncanakan mulai dibangun pada tahun 2027 dan ditargetkan beroperasi penuh pada tahun 2031. Pemilihan kapasitas dan tahun tersebut mempertimbangkan proyeksi peningkatan jumlah limbah SBE yang harus ditangani dan waktu yang diperlukan untuk perizinan dan konstruksi. Lokasi pabrik akan ditempatkan di kawasan industri pengolahan minyak nabati di provinsi Riau dengan sistem *batch extraction* menggunakan pelarut n-heksana.

I.2 Analisa Pasar dan Kapasitas Produksi

I.2.1 Analisa Pasar

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Indonesia (2024), produksi minyak kelapa sawit mentah atau CPO dan pengolahannya memiliki porsi besar dalam industri agribisnis di Indonesia. Produksi CPO dapat mencapai jutaan ton tiap tahunnya, diiringi tren peningkatan yang signifikan sebesar 35% dalam kurun tahun 2015-2023 (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2024). Produksi CPO ditujukan dalam memenuhi berbagai kebutuhan minyak kelapa sawit dalam bidang pangan, farmasi, energi dan oleokimia. Pada tahun 2025, minyak kelapa sawit bahkan diestimasikan memiliki valuasi pasar global sebesar 75,50 milyar USD dan diprediksi terus tumbuh menjadi 113,99 milyar USD pada 2035, dengan nilai CAGR (*Compound Annual Growth Rate*) sebesar 4,3% (Grand View Research Inc., 2025). Industri ini berkembang pesat di Asia Pasifik dan khususnya di Indonesia, yang menyumbang sekitar 58% dari total produksi minyak sawit dunia. Perusahaan besar yang bergerak dalam sektor ini seperti PT Sinar Mas Agro Resources and Technology Tbk (SMART), PT Salim Ivomas, PT Tunas Baru Lampung Tbk dan PT Wilmar Nabati Indonesia (The Leap, 2024). Persebaran unit perkebunan dan pengolahan usaha kelapa sawit tersebar pada 3 pulau besar di Indonesia yaitu Sumatera, Kalimantan dan Jawa. Pulau Sumatera dengan provinsi Riau menjadi daerah penghasil CPO terbesar di Indonesia (Fichtner GmbH & Co. KG, 2025). Dengan volume produksi yang besar, tahap *refinery* yang intensif juga diperlukan. Saat ini, industri kelapa sawit beserta produk turunannya merupakan salah satu pilar utama perekonomian Indonesia, sebagaimana tercantum dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2025–2029. Oleh karena itu, hilirisasi industri sawit menjadi prioritas utama pemerintah dengan tujuan mengurangi ekspor bahan mentah yaitu CPO dan meningkatkan proses *downstream* yang dapat menghasilkan produk dengan nilai ekonomi lebih tinggi. Selain itu, kebijakan

ini juga mendorong peningkatan pengolahan CPO di dalam negeri melalui proses *refinery* dan pengembangan industri oleokimia (Kementerian PPN/Bappenas, 2025).

Salah satu tahap dalam proses *refinery* adalah *bleaching* atau pemucatan warna CPO. Limbah dari proses ini yaitu SBE memiliki jumlah yang masif dan termasuk dalam limbah B3, sehingga diperlukan pengolahan lebih lanjut, baik oleh perusahaan sendiri atau pihak ketiga. Kategori B3 ditimbulkan dari kadar minyak yang tinggi dan pengotor seperti logam berat dalam SBE. Menyesuaikan dengan Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2024 tentang klasifikasi komoditas turunan kelapa sawit, SBE harus diolah hingga kadar minyak dibawah ambang 3% agar terlepas dari kategori limbah B3. Beberapa perusahaan *refinery* yang telah menerapkan pemrosesan SBE seperti PT Wilmar Nabati Indonesia dengan metode *solvent extraction* dan *subcritical water*. Sedangkan perusahaan pihak ketiga yang memproses SBE adalah sebagai berikut:

Tabel I.1 Daftar perusahaan pengolah limbah B3 termasuk SBE dan metode pengolahannya (Dilansir dari website masing-masing perusahaan).

No.	Nama Perusahaan	Metode Pengolahan	Lokasi	Website Perusahaan
1.	PT Envitec Multi Indonesia	Ekstraksi SBE dan distilasi	Dumai, Riau	https://www.envitec.co.id
2.	PT Universal Eco Pasific	Pirolisis dan insinerasi	Banten, Sumatera Utara dan Sumatera Selatan	https://universaleco.id
3.	PT Adhi Waste Management	Ekstraksi SBE dan distilasi	Deli Serdang, Sumatera Utara	https://adhiwaste.com/
4.	PT. Pengelola Limbah Kutai Kartanegara	Pirolisis dan insinerasi	Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur	https://www.plkk.co.id
5.	PT Ecooils Jaya Indonesia	Ekstraksi SBE serta kalsinasi residu.	Dumai, Riau dan Gresik Jawa Timur	https://www.ecoilsenergy.com/

Dilansir dari website GIMNI, biaya pengolahan SBE berkisar Rp 1.000.000-Rp. 1.150.0000/ton dengan proses *solvent extraction*. Proses ini menjadi pilihan yang menarik bagi industri pengolahan limbah B3 SBE dikarenakan terdapat produk samping yang bisa dijual kembali oleh perusahaan pengelola berupa R-Oil dan De-OBE. Contoh produk komersial hasil pemrosesan *solvent extraction* khususnya De-OBE adalah *Eco-Processed Pozzolan* dari PT Ecooils yang digunakan sebagai pengganti semen untuk beton siap pakai,

beton pracetak, dan produk bahan bangunan (EcoOils Sdn Bhd, 2026). Penggunaan De-OBE pada aplikasi konstruksi umumnya sebagai bahan tambahan dan pengisi atau disebut *Supplementary Cementitious Materials* (SCM). Proses regenerasi umumnya tidak dilakukan pada De-OBE karena kualitas BE hasil regenerasi tidak sebanding dengan BE baru, sementara biaya yang diperlukan untuk proses regenerasi relatif tinggi. Oleh karena itu, pengolahan SBE di industri tidak diarahkan untuk menghasilkan produk akhir berupa BE regenerasi yang digunakan dalam tahap *bleaching*, melainkan material lain yang dapat digunakan lagi pada aplikasi non-pangan (Naser, Avbenake, Dabai, & Jibril, 2021). Berdasarkan studi pasar, diproyeksi material SCM memiliki valuasi pasar senilai USD 39,54 miliar dengan *Compound Annual Growth Rate* (CAGR) sebesar 5,8% pada tingkat global, yang pertumbuhannya didominasi oleh pasar Asia-Pasifik termasuk Indonesia. Peningkatan peluang pasar SCM banyak didorong oleh pesatnya urbanisasi, investasi pemerintah dalam infrastruktur, serta meningkatnya kesadaran lingkungan di negara-negara Asia-Pasifik (Data Bridge Market Research, 2025). Aplikasi ulang sebagai adsorben setelah direaktivasi juga sangat menjanjikan dengan valuasi pasar mencapai USD 3,61 miliar pada tahun 2030, dengan CAGR sebesar 5,7% dari tahun 2025 hingga 2030 secara global (Grand View Research, 2024). Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa pasar De-OBE sangat besar dan akan terus meningkat, sehingga produk De-OBE dapat diserap baik di pasar dalam negeri dan luar negeri.

Hingga saat ini, R-Oil juga telah dipasarkan secara komersial untuk kebutuhan industri *oleochemical* termasuk lubrikan dan biodiesel dengan nama umum SBE *oils* yang termasuk dalam kategori komoditas *industrial grade palm oil* (IGPO). Salah satu aplikasinya yaitu sebagai bahan baku biodiesel, sudah banyak diadopsi oleh berbagai negara karena dilatarbelakangi oleh sektor industri yang mulai beralih ke bahan bakar alternatif berbasis nabati (Future Market Reports, 2026a, 2026b). Adapun peluang pasar R-Oil yang sangat besar dapat dibuktikan dengan nilai valuasi pasar dan CAGR yang besar pada kategori *waste oil*. Pasar *global waste oil* mencapai USD 15,22 miliar pada tahun 2026 dan diproyeksikan meningkat menjadi USD 26,58 miliar pada tahun 2034 dengan CAGR sebesar 7,22%. Asia Pasifik menjadi kawasan dengan pangsa pasar terbesar yaitu mendominasi 38,54% pasar global. Aplikasi terbesar yaitu *biofuel* menyumbang lebih dari 51,21% penggunaan *waste oil*, menunjukkan bahwa industri biodiesel merupakan pasar utama bagi produk *recovered oil* (Fortune Business Insights, 2026). Di Indonesia, program mandatori biodiesel (program B30-B50) juga mendukung penyerapan produk biodiesel. Pemanfaatan biodiesel di Indonesia menunjukkan tren peningkatan dari tahun ke tahun.

Realisasi konsumsi biodiesel mencapai 9,3 juta kiloliter pada tahun 2021 melalui implementasi program B30, kemudian meningkat menjadi 10,4 juta kiloliter pada tahun 2022, 12,3 juta kiloliter pada tahun 2023, dan kembali naik menjadi 13,2 juta kiloliter pada tahun 2024 seiring penerapan mandatori B35 (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2026). Nilai ini jauh melebihi kapasitas produksi dikisaran $\pm 81,5$ ribu kiloliter, sehingga hasil R-Oil dari pendirian *plant* ini dapat terserap pada pasar biodiesel di Indonesia. Tren harga IGPO nantinya akan mengikuti harga CPO, tetapi relatif lebih murah karena kualitas yang dibawah CPO.

Di tahun 2019, Meskipun beberapa *plant* dan berbagai perusahaan pihak ketiga telah memproses limbah SBE, tetapi kesenjangan antara jumlah SBE dan fasilitas pengolahan masih sangat tinggi. Tercatat hanya ada 11 perusahaan yang berlisensi dalam pengolahan limbah SBE dengan kapasitas total sebanyak 116 ribu ton/tahun, sedangkan pada tahun tersebut dihasilkan SBE sebanyak 778.000 ton (Research Team PASPI, 2020b). Secara keseluruhan, hanya setengah dari total SBE yang diolah, sedangkan sebagian lagi tidak terolah dan banyak terkait dengan *illegal landfill* serta pencemaran lingkungan. Bahkan, pada periode 2017 hingga 2019, terjadi peningkatan persentase SBE yang tidak diolah, dari 39% menjadi 48% dari total SBE yang dihasilkan oleh industri *refinery* minyak nabati (Mongabay, 2021) Maka dari itu terdapat kebutuhan yang sangat mendesak untuk pendirian unit-unit baru dalam pengolahan limbah B3 SBE baik dari asosiasi pengusaha *refinery* kelapa sawit maupun meninjau urgensi dalam pencegahan kasus-kasus pelanggaran hukum terkait limbah B3 (GIMNI, 2020).

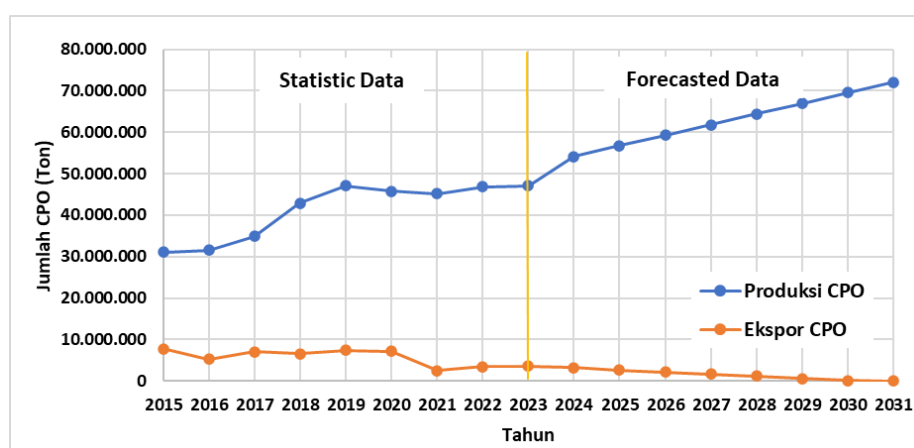
I.2.2 Kapasitas Produksi

Penentuan kapasitas pabrik ini memiliki kaitan erat dengan ketersediaan bahan baku yang diolah yaitu SBE. Proyeksi jumlah SBE yang diolah akan didasarkan pada tingkat produksi minyak nabati mentah di Indonesia terkhusus pada *crude palm oil* (CPO) saja. Hal ini menimbang industri minyak nabati terbesar berasal dari pengolahan kelapa sawit. Jumlah SBE diambil dengan pertimbangan jumlah BE yang digunakan secara umum adalah 1% dari berat CPO yang diolah dengan kandungan minyak 30%wt. Data dari Badan Pusat Statistik pada **Tabel I.2** menunjukkan tren peningkatan produksi CPO disertai jumlah ekspor CPO yang mempengaruhi kapasitas pengolahan dalam negeri CPO di Indonesia. Angka ini juga diproyeksikan pada **Gambar I.1** (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2024, 2025). Adapun impor tidak diperhitungkan karena volume yang sangat

kecil (<50 kg pada tahun 2034), sedangkan konsumsi tidak digunakan karena CPO merupakan *intermediate* produk yang tidak dapat dikonsumsi oleh industri atau masyarakat sebelum diolah terlebih dahulu oleh beberapa tahapan termasuk *bleaching*.

Tabel I.2 Data statistik dan hasil *forecast* produksi dan ekspor CPO di Indonesia

Tahun	Produksi CPO (Ton)	Ekspor CPO (Ton)	Keterangan
2015	31.070.015	7.788.550	Data Statistik
2016	31.487.986	5.283.953	
2017	34.940.289	7.076.061	
2018	42.883.631	6.554.495	
2019	47.120.247	7.401.796	
2020	45.741.845	7.170.956	
2021	45.121.480	2.543.057	
2022	46.819.672	3.455.677	
2023	47.084.299	3.595.946	
2024	54.148.642	3.177.408	Hasil <i>Forecast</i>
2025	56.713.725	2.664.888	
2026	59.278.807	2.152.367	
2027	61.843.890	1.639.847	
2028	64.408.973	1.127.327	
2029	66.974.055	614.806	
2030	69.539.138	102.286	
2031	72.104.221	0 (Tidak ada ekspor)	



Gambar I.1 Grafik data statistik dan hasil *forecast* produksi dan ekspor CPO di Indonesia

Berdasarkan **Gambar I.1**, terlihat bahwa tren produksi CPO mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, sementara volume ekspor CPO cenderung menurun. Kondisi ini menunjukkan bahwa porsi CPO yang diolah di dalam negeri semakin meningkat, seiring dengan penguatan kebijakan hilirisasi dan peningkatan kapasitas industri pengolahan domestik. Hasil *forecast* ditinjau hingga 5 tahun kedepan yaitu 2031 untuk mempertimbangkan proses desain pabrik hingga pabrik didirikan dan dapat beroperasi. Kapasitas pada *plant* pengolahan ini dirancang untuk menyerap 48% dari total SBE yang tidak terolah. Nilai 48% yang didapat pada tahun 2019 tidak diproyeksikan meningkat pada tahun-tahun berikutnya, dengan mempertimbangkan potensi pendirian unit-unit pengolahan mandiri oleh perusahaan *refinery* minyak nabati maupun oleh perusahaan pengelola limbah B3. Selain itu, dengan mempertimbangkan tingginya biaya pengangkutan limbah untuk jarak jauh, kapasitas pengolahan ditetapkan sebesar 50% dari 48% jumlah SBE yang tidak terkelola di Indonesia pengolahan (Research Team PASPI, 2020a, 2020b), dengan cakupan pelayanan terbatas pada *refinery* di Pulau Sumatera. Penetapan ini didukung oleh fakta bahwa lebih dari 50% industri *refinery* CPO berada di Pulau Sumatera (Fichtner GmbH & Co. KG, 2025). Perhitungan kapasitas sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Pengolahan CPO tahun 2031} &= \text{Produksi CPO} - \text{Ekspor CPO} \\ &= 72.104.221 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah BE yang digunakan} &= 1\% \times \text{Kapasitas pengolahan CPO} \\ &= 1\% \times 72.104.221 \text{ ton} = 721.042 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah SBE yang dihasilkan (30\%wt oil)} &= \frac{100\%}{100 - 30\%} \times \text{Jumlah BE} \\ &= \frac{100\%}{100 - 30\%} \times 721.042,21 \text{ ton} \\ &= 1.030.060 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah SBE yang tidak terolah} &= 48\% \times \text{Jumlah SBE yang Dihasilkan} \\ &= 48\% \times 1.030.060 \text{ ton} = 494.429 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Pengolahan Plant SBE Extraction} &= 50\% \times 494.429 \text{ ton} \\ &= 247.214 \text{ ton} \approx 250.000 \text{ ton} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, maka pada tahun 2031 didapatkan kapasitas *plant* pengolahan SBE yang sesuai adalah sebesar 250.000 ton/tahun. Perhitungan ini didasarkan pada kapasitas produksi CPO dan jumlah SBE yang belum terolah khususnya di Pulau Sumatera sebagai pusat industri *refinery* di Indonesia.

I.3 Kegunaan Produk dan Keunggulan Proses

Produk hasil pengolahan *plant* SBE adalah *De-oiled Bleaching Earth* (De-OBE) dan *Recovery oil* (R-Oil). De-OBE merupakan material padat hasil pemrosesan SBE yang telah berkurang kandungan minyaknya (<3%) sehingga dapat dibuang atau diaplikasikan pada bidang konstruksi maupun agrikultur (Research Team PASPI, 2020a). Penggunaan De-OBE sangat *feasible* secara ekonomi sekaligus ramah lingkungan karena memanfaatkan limbah industri. Aplikasi dari De-OBE adalah sebagai berikut :

1. Aplikasi *direct landfilling* : De-OBE memiliki kandungan minyak yang rendah dan bersifat *inert* sehingga dapat di buang langsung ke *site*/tanah terbuka. De-OBE berperan sebagai lapisan penutup maupun material pengisi yang membantu menstabilkan permukaan sekaligus mengurangi rongga. Material ini dapat dicampur dengan tanah lokal atau aspal untuk meningkatkan kepadatan serta memperkuat lapisan dasar jalan. Selain itu, De-OBE juga dapat digunakan pada lapangan terbuka untuk meratakan dan mengisi area kosong dalam proyek industri maupun infrastruktur.
2. Bahan tambahan agregat material konstruksi : De-OBE mengandung silika dan alumina, sehingga sangat cocok sebagai substitusi dari agregat alami seperti pasir untuk memproduksi bermacam-macam material konstruksi seperti beton, batu bata hingga ubin atau keramik. De-OBE juga dapat diproses lebih lanjut dengan tahap kalsinasi, *grinding* dan *blending* sehingga dihasilkan produk *Eco-Portland Pozzoland* atau EPP yang menjadi penggantinya semen *pozzoland* konvensional. Pada tahap kalsinasi, kalor yang dilepas juga dapat menjadi bahan bakar bagi unit operasi lain seperti *boiler* (Hasibuan, 2023). Selain itu, De-OBE dapat menggantikan penggunaan semen hingga 30% dan terbukti meningkatkan sifat-sifat beton busa (*foamed concrete*) (Rokiah, Khairunisa, Youventharan, & Arif, 2019)
3. Bahan adsorben (aplikasi *wastewater treatment*) : Uji karakteristik pada De-OBE menunjukkan bahwa morfologi permukaan pori serta komposisi kimia pada De-OBE berpotensi dimanfaatkan sebagai material adsorben yang ekonomis, terlebih jika diaktivasi lebih lanjut (Yulikasari, Nurhayati, Utama, & Warmadewanthi, 2022). Banyak studi telah menunjukkan performa De-OBE (baik yang belum diaktivasi, sudah diaktivasi ataupun hasil modifikasi) dalam adsorpsi logam berat, pewarna sintetik, pestisida dan gas CO₂ (Abdelbasir et al., 2023).
4. Bahan tambahan pupuk : De-OBE yang memiliki kandungan silika tinggi yang juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan pupuk NPK. Aplikasi komponen silika sebagai bagian dari pupuk telah terbukti meningkatkan pertumbuhan

tanaman serta ketahanannya terhadap stres biotik maupun abiotik, dan juga memperbaiki penyerapan unsur hara termasuk nitrogen (N), fosfor (P), dan kalsium (Ca), sehingga meningkatkan efektivitas pupuk secara keseluruhan (Thakral et al., 2024). Selain itu, limbah berbasis bentonite seperti SBE terbukti menjadi amelioran yang sesuai untuk kesuburan tanah, pemulihan mikroba, dan peningkatan biomassa pada tanah (Abdelbasir et al., 2023).

5. Bahan tambahan pakan ternak : Kandungan mineral dan sisa minyak dalam De-OBE dapat menjadi nutrisi yang berguna sebagai campuran dalam pakan ternak (Research Team PASPI, 2020a). Selain itu, bahan berbasis tanah liat memang dipakai sebagai *flow agent* dalam pakan ternak. De-OBE yang memiliki luas permukaan yang besar dapat mengikat kelembapan dan mencegah penggumpalan, sehingga meningkatkan keseragaman pada proses pencampuran dan memastikan asupan nutrisi yang konsisten bagi hewan (Smallwood, 2016).

Di lain sisi, R-Oil adalah produk fase cair yang diperoleh setelah tahap ekstraksi minyak dari dalam SBE. R-Oil yang didapat harus diolah terlebih dahulu sehingga menjadi produk siap pakai yaitu biodiesel dan pelumasan. Keduanya dapat diaplikasikan sebagai berikut:

1. Bahan baku produksi biodiesel : R-Oil memiliki kandungan trigliserida seperti minyak pada umumnya, sehingga dapat dikonversi menjadi *fatty acid methyl esters* (FAME) melalui proses transesterifikasi baik secara *in situ* ataupun *ex-situ* (setelah R-Oil didapat). FAME atau dikenal luas sebagai biodiesel memiliki sifat bahan bakar yang sebanding dengan solar berbasis minyak bumi komersial, sehingga dapat digunakan sebagai pengganti solar (Kheang, May, & Ngan, 2007).
2. Bahan baku produksi pelumasan : R-Oil juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan pelumas untuk membentuk dan mempertahankan lapisan tipis pada bagian logam mesin serta permukaan yang bersentuhan dengan minyak, sehingga membantu memperhalus dan melumasi kinerja komponen tersebut. (Kheang et al., 2007). Pada produksinya, minyak dari SBE diambil kemudian diaplikasikan sebagai *bio-lubricant* setelah dikonversi menjadi metil ester lalu etilen glikol ester melalui dua prosedur transesterifikasi pada hasil pelumas lebih dari 90% dan karakteristiknya memenuhi standar SNI 7069.9-2016 (Abdelbasir et al., 2023).

Kedua bahan ini memiliki keunggulan dari segi ekonomis karena harganya yang lebih murah dibanding *raw material* yang digunakan pada aplikasi umumnya. Kualitas produk yang ditawarkan juga hampir sama dengan produk konvensional bahkan

mengalami peningkatan seperti pada integrasinya pada bahan-bahan konstruksi. Keunggulan dari *plant* pengolahan SBE ini juga terdapat pada penggunaan metode *solvent extraction* dengan pelarut organik n-heksana. Dibandingkan metode lain seperti *thermal treatment* serta ekstraksi fluida superkritis dan subkritis, *solvent extraction* beroperasi pada suhu rendah dan tekanan atmosfer, sehingga kebutuhan energi dan kompleksitas peralatan lebih rendah. Selain itu, pelarut yang digunakan bersifat umum, mudah *direcovery* dan telah banyak diaplikasikan di industri, sehingga proses ini lebih ekonomis dan realistis untuk diterapkan pada skala industri. Minyak hasil *solvent extraction* (R-Oil) memiliki kualitas yang baik, *yield* yang cukup tinggi, kadar *impurities* yang rendah, serta selektivitas tinggi terhadap trigliserida. Proses ekstraksi pada suhu rendah dan tekanan atmosfer meminimalkan degradasi termal, sehingga struktur kimia minyak tetap terjaga. Selain itu, kadar *Free Fatty Acid* (FFA) relatif lebih rendah dibandingkan proses berbasis suhu tinggi, sehingga minyak yang dihasilkan lebih stabil dan berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku biodiesel maupun proses oleokimia lanjutan.

I.4 Sifat Fisika dan Kimia

I.4.1 Bahan Baku dan Bahan Tambahan

Produk yang dihasilkan pada desain *plant* pengolahan ini berupa *De-Oiled Bleaching Earth* (De-OBE) dan *Recovery Oil* (R-Oil) yang diperoleh melalui metode *Solvent Extraction* pada *Spent Bleaching Earth* (SBE). Proses ekstraksi dilakukan dengan pelarut berupa n-Heksana dan proses absorpsi uap n-heksana menggunakan *mineral oil*. Adapun sifat fisika dan kimia dari bahan baku yang digunakan diberikan pada **Tabel I.3**.

Tabel I.3. Sifat fisika dan kimia bahan baku, pelarut dan produk

Nama bahan	Sifat Fisika & Kimia	Komposisi	Ref
<i>Spent Bleaching Earth</i> (SBE) Bentuk : Padatan menggumpal berwarna coklat kehitaman dengan kandungan minyak tinggi	pH : 4,5-5,33 (<i>acid activated clay</i>) rasio C:N : 293:1 <i>Particle size</i> : 15-35 μm Sg : 2,0-2,7 <i>Energy content</i> : 11-16 MJ/kg <i>Flash point</i> : 270 °C <i>Cation exchange capacity</i> : 36.02 $\pm$ 0.1 cmol/kg Kandungan minyak : 30 %wt $C_{p, \text{bleaching earth}}$ (Bentonite)= 1,0035 kJ/kg.K $K_{\text{bleaching earth}}$ (Bentonite)= 0,388 W/m.K $C_{p, \text{palm oil}}$ (20°C-150°C) = 1,848-2,249 kJ/kg.K $K_{\text{palm oil}}$ (20°C-150°C) = 0,1726 – 0,1627 W/m.K $BM_{\text{palm oil}}$ = 847,78 g/mol	<i>Bleaching Earth (Activated)</i> =63,18%wt SBE Komponen: SiO_2 = 62,34% Al_2O_3 = 17,24% Fe_2O_3 = 2,73% MgO = 5,44% CaO = 2,09% FeO = 0,12% TiO = 0,15% MnO = 0,15% <i>Moisture</i> (H_2O) = 6,82%	(Abdelbasir et al., 2023; ChemPro, 2026; Ismail & Ghazali, 2018; Placxedes, Tirivaviri, Abdulkareem, Ambali, & Gwiranai, 2024; Pujiastuti, Ketut Sumada, Meriana

	– Memiliki struktur amorf – Mudah terbakar – Toksik – Berbahaya bagi lingkungan.	<i>Adsorped component</i> : 30 %wt SBE (asumsi <i>Palm Oil</i> 100%)	Armidianti, & Adinda Rimarsya Bahita Ahmad, 2022; Wu, 2019; Yoon et al., 2024)
n-Heksana (C ₆ H ₁₄) CAS-No. :110-54-3 Bentuk: Cair tak berwarna pada suhu 25 °C Kemurnian 97%	BM : 86,18 g/mol BP : 69 °C (1 atm) MP : -94 °C (1 atm) Flash Point : -21,7 °C Lower explosive limit (LEL) : 1,1%v/v Upper explosive limit (UEL) : 7,5%v/v Sg : 0,659 T _C : 234,45 °C P _C : 30,25 bar V _C : 371 cm ³ /mol K (thermal conductivity) : 0.124 W/m.K – Tidak larut dalam air dan bersifat non-polar – Volatil – <i>Flammable</i> – <i>Irritant</i> – Toksik – Berbahaya bagi lingkungan	n-heksana = 99%wt 2-metilpentana (<i>isohexane</i>) = 1%wt Grade = <i>Non-food grade</i>	(Chase, 1998; Safety & Administ ration, 2022; Smith, Van Ness, Abbott, & Swihart, 2018)

I.4.2 Produk

Plant yang didesain memiliki produk utama berupa De-OBE didistribusi dengan *bulk packaging (Loose in Truck/Container)*, sedangkan R-Oil dikirim dengan *bulk road tanker* ke pabrik biodiesel atau lubrikan. Sifat fisika dan kimia dari kedua produk diberikan pada **Tabel I.4**. Beberapa sifat adalah sama dengan uraian sifat komponen yang ada pada SBE.

Tabel I.4 Sifat fisika dan kimia produk

Nama bahan	Sifat Fisika & Kimia	Komposisi	Ref
<i>De-Oiled Bleaching Earth</i> (De-OBE) Bentuk : Padatan berbentuk bubuk halus berwarna cokelat muda	Particle size : 15-35 µm Nilai kalor : 3,141 MJ/kg Kandungan minyak : <3% wt Bulk density : 960–1200 kg/m ³ Hexane content : max. 500 ppm Water content : max 10%wt – Higroskopis – Reaktivitas rendah dan stabil – Debu dapat menyebabkan iritasi pada mata, kulit, dan saluran pernapasan.	<i>Bleaching Earth</i> (Komposisi sama dengan Tabel I.3) = 90,61 % wt De-OBE <i>Adsorped component</i> = 9,3910%wt De-OBE Komponen : Minyak = 1,4207 % Air = 7,9451% Hidrokarbon C6= 0,0253% (253 ppm)	(Abdelba sir et al., 2023; Hamid, Asrah, Abidin, Matlan, & Ping, 2025; Wu, 2019)

<i>Recovery Oil</i> (R-Oil) Bentuk : Minyak cair pada suhu ruang dengan warna coklat pudar-kekuningan	FFA : 11,5% Melting point : 27-38°C Peroxide value : 3,1 meq/kg Total acid number : 1,06 mg/g Pour point : 10°C Cloud point : 26,1°C Flash point ; 172°C Hexane content : max. 100 ppm Water content : max 0,5%wt Impurities : max 0,1%wt – Larut dalam pelarut organik dan bersifat non-polar – <i>Flammable</i> – <i>Persisten dan berbahaya bagi lingkungan</i>	Minyak (asumsi <i>palm oil</i>) = 99,9894 % Air = 0,0004 % Hidrokarbon C6= 0,0075% (75 ppm) impurities (BE) = 0,0027% Komponen asam lemak (%wt metil ester): C14:0 = 1,1 % C16:0 = 45,2 % C18:0 = 4,9 % C18:1 = 37,9 % C18:2 = 10,9% <i>Trace component</i> = phosphorus, Fe dan Cu	(Kheang et al., 2007)
---	--	---	------------------------------