

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Pada beberapa tahun terakhir ini, nanoselulosa telah banyak digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan suatu produk yang memiliki kemampuan sebagai untuk memperkuat bahan yang memiliki polimer sehingga dapat menghasilkan suatu biomaterial dengan kinerja yang tinggi. Nanoselulosa sendiri merupakan molekul selulosa yang memiliki ukuran partikel sebesar 1 hingga 100 nm yang memiliki properti mekanis dari selulosa namun lebih tinggi kualitasnya akibat ukurannya yang diperkecil [1]. Hal inilah yang membuat nanoselulosa sering digunakan dalam pembuatan suatu produk karena bahannya yang melimpah serta ramah lingkungan karena sifatnya yang biodegradable. Pengaplikasian dari nanoselulosa ini dapat dilihat dalam penggunaannya pada industri pabrik kertas, dimana sekitar 100 juta ton per tahun selulosa komersial yang dipanen digunakan dalam proses pembuatan kertas dan karton [1]. Selain di pabrik kertas, nanoselulosa juga diaplikasikan pada industri komposit dan juga di bidang biomedis, dimana selulosa yang sudah dimodifikasi secara kimiawi dapat digunakan dalam proses imobilisasi enzim maupun suatu obat [2].

Pada pra-rencana pabrik ini, nanoselulosa berupa selulosa nanofiber akan diproduksi dengan menggunakan bahan baku berupa batang kayu dari pohon *acacia*. Kandungan selulosa, dan lignin yang berada pada batang pohon kayu *acacia* berturut-turut adalah 55,48 % dan 24,13%. Kandungan selulosa yang ada pada kayu *acacia* ini dapat dijadikan sebagai bahan baku dalam menghasilkan kemudian lignin yang terdelignifikasi akan kami recovery

I.2. Sifat-Sifat Bahan Baku dan Produk

1. I.2.1 *Acacia crassicaarpa* sebagai sumber Selulosa

Acacia adalah jenis pohon cepat tumbuh yang sebagian besar digunakan sebagai sumber kayu di Asia Tenggara. Penggunaan utama spesies kayu ini adalah untuk produksi pulp dan kertas [3].

Acacia crassicarpa salah satu species tanaman yang dikembangkan untuk hutan tanaman industri(HTI) di Indonesia, yang berperan sangat penting dalam menunjang pengembangan industri kayu serat. Pembangunan HTI Pulp ini sangatlah penting karena besarnya ketergantungan jenis industri kertas dan pulp pada kayu serat. Pada saat ini lebih dari 90% bahan baku kertas dan pulp berasal dari kayu Acacia, karena kayu Acacia ini mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan kayu lain, yaitu: % rendemen tinggi(51,46%), kandungan lignin sedang (18-33%), kekuatan dari kertas dan pulp yang dihasilkan tinggi, pemakaian alkali yang agak tinggi(16%) dan mempunyai pulp yang mudah diputihkan. [4]



Gambar I. 1. Perbandingan kadar selulosa dan lignin antara *A. crassicarpa* & *A. mangium*

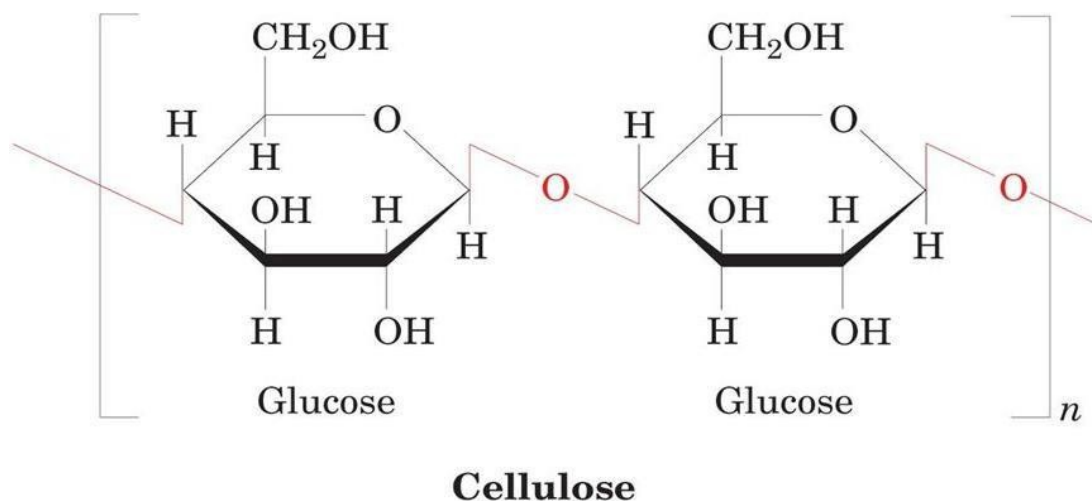
Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa kandungan selulosa pada kayu *A. crassicarpa* lebih besar daripada kayu *A. mangium* dan lignin kayu *A. crassicarpa* lebih kecil daripada *A. mangium*. Kandungan selulosa dan lignin pada *A. crassicarpa* adalah sebesar 55,48% dan 24,13%. Sedangkan kandungan selulosa pada kayu *A. mangium* adalah sebesar 51,46% dengan kandungan lignin sebesar 27,66%. [5]

Laurila [6] memeringkatkan *A. crassicarpa* bersama dengan *Acacia mangium* Willd. dan *Gmelina arborea* Roxb. sebagai tiga spesies yang paling cocok untuk pulp dan kertas dalam studi yang membandingkan delapan spesies dalam proyek reboisasi di Kalimantan Selatan, Indonesia untuk kerapatan kayu, kekuatan, sifat serat, kandungan

lignin, dan ekstraktif isi. Kepadatan dasar *A. crassicarpa* saat dibandingkan pada umur yang sama, lebih tinggi dari *A. mangium* dan mirip dengan *Acacia auriculiformis* [3]

Semakin tinggi kandungan selulosa kayu maka kandungan ligninnya akan semakin kecil. Perbedaan kandungan selulosa dan lignin pada kedua kayu ini dapat disebabkan karena perbedaan lahan tumbuhnya. *A. crassicarpa* diketahui tumbuh pada lahan basah sedangkan *A. mangium* tumbuh pada lahan kering. Kondisi lahan ini dapat mempengaruhi komposisi kimia kayu, karena dibandingkan dengan lahan kering, lahan basah banyak mengandung unsur hara yang diperlukan dalam proses pertumbuhan kayu.[4]

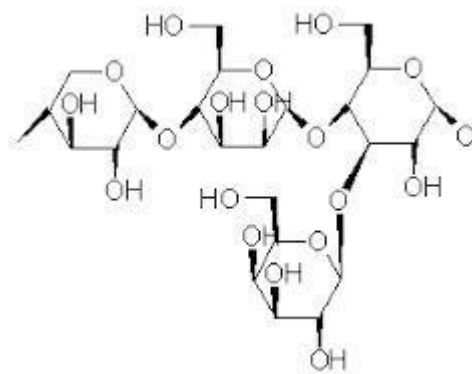
Selulosa sendiri merupakan bahan biopolimer yang ketersediaannya sangat melimpah di alam dikarenakan selulosa sendiri merupakan komponen utama di dalam dinding sel tumbuhan pada umumnya [7]. Struktur dari selulosa sendiri adalah berupa polisakarida linier yang terdiri dari kedua molekul glukosa yang dihubungkan oleh ikatan berupa β -1-4 atau bisa disebut sebagai selobiosa [8].



Gambar I. 2. Struktur dari selulosa [7]

Pada tumbuhan, jumlah unit selulosa yang terdapat di dalam bagian-bagian tumbuhan bervariasi dimana, jumlahnya dapat mencapai 20.000 atau pada batang pohon, jumlahnya sekitar 10.000. Selulosa yang ditemukan di alam biasanya memiliki bentuk berupa rangkaian molekul-molekul selulosa individu yang membentuk serat [8]. Umumnya, pada batang pohon, komponen selulosa yang terkandung di dalamnya sekitar 40-50% sehingga selulosa sering dijadikan sebagai bahan baku dari pembuatan kertas, kemasan makanan, karton dan produk-produk lainnya. Selulosa sendiri memiliki sifat hidrofobik, kiral, memiliki potensi yang luas untuk dimodifikasi, dan memiliki kemampuan untuk membentuk struktur berupa serat semikristalin.

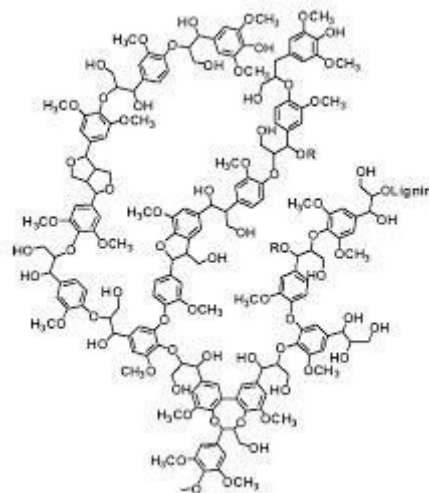
Hemiselulosa merupakan heteropolimer (contohnya seperti arabinoxylan) yang juga merupakan komponen yang terdapat di dalam dinding sel tumbuhan, sama seperti selulosa dan juga lignin. Struktur dari hemiselulosa sendiri abstrak dan bersifat amorphus, berbeda dengan selulosa yang bersifat kristal, kuat dan hydrofobik. Hemiselulosa memiliki rantai unit gula yang lebih pendek dibandingkan dengan selulosa dan bercabang [9]. Hemiselulosa terdiri dari xyloglucan, xylan, dan mannan dimana komponen D-glycan terhubung dengan ikatan β -1-4 dan juga terdapat cabang xilosa pada tiap 3 gugus monomer glukosanya [9].



Gambar I. 3. Struktur dari Hemiselulosa [10]

Hemiselulosa yang terkandung pada batang pohon yang sudah dikeringkan sekitar 25-35% [11]. Lignin merupakan polimer fenolik alam turunan fenilpropan yang tidak beracun.[12] Selain selulosa dan hemiselulosa, lignin merupakan sebuah senyawa polimer organik yang melimpah dan penting dalam dunia tumbuh-tumbuhan. Fungsi dari lignin sendiri adalah sebagai bahan pengikat antar serat. Lignin adalah salah satu sumber daya alam terpenting di dunia, karena lignin memiliki potensi luar biasa sebagai sumber energi,

sebagai material yang dapat mengurangi polusi, serta dapat memperbaiki sifat biodegradable pada suatu material.[13]



Gambar I. 4. Struktur dari lignin [12]

Lignin adalah salah satu komponen utama sel tanaman, karena itu lignin juga memiliki dampak langsung terhadap karakteristik tanaman. Misalnya saja, lignin sangat berpengaruh pada proses pembuatan pulp dan kertas. Kebutuhan bahan kimia untuk ‘memasak’ kayu dihitung berdasarkan kandungan ligninnya. Lignin berguna untuk mengisi ruang di dinding sel antara komponen selulosa, hemiselulosa, dan pektin, terutama di jaringan vaskular dan pendukung: trakeid xilem, elemen pembuluh dan sel sklereid. Lignin dapat diisolasi dari kayu bebas ekstraktif sebagai sisa yang tidak larut setelah penghilangan polisakarida. Secara alternatif, lignin dapat dihidrolisis dan dieksiaktif dari kayu atau diubah menjadi turunan yang larut. Lignin kayu yang digiling sejauh ini merupakan bahan yang paling baik, dan telah digunakan secara luas untuk studi struktur.

I.2.2. Nanoselulosa

Nanoselulosa merupakan partikel selulosa dengan skala nano (1-100 nm) yang dapat diekstraksi dari dinding sel tumbuhan. Sub-klasifikasi selulosa nanomaterial sering dilakukan berdasarkan karakteristik fisik dari bahan serat, yang sangat dipengaruhi oleh proses produksi yang digunakan. Empat kelas selulosa nanomaterial umumnya dikenal: (i) *cellulose nanocrystals* (CNC) (ii) *bacterial nanocellulose* (BNC), and (iii) *electrospun*

nanocellulose dan (iv) *cellulose nanofibers* yang dikenal juga sebagai *nanofibrillated cellulose* (NFC), *microfibrillated cellulose* (MFC).[14]

Untuk CNC dan CNF, kedua nanoselulosa tersebut dapat diperoleh dengan proses pengecilan ukuran molekul selulosa menjadi partikel-partikel yang memiliki ukuran berskala nano. Metode pengecilan ukuran ini dapat dilakukan dengan cara penggilingan, *Steam*

explosion, mikrofluidisasi dan *cryocrushing* serta dapat juga dilakukan dengan proses hidrolisis dengan bahan kimia tertentu. Sedangkan untuk BNC memerlukan proses fermentasi dari strain suatu bakteri untuk menghasilkan selulosa dan *Electrospun nanocellulose* mengandalkan proses electrospinning dimana dengan menggunakan medan elektrostatis untuk menghasilkan benang dari larutan polimer yang berskala mikro hingga nano [15]

Selulosa nanofiber atau *Cellulose Nanofiber* (CNF) merupakan golongan nanoselulosa yang memiliki ukuran diameter 10-100 nm [Alemdar, Wang, Taniguchi] dan panjang sekitar 500-2000 . Karakteristik lain dari selulosa nanofibril adalah ekspansi termal yang kecil (koefisien ekspansi termal sebesar 0,1 ppm/K), memiliki tingkat elastisitas yang tinggi (sekitar 130-150 GPa), *biodegradable*, dan juga material yang tahan terhadap suhu dan bahan kimia.

Perbedaan antara selulosa nanofiber dengan nanokristal selulosa sendiri adalah CNF diperoleh dengan cara menggunakan metode-metode mekanis yang melibatkan gaya geser yang besar untuk mengecilkan ukuran-ukuran partikel dari selulosa sedangkan CNC sendiri diperoleh dengan menggunakan bahan kimia (misalnya proses hidrolisis dengan menggunakan asam) untuk memperoleh struktur nanoselulosa dengan tingkat kristalinitas yang tinggi.

a. Sifat Fisika

1. Bentuk : Padat
2. Warna : Putih
3. Ukuran
 - a. Lebar : 10-20 nm
 - b. Panjang : 300-900 nm
4. Kristalinitas : 92%
5. Suhu Dekomposisi : 349 oC
6. Densitas : 1,49 g/cm³ [16]

I.2.3. Natrium Hidroksida

a. Sifat Fisika

1. Bentuk : Padat

2. Warna : Putih

3. Titik Lebur : 318,4 0C

4. Titik Didih : 1390 0C

5. Densitas : 2130 kg/m³

6. Berat Molekul : 40 g/mol

b. Sifat Kimia

1. Rumus Molekul : NaOH

2. pH : 14

3. Larut secara eksotermik dalam air, larut dalam ethanol, methanol dan gliserol.[16]

c. Cara Penyimpanan

Natrium hidroksida harus disimpan dalam wadah kedap udara untuk menjaga normalitasnya karena akan menyerap air dari atmosfer dan harus diaplikasikan atau digunakan dengan pakaian pelindung dan perlengkapan perlindungan lainnya untuk menghindari risiko kecelakaan. Dikarenakan NaOH dapat membuat tangki berkarat maka tangki yang sesuai untuk penyimpanan NaOH adalah tangki HDPE dan stainless steel, dimana NaOH tidak akan bereaksi dengan tangki dengan bahan tersebut

2. I.2.4. Asam Sulfat

a. Sifat Fisika

1. Bentuk : Cair
 2. Warna : Kuning kecoklatan
 3. Titik Lebur : 10,49 °C
 4. Titik Didih : 340 °C
 5. Densitas : 1834kg/m³
 6. Berat Molekul : 98,08 g/mol
- b. Sifat Kimia
1. Rumus Molekul : H₂SO₄
 2. pH : <1
 3. Kelarutan : Larut dalam air, ethanol. [16]
- c. Cara Penyimpanan

Tempat penyimpanan harus jauh dari bahan kimia lainnya yang mudah terbakar atau reaktif. Pastikan area tersebut memiliki ventilasi yang memadai untuk menghindari penumpukan uap berbahaya. Area penyimpanan juga sebaiknya berada di tempat yang terpisah dari area kerja atau lalu lintas pekerja. Penyimpanan H₂SO₄ juga menggunakan Tangki HDPE dikarenakan H₂SO₄ tidak akan bereaksi dengan tangki sehingga dapat disimpan dengan aman.

I.3. Kegunaan dan Keunggulan Produk

Nanoselulosa dapat digunakan di berbagai bidang kehidupan, seperti bahan produk biomedis, material nanokomposit, tekstil, dan sebagainya. Dapat pula digunakan sebagai pengganti bahan yang tidak dapat terurai secara hayati dan tidak dapat diperbarui (plastik, kaca, dan logam) dalam bidang pengemasan. Hal ini, karena sifat-sifat nanoselulosa, seperti memiliki kekuatan tinggi, kekakuan yang sangat baik, dan luas permukaan yang besar. [17]

Cellulose nanofibrils (CNFs) memiliki potensi untuk diaplikasikan pada kertas atau plastik untuk menghasilkan lapisan penghalang gas yang baik. Kemasan berbasis kertas

memiliki potensi untuk menggantikan banyak sistem berbasis plastik jika sifat penghalang yang dibutuhkan dapat diperoleh. Lapisan penghalang dengan media air memiliki potensi

untuk menghasilkan lapisan penahan yang baik, tetapi kinerjanya seringkali kurang dari yang diharapkan. Riset terbaru telah menunjukkan peningkatan kinerja pelapis ini bila diterapkan pada kertas yang memiliki lapisan nanofiber selulosa. Riset ini juga menunjukkan adanya potensial untuk menghasilkan kemasan berbasis kertas yang memiliki sifat penghalang oksigen dan uap air yang baik.[18]

Lignin sendiri dapat digunakan sebagai bahan bakar, produk polimer dan sumber bahan-bahan kimia berberat molekul rendah. Beberapa bahan kimia berberat molekul rendah yang dapat dihasilkan dari lignin adalah vanilin, aldehida, asam vanilat, fenol, asam karbonat, benzena dan sebagainya. Lignin juga merupakan bahan mentah yang sangat baik untuk pembuatan serat sintetik seperti nilon, juga bahan farmasi dan pewarna yang baik. Mengingat lignin memiliki banyak manfaat, maka lignin berpotensi besar jika diaplikasikan dalam berbagai industri. Lignin memiliki potensi untuk digunakan dalam berbagai industri seperti makromolekul aromatic dan kimia yang dapat digunakan pada industri kimia, bahan adhesive, dan juga bahan multifungsi. Lignin juga berpotensi untuk digunakan pada sektor biofuels dan material karbon sebagai komposit polimer, adsorben dan juga alat elektrokimia. Pada sektor polimer dan nano material, lignin berpotensi untuk digunakan pada aplikasi biomedis dan juga drug delivery. Lignin dapat berpotensi digunakan sebagai baterai, fuel cells, dan penyimpanan energi. Lignin juga dapat digunakan sebagai bahan bangunan seperti paving dan juga panel semen. Selain itu, secara khusus lignin dapat digunakan pada sektor agrikultur, tekstil, penyuburan tanah dan juga pemurnian air.

I.4. Ketersediaan Bahan Baku dan Analisis Pasar

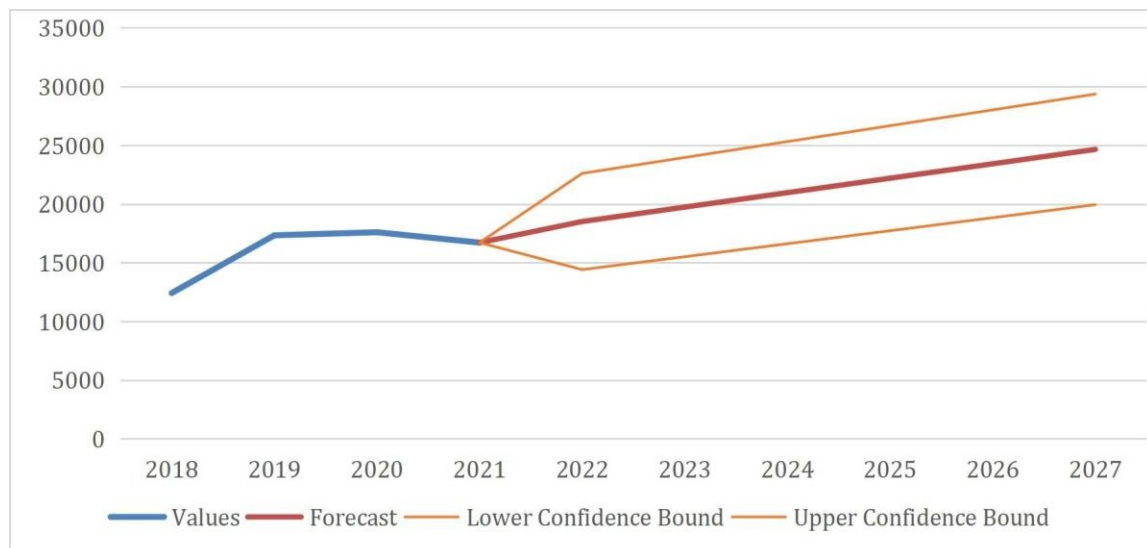
1.4.1. Ketersediaan Bahan Baku

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistika(BPS) pada tahun 2023 Indonesia memproduksi kayu bulat pohon Acacia sebanyak 19735,196 ton data massa yang tersebar sebagian besar di daerah Merauke, Irian Jaya dan tersebar juga di Kalimantan dan Jawa Tengah.

Tabel I. 1. Data bahan baku kayu Acacia Crasscarpa di Indonesia

Timeline	Kayu Acacia Crasscarpa (ton)
2018	12411,2367

2019	17330,0754
2020	17592,8896
2021	16707,4358
2022	18506,4346
2023	19735,1961



Gambar I. 5. Grafik forecast bahan baku kayu Acacia Crassicarpa di Indonesia

Ketersediaan bahan baku kayu Acacia Crassicarpa semakin hari menunjukkan peningkatan. Adapun perkiraan jumlah kayu Acacia Crassicarpa pada tahun 2027 berdasarkan forecast sebagai berikut :

Tabel I. 2. Data forecast bahan baku kayu Acacia Crassicarpa di Indonesia

Timeline	Kayu Acacia Crassicarpa (ton)
2024	20963,9576
2025	22192,7191
2026	23421,4805
2027	24650,2420

1.4.2. Analisa Pasar

Berdasarkan data BPS produksi nanoselulosa di Indonesia tidak ada pertumbuhan karena hingga saat ini di Indonesia belum ada perusahaan yang memproduksi nanoselulosa, sehingga seluruh kebutuhan nanoselulosa masih harus dipenuhi melalui import. Selama ini import terbesar didatangkan dari Amerika Serikat, Asia dan Eropa. Seiring dengan perkembangan

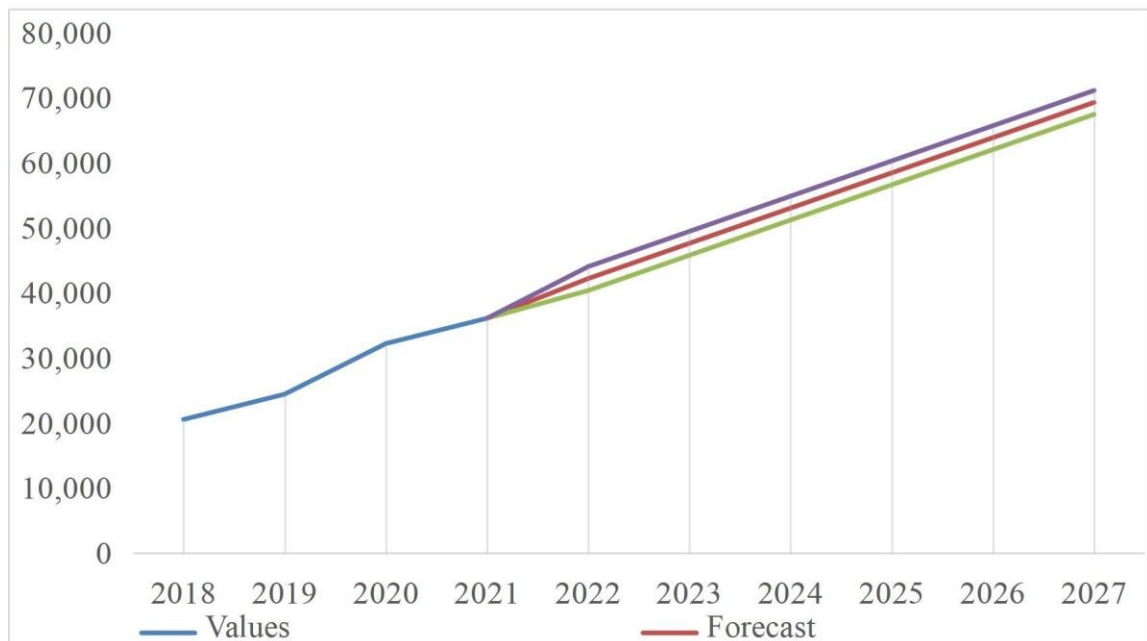
industri pemakainya, pendirian pabrik ini perlu dilakukan untuk mengurangi kebutuhan terhadap impor. Hal ini menyebabkan produksi dan ekspor dari Indonesia adalah 0 untuk nanoselulosa

1.4.2.1. Kebutuhan Nanoselulosa di Dunia

Dengan keberadaan bahan nanoselulosa yang melimpah, akan menyebabkan kebutuhan nanoselulosa yang semakin meningkat dari tahun ke tahun. Adapun data yang impor nanoselulosa di Indonesia menurut Badan Pusat Statistik (2007-2021). Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel I.3 menunjukkan bahwa adanya peningkatan kebutuhan di Indonesia hingga tahun 2027

Tabel I. 3. Data forecast kebutuhan nanoselulosa di Indonesia pada 2018-2027

Timeline	Kebutuhan Nanoselulosa (ton/tahun)
2018	20.538
2019	24.427
2020	32.203
2021	36.092
2022	42.196
2023	47.610
2024	53.025
2025	58.440
2026	63.854
2027	69.269



Gambar I. 6. Kebutuhan nanoselulosa di Indonesia

Berdasarkan data di atas, maka dilakukan estimasi kebutuhan Nanoselulosa di dunia pada tahun 2027 menggunakan metode forecast linear (Excel). Data tersebut diplotkan dalam grafik yang akan menghasilkan prediksi kebutuhan Nanoselulosa pada tahun 2027. Dalam tahun 2027, kebutuhan nanoselulosa di dunia diperkirakan mencapai

69.269 ton/tahun berdasarkan metode forecast linear dengan menggunakan data *upper confidence* yang telah disajikan pada Tabel I.10 dan Gambar I.4. Dengan demikian dengan perencanaan pembangunan pabrik nanoselulosa di Indonesia diharapkan mampu mengurangi ketergantungan Indonesia pada impor serta dapat menambah lapangan pekerjaan dengan harapan juga mampu mengurangi angka pengangguran yang ada di Indonesia. Dengan dibuka pabrik nanoselulosa diharapkan akan mampu untuk menambah devisa negara.

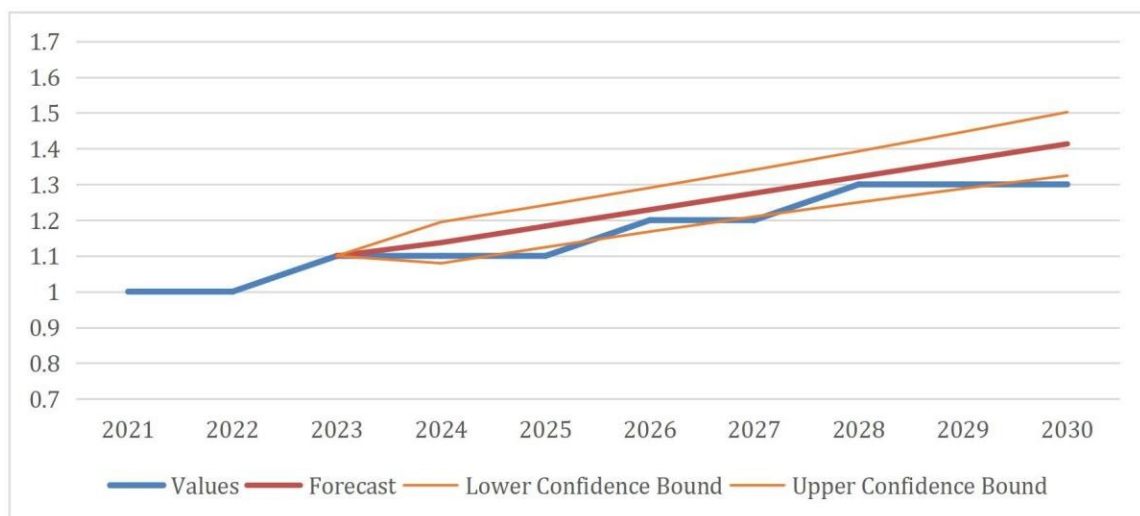
1.4.2.2. Kebutuhan Lignin di Indonesia

Lignin merupakan salah satu bahan yang sering digunakan pada lingkungan masyarakat. Hal ini mendorong adanya kebutuhan lignin yang akan terus meningkat beberapa faktornya adalah:

- Pakan Ternak
- Makromolekul
- Zat aditif pada konkrit
- Zat aditif organik

Tabel I. 4. Data forecast kebutuhan Lignin di Indonesia pada 2021-2030

Tahun	Million USD
2021	1
2022	1
2023	1.1
2024	1.1
2025	1.1
2026	1.2
2027	1.2
2028	1.3
2029	1.3
2030	1.3



Gambar I. 7. Kebutuhan Lignin di Indonesia

1.4.3. Perhitungan kapasitas produksi

Berdasarkan tabel kebutuhan nanoselulosa diatas diperkirakan pada tahun 2027 kebutuhan nanoselulosa diperkirakan sekitar 69,269 ton/tahun. Pemenuhan kebutuhan nanoselulosa telah dilakukan oleh beberapa pabrik seperti yang ditampilkan di Tabel I.4. Dari total 18 pabrik yang dapat ditemukan datanya, sekitar 3343 ton(4,8%) kebutuhan nanoselulosa

dapat terpenuhi per tahunnya. Hal ini menunjukkan bahwa peluang untuk penjualan produk nanoselulosa masih sangat tinggi

Tabel I. 5. Perusahaan di Dunia yang Memproduksi Nanoselulosa

Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (ton)
Cellucomp	UK	100
Oji Paper	Tokyo, Japan	40
Chuetsu Pulp and Paper	Tokyo, Japan	30
Sugino Machine	Toyama, Japan	26
Seiko PMC	Tokyo, Japan	24
Cellulose Lab	Toronto, Canada	18
Haojia Cellulose Co.,Ltd	Tianjin China	3
Dai-Ichi Kogyo(DKS)	Motomachi, Japan	1
U.S. Forest Products Lab	Wisconsin, U.S.	<1

Penentuan kapasitas produksi nanoselulosa ditinjau dari kapasitas produksi nanoselulosa secara global yang tertera pada tabel di atas. Tabel I.2 menyediakan kapasitas produksi global nanoselulosa pada rentang 1-650 ton/tahun. Kapasitas produksi nanoselulosa tidak dapat terlalu tinggi dikarenakan prosesnya yang membutuhkan control yang cukup detil dan alasan faktor keselamatan. Maka, untuk mengisi kekosongan pasar dan mengurangi impor nanoselulosa dari negara lain, diambil kapasitas rata-rata kapasitas produksi yang sudah ada di dunia sebesar 150 ton/tahun yang dapat memenuhi kekosongan pasar setiap harinya sekitar 150 ton.

Kapasitas pabrik = 150 ton/tahun

$$= 150 \text{ ton/tahun} \times \text{tahun}/330 \text{ hari}$$

$$= 0,4545 \text{ ton/hari}$$