

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

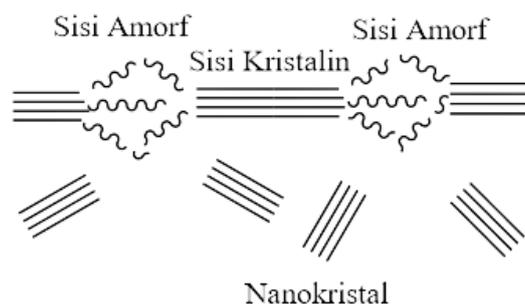
Pengembangan dan produksi material dari sumber yang dapat diperbarui menjadi target utama dalam berbagai bidang industri saat ini. Hal ini merupakan salah satu upaya untuk pelestarian lingkungan. Selulosa merupakan salah satu polimer alam yang dapat diperbarui dan memiliki sifat yang aplikatif dalam berbagai industri, termasuk pangan, farmasi, tekstil, dan energi. Selulosa tersedia sebagai sumber daya alam dengan jumlah yang melimpah. Nanoselulosa adalah salah satu material turunan selulosa yang banyak menarik minat industri, hal ini dikarenakan karakteristiknya yang sangat luar biasa seperti kekuatan mekanis yang tinggi, tingkat kekakuan yang dapat diatur, dan luas area permukaan yang tinggi. Karakteristik unggul dari nanoselulosa membuatnya dapat diaplikasikan dalam produksi berbagai jenis produk, misalnya filler penguat polimer, aditif untuk produk-produk biodegradable, penguat membran, pengental dispersi, media pembawa obat, serta material implan (Ioelovich, 2014). Dalam prarencana pabrik ini, nanoselulosa direncanakan diproduksi dari bahan baku berupa limbah yaitu Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). Rerata produksi tandan kosong kelapa sawit adalah berkisar 22% hingga 24% dari total berat tandan buah segar yang diproses di Pabrik Kelapa Sawit (M Roganda L Lumban Gaol et al., 2013).

TKKS yang sudah dimanfaatkan hanya 10% dan itupun untuk bahan bakar boiler dan kompos, padahal banyak sekali produk yang bisa dibuat dari hasil pengolahan TKKS (Biswas et al., 2007). Salah satu bahan yang sangat penting dari TKKS yang bisa dimanfaatkan menjadi produk lain yang bernilai tinggi adalah selulosa. Selulosa merupakan polimer alam yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan kain, bioetanol, dan bioplastik dengan mensintesisnya menjadi selulosa asetat (Dewanti, 2018). Peningkatan kandungan selulosa sejalan dengan penurunan kandungan nanoselulosa.

Kandungan nanoselulosa seperti lignin, pectin dan wax dapat dihilangkan secara efektif dengan menggunakan *chemical treatment* (Kang et al., 2007).

TKKS sendiri terdapat beberapa komponen penyusun yang dapat diekstraksi dan dimanfaatkan menjadi produk lain yang lebih berharga. Salah satu komponen TKKS tersebut adalah selulosa. Kandungan selulosa merupakan bahan penyusun TKKS dengan persentase paling besar yaitu sekitar 30 - 40%. Selulosa merupakan suatu polimer alam yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan nanoselulosa sebagai komposit, nanofiber, kain, bioetanol, bioplastik, dan masih banyak manfaat lainnya . Selulosa yang terkandung dalam TKKS sebesar 38,77% atau sekitar 37,65% (Bahmid, 2015) dengan kandungan serat mencapai 72,76% (Herawan, 2010). Karena tingginya kandungan selulosa tersebut menyebabkan TKKS sangat berpotensi menjadi raw material untuk diambil kandungan selulosanya (Dewanti, 2018).

Metode yang digunakan dalam pembuatan nanoselulosa dari TKKS ini adalah menggunakan metode Hidrolisis Asam (Acid Hydrolysis). Mekanisme hidrolisis asam umumnya yang digunakan adalah asam kuat. Asam kuat dapat menghilangkan bagian amorf dari suatu rantai selulosa sehingga isolasi pada bagian kristalin selulosa dapat dilakukan (Oke, Isdin 2010). Asam kuat yang digunakan dalam hidrolisis asam adalah asam sulfat (H_2SO_4) 64% berat (Zhao et al., 2009).



Gambar I.1. Sisi dan kristalin dari selulosa (Oke, Isdin 2010)

Semua asam kuat yang digunakan dalam hidrolisis asam sangat cocok dalam proses pembuatan nanoselulosa. Namun selain cocok untuk proses hidrolisis asam, asam-

asam kuat juga memiliki pengaruh yaitu seperti seperti beracun, berbahaya, dan korosif. Sifat yang menyebabkan korosif ini dapat menyebabkan korosif pada reaktor sehingga perlu dilakukan treatment dalam menjaga kestabilan tangki-tangki reaktor pada proses industri. Selain itu limbah hasil dari asam kuat harus melalui serangkaian proses terlebih dahulu untuk membuat proses yang ekonomis dan ramah lingkungan. Hasilnya, efek dari perbedaan jenis asam, pH, suhu reaksi, dan waktu reaksi terhadap sumber selulosa merupakan hal yang penting untuk memaksimalkan modifikasi muatan permukaan pada selulosa yang diinginkan (Effendi et al., 2015)

I.2. Sifat-Sifat Bahan Baku Dan Produk

I.2.1. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS).

TKKS tersusun dari beberapa zat penting yang dapat dimanfaatkan dan diolah menjadi bahan lain yang lebih bernilai ekonomi. Komponen penyusunnya antara lain selulosa, lignin, hemiselulosa, air dan zat ekstraktif lain. Komposisi kimia dari serat kelapa sawit dapat dilihat pada table dibawah ini.

Tabel I.1. Komposisi Kimia Serat Kelapa Sawit. (Shinoj et al., 2011).

Properti	Kadar(%)
Selulosa	42,7-6,5
Lignin	13,2-25,31
Hemiselulosa	17,1-33,5
Extractive in hot water	2,8-14,79
Solubles in coldwater(30°C)	8-11,46
Alkali soluble	14,5-31,17
Alfa-cellulose	41,9-60,6

Tabel I.2. Komposisi Kimia Tandan Kosong Kelapa Sawit. (Richana et al., 2016)

Properti	Bobot Kering(%)
Selulosa	38,29
Lignin	24,15
Hemiselulosa	25,54
Air	8,93
Abu	3,09

Salah satu bahan yang sangat penting dari TKKS yang bisa dimanfaatkan menjadi produk lain yang bernilai tinggi adalah selulosa. Selulosa merupakan polimer alam yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan kain, bioetanol, dan bioplastik dengan mensintesis menjadi selulosa asetat (Dewanti, 2018). Tetapi disini selulosa akan di sintesis menjadi nanoselulosa untuk kebutuhan nanoselulosa pabrik.

I.2.2. Selulosa

Selulosa merupakan sumber polimer yang paling banyak dan dapat diperbarui (Subaghio et al., 2016). Selulosa merupakan polisakarida struktural dan polimer hidrofilik, berupa kristal dengan massa molekul tinggi. Tingkat polimerisasi dapat mencapai 15.000 dan massa molekul dapat mencapai 162,1406 g/mol (Juutinen et al., 2013). Glukosa hadir dalam rantai atau benang selulosa membentuk mikrofibril di dinding sel dari organisme yang berbeda. Dinding sel tanaman terdiri dari dua lapisan. Lapisan tipis luar adalah dinding primer sementara lapisan secondary bagian dalam, terdiri dari tiga lapisan dari area mikrofibrillar amorf dan kristal. Mikrofibril yang disusun secara heliks dari 15 hingga 18 nm gugusan tebal dalam serat selulosa. Fibrils membentuk pilar struktural dasar yang bersatu untuk membentuk unit besar yang dikenal sebagai mikrofibrils yang merupakan unit terbesar yang disebut serat. Pada permukaan kristal alternatif dan bentuk amorf mikrofibril hadir yang dapat diekstraksi sebagai nanoselulosa. Selulosa bakteri adalah

polisakarida yang tidak terkurung com- prising rantai linear β -1,4-glucoopyranose residu di mana jaringan fibril yang tertata dengan baik menimbulkan nanofiber tiga dimensi yang membantu dalam produksi lembaran SM dengan luas permukaan tinggi dan ukuran pori. Dasar kimia dari struktur adalah molekul rantai yang terkait dengan selobiosa. Mirip dengan selulosa itu bebas dari molekul kontaminan, seperti lignin, hemicelluloses, dan pektin, dll., yang biasanya ada dalam selulosa yang berasal dari tanaman. Pemurnian menggunakan larutan NaOH cenderung menjadi proses energi yang rendah, itulah sebabnya kemurnian dapat dipertahankan tanpa menggunakan bahan kimia yang keras (Naz et al., 2019).



Gambar I.2. Skema Terjadinya Nanoselulosa. (Naz et al., 2019)

I.2.3. Nanoselulosa

Nanocellulose terdiri dari fibril selulosa yang memiliki ukuran 1-100 nm. Nanocellulose secara luas digunakan untuk menggambarkan nanomaterial berbasis selulosa yang berbeda seperti serat selulosa nano, nanocellulose kristal, komposit selulosa (Naz et al., 2019). Atas dasar fungsi, struktur, mode produksi, sumber dan kondisi reaksi, ada tiga subdivisi utama nanocellulose adalah bakteri nanocellulose (BNC) yang diamana, nanofibrillated cellulose (NFC) yang biasanya diperoleh dengan menggunakan metode proses disinteregasi enzimatis dan mekanis dan nanoselulosa (CNC) yang diperoleh dengan perlakuan asam kuat, terutama HCl dan H₂SO₄. (Ribeiro et al., 2019)

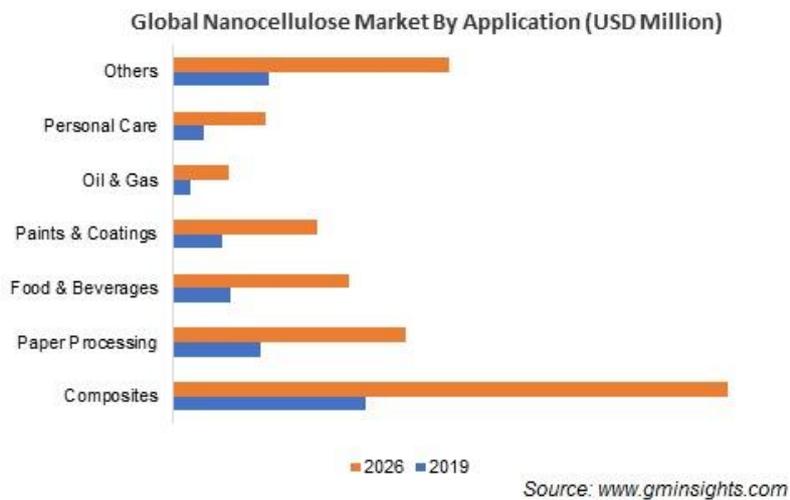
Tabel I.3. Karakteristik Nanoselulosa. (Naz et al., 2019)

Jenis	Diameter (nm)	Panjang	Kristalinitas (%)
CNC	4-25	100-500 μ m	91,2
CNF	10-100	>1 μ m	84,9
BNC	20-100	>1 μ m	70-80

Nanoselulosa (CNC) diproduksi dengan menggunakan metode hidrolisis asam (Acid Hydrolysis) dan asam yang sering digunakan yaitu dengan asam sulfat, tetapi ada juga yang dengan asam fosfat atau asam klorida (Miller, 2015). Nanoselulosa merupakan produk dari selulosa yang banyak diteliti akhir-akhir ini karena sifat mekanis dan kimiawi dari nanoselulosa yang banyak dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi. Nanoselulosa diproduksi dengan cara mengurai dan memisahkan bagian kristalin dari selulosa alami. (Peng et al., 2011).

I.3. Kegunaan dan Keunggulan Produk

Produk nanoselulosa pada Prarencana Pabrik ini memiliki kemurnian 96,5% dan ukuran 4-25 nm. Adapun produk nanoselulosa nantinya akan dijual kepada pabrik lain untuk keperluan pembuatan produk lebih lanjut. Seperti yang ditampilkan pada Gambar I.3, penggunaan nanoselulosa sangat luas seperti untuk pembuatan produk keperluan pribadi, minyak dan gas, cat dan pelapis, kertas, dan berbagai material komposit. Penggunaan nanoselulosa diprediksikan akan mengalami peningkatan yang sangat pesat di tahun 2026.



Gambar I.3. Pemakaian Nanoselulosa dunia.

Penggunaan nanoselulosa (CNC) yang sangat luas di berbagai bidang ini dikarenakan karakteristiknya yang luar biasa. CNC memiliki karakteristik unik seperti kristalinitas tinggi nanoselulosa (54-88%), luas permukaan yang besar (proporsi tinggi aspek serat), luar biasa kekuatan tarik (modulus Young 110-220 GPa), kemampuan cetakan, cukup berat dan keras, stabilitas mekanik, dan porositas tinggi (Lunardi dkk., 2021). Selain itu, CNC juga disebut-sebut sebagai produk yang ramah lingkungan karena biokompatibilitasnya yang baik dan tidak memiliki sifat beracun.

I.4. Ketersediaan Bahan Baku dan Analisa Pasar

I.4.1. Bahan Baku

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), pada tahun 2015 Indonesia memiliki luas perkebunan kelapa sawit sebesar 6.735.300 hektar yang tersebar di 22 provinsi dengan produksi kelapa sawit sebesar 31.070.000 ton per tahun. Sebanyak 25-26% dari total produksi kelapa sawit tersebut merupakan tandan kosong yang menjadi produk samping. Baru sebanyak 10% dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) tersebut

yang sudah dimanfaatkan untuk bahan bakar boiler maupun kompos, dan sisanya masih menjadi limbah, secara spesifik adalah sebesar $\pm 3,1$ juta ton.

Tabel I.4 Penyebaran produksi kelapa sawit beberapa provinsi di Indonesia

Provinsi	Produksi TKKS (Ribuan Ton)			
	2012	2013	2014	2015
Sumatra Utara	3978,43	4549,2	4870,2	5293,1
Riau	6384,54	6647	6993,2	8059,8
Jambi	1718,29	1749,62	1773,7	1794,9
Sumatra Selatan	2492,9	2690,62	2791,8	2821,9
Kalimantan Timur	1298,14	1349,78	1407,3	1586,6

Berdasarkan tabel I.4 terlihat bahwa Riau merupakan pemproduksi TKKS terbesar dan setiap tahunnya meningkat, sehingga dipilih Riau untuk tempat didirikannya pabrik. Adapun bahan baku berupa TKKS yang diperlukan untuk pembuatan Nanoselulosa dalam Prarencana Pabrik ini adalah sebesar 612 ton/tahun. Berdasarkan data diatas dapat disimpulkan bahan dasar pembuatan Nanoselulosa dari TKKS sangat melimpah.

I.4.2. Analisa Pasar

Produksi nanoselulosa dunia diprediksi akan semakin meningkat dari tahun ketahun berdasarkan data yang telah didapatkan dari jurnal pada tahun 2024 sebesar lebih dari 9000 ton/tahun (Ribeiro et al., 2019). Prarencana pabrik nanoselulosa berbahan baku tandan kosong kelapa sawit (TKKS) ini direncanakan akan mulai beroperasi secara pada tahun 2025 dengan waktu konstruksi selama tiga tahun dan untuk memenuhi kebutuhan nanoselulosa di dunia. Berikut data kebutuhan pasar nanoselulosa.

Tabel I.5. Data Pasar Kebutuhan Nanoselulosa dunia

Tahun	Jumlah (ton/tahun)
2018	20.538
2019	24.427
2020	28.315
2021	32.203
2022	36.092
2023	39.980
2024	43.868
2025	47.757

Berdasarkan tabel diatas perkiraan pada tahun 2025 Kebutuhan nanoselulosa dunia diperkirakan sekitar 47.750 ton/tahun. Pemenuhan kebutuhan nanoselulosa telah dilakukan oleh beberapa Pabrik seperti yang ditampilkan pada Tabel I.6. Dari total 10 pabrik yang dapat ditemukan datanya, sekitar 2120 ton (~4,5%) kebutuhan nanoselulosa dapat terpenuhi per tahunnya. Hal ini mengindikasikan bahwa peluang penjualan produk nanoselulosa masih cukup tinggi.

Tabel I.6. Pabrik nanoselulosa di dunia

Nama Perusahaan	Jumlah (ton/tahun)
Nippon Paper	500
CelluForce	330
University of Maine	260
Norske Skog	260
RISE	200
Daicel	200
American Proses	130
CelluComp	100
Chuetsu Pulp And Paper	100
Oji Paper	40

Berdasarkan tabel data diatas, Perusahaan yang memproduksi nanoselulosa terbanyak adalah Nippon Paper sebanyak 500 ton/tahun, dan yang paling sedikit yang adalah Oji Paper sebanyak 40 ton/tahun, sehingga diketahui pabrik nanoselulosa berkisar antara 40-500 ton/tahun, Kapasitas produksi nanoselulosa tidak dapat terlalu tinggi dikarenakan prosesnya yang membutuhkan kontrol yang cukup detil dan alasan faktor keselamatan (Kiran Pulidindi, 2020). Oleh karena itu, kapasitas produksi nanoselulosa untuk Prarencana Pabrik ini dipertimbangkan untuk mengambil kisaran produksi sesuai dengan data Pabrik yang sudah ada, yaitu sebesar 200 ton/tahun dan pabrik akan didirikan pada tahun 2025.