

Fraksinasi Lignoselulosa dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) menjadi Lignin secara *Steam explosion* dengan Kapasitas 400 ton/tahun

Mita Mellenia Wisnu Murti¹, Dian Asrini Samparia¹, Sri Rachmania Juliastuti^{1,*}, dan Orchidea Rachmaniah¹

DOI: [10.12962/j2964710X.v3i2.19157](https://doi.org/10.12962/j2964710X.v3i2.19157)

Abstrak— Tiga komponen utama lignoselulosa adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin. Lignin adalah biopolimer paling umum kedua setelah selulosa. Berdasarkan aplikasinya, lignin dibagi menjadi tiga kelompok: makromolekul, senyawa aromatik, dan bahan karbon. Proses produksi lignin terdiri dari tiga proses yaitu *pre-treatment* pertama untuk membersihkan dan menggiling bahan baku serta memecah serat TKKS. Prosesnya menggunakan *pre-treatment* ledakan uap pada suhu 200 °C dan tekanan 16 bar selama 10 menit. Selanjutnya fraksi kedua bertujuan untuk mengekstraksi kandungan hemiselulosa dan selulosa dari TKKS. Proses fraksinasi konsisten dengan ekstraksi air menggunakan air pada suhu 70 °C untuk melarutkan hemiselulosa, konsentrasi massa serat 0,05 g/g, suhu 100 °C, pH = 13, waktu delignin. Terdiri dari ekstraksi alkali menggunakan 30 menit. Kemudian dilanjutkan ke prosedur pemisahan untuk memisahkan selulosa *cake* dan *black liquor*. Ketiga, proses pengendapan mengikuti, mengendapkan kandungan lignin dalam cairan hitam yang terbentuk setelah proses ekstraksi alkali. Di sini, lignin mengendap menggunakan H₂SO₄ pada suhu 80°C, pH = 1,5 – 2,0, dan waktu kontak 10 menit. Pabrik TKKS Lignin dibangun di Kawasan Industri Dumai Riau dengan kapasitas produksi 385,42 ton/tahun. Analisis perhitungan ekonomi menghasilkan IRR 22,45%, POT 5,56 tahun dan BEP 45,32%.

Kata Kunci— Ekstraksi, Fraksinasi, Lignin, Steam Explosion, TKKS

I. PENDAHULUAN

Lignoselulosa adalah salah satu sumber daya terbarukan yang paling melimpah di bumi. Tiga komponen utama lignoselulosa adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Di alam, lignin merupakan biopolimer kedua yang melimpah setelah selulosa dalam biomassa. Lignin memiliki struktur ikatan silang yang rumit dan biasanya dibentuk dengan ikatan ester dengan hemiselulosa. Lignin mengandung beberapa gugus fungsi aktif seperti hidroksil, metoksi, karbonil, karboksil, dan benzena, dimana koniferil alkohol (G), p-kumaril alkohol (H), dan sinapil alkohol (S) merupakan prekursor dalam molekul lignin. Saat ini, 50-70 juta metrik ton lignin diproduksi di seluruh dunia setiap tahun [1]. Sementara produk turunan lignin yang terdapat sekitar 2% dari produksi lignin dunia dan 98% sisanya dibakar untuk energi atau ditimbun [3].

Berdasarkan aplikasinya, lignin dibagi menjadi tiga kelompok: makromolekul, senyawa aromatik, dan bahan karbon. Kebanyakan polimer lignin digunakan sebagai aditif atau campuran polimer. Pertumbuhan pasar polimer diperkirakan akan mendorong pertumbuhan pasar produk lignin selama beberapa tahun ke depan. Bahan polimer berbasis lignin telah berhasil menggantikan bahan

tradisional seperti kaca, kayu dan logam dalam banyak aplikasi seperti mobil karena sifat fisiknya seperti kekuatan, transparansi dan bobot yang ringan. Lignin memiliki kandungan oksigen yang lebih rendah dan sifat aromatik yang lebih tinggi daripada polisakarida. Hal ini menjadikan lignin sebagai bahan kimia terbarukan, bahan terkait, dan bahkan biopolimer yang dapat diubah menjadi bahan bakar [4].

TABLE 1.
KOMPOSISI UMBI PORANG

Komponen	% Massa
Air	83,30
Abu	1,22
Protein	0,92
Lemak	0,02
Serat Kasar	2,50
Pati	7,65
Kalsium Oksalat	0,19
Glukomanan	3,58
Logam (Cu)	0,09
Impurities	0,53

Aplikasi makromolekul menyumbang 57,7% pangsa pasar dalam hal pendapatan pada tahun 2019 dan diperkirakan akan naik pada *Compound Annual Growth*

¹ Department of Chemical Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia. *E-mail: : juliaz30@chem-eng.its.ac.id, orchidea@chem-eng.its.ac.id

Rate (CAGR) 1,9% dari tahun 2020 hingga 2027 [9]. Pemanfaatan lignin sebagai produk agro-industri telah berkembang pesat terutama pada bidang bahan makanan dan kosmetik seperti dalam bahan untuk proses dispersi dan emulsi, material kimia, pertanian, dan penggunaan khusus lainnya. Dalam industri, lignin digunakan sebagai bahan baku perekat, bahan dasar pembuatan plastik Biodegradable, serta bahan surfaktan pada sistem *Enhanced Oil Recovery* (EOR) [8]. Pada tabel berikut dapat dilihat aplikasi pemanfaatan lignin dalam berbagai industri.

Aplikasi pemanfaatan lignin di industri dapat diklasifikasikan berdasarkan materialnya; (1) makromolekul aromatik, (2) Material karbon dan biofuels, (3) Polimer dan nano material. Dari bahan makromolekul aromatik lignin dapat dibuat melalui tipe pembuatan kraft dan organosolv yang biasa diaplikasikan dalam industri kimia, perekat, vanilin. Untuk material bahan dari karbon dan biofuels biasa menggunakan tipe sulfite dan soda yang digunakan pada aplikasi komposit polimer ringan, adsorbents, otomotif. Dan material polimer dan nano material dapat menggunakan tipe kraft lignin dan organosolv yang diaplikasikan pada alat biomedis, rekayasa jaringan, surfaktan [1].

Kraft merupakan metode isolasi lignin yang didapat dari pulping kayu kraft dengan cara pengendapan dengan asam. Organosolv salah satu metode untuk mendapatkan lignin dengan cara pemasakan menggunakan pelarut organik seperti etanol, metanol yang dicampur dengan air. Proses sulfite menggunakan larutan aqueous yang dipanaskan dari garam sulfite atau bisulfite. Sedangkan metode soda dilakukan untuk sumber biomassa berbasis non-kayu, dalam proses ini, serat ditambahkan ke larutan natrium hidroksida, dan dipanaskan hingga kira-kira 160°C [9].

Data impor lignin tahun 2017-2020 diperoleh berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik. Data tersebut menunjukkan kenaikan rata-rata impor lignin 1,12% per tahun. Kenaikan impor tertinggi terjadi pada tahun 2020-2021, sebesar 13,98% (101.028 kg). Kebutuhan lignin di Indonesia didasarkan pada jumlah impor yang ada, diasumsikan bahwa di Indonesia jumlah konsumsi sama dengan jumlah impornya karena tidak ada produksi dan diharapkan tahun 2026 Indonesia tidak melakukan impor lignin.

II. URAIAN PROSES

A. Teknologi Produksi dan Seleksi Proses

Kegiatan proses produksi adalah sebuah kegiatan penggabungan berbagai elemen produksi dalam satu kesatuan sehingga dapat menghasilkan produk yang diinginkan. Dimana penggabungan ditujukan untuk membuat sebuah produk yang menguntungkan dan membantu kebutuhan konsumen nantinya. Proses produksi lignin terpilih sebagai berikut:

1. Lignin sebagai bahan baku harus mengalami proses *pre-treatment* dengan menggunakan *steam explosion* terlebih dahulu;

2. Proses ekstraksi dengan air bersuhu 70 °C, pada proses ini bertujuan melarutkan hemiselulosa sehingga hemiselulosa dapat terpisah dengan lignin dan selulosa;
3. Proses ekstraksi dengan alkali, alkali yang digunakan adalah larutan NaOH. Proses ini berfungsi untuk melarutkan selulosa sehingga terpisah dengan lignin;
4. Proses pengendapan lignin dilakukan dengan menggunakan H₂SO₄, untuk selanjutnya dilakukan proses pemisahan;
5. Proses pengeringan, pengeringan dilakukan agar memperoleh serbuk lignin yang murni dengan menggunakan oven

Proses *pre-treatment* yang diseleksi adalah proses *steam explosion*, proses liquid hot water, dan proses *ammonia recycle percolation*. Berikut Perbandingan masing-masing proses untuk tahap *pre-treatment* terdapat pada Tabel 1 yang dapat dilihat sebagai berikut.

TABLE 2.
PERBANDINGAN PROSES PRE-TREATMENT

Dasar Seleksi	<i>Pre-treatment</i> SE*	<i>Pre-treatment</i> LHW**	<i>Pre-treatment</i> ARP***
Suhu	190 – 230 °C	160 – 240 °C	
Waktu tinggal	2 – 10 menit	30 – 45 menit	10 – 12 menit
Tekanan	16 bar	18,6 bar	22 – 28 bar
Merusak struktur hemiselulosa	86% tinggi	Tinggi 75 – 85%	Sedang 50 – 60%
Merusak struktur lignin	1,46% tidak sama sekali	Sedang 26,5%	Tinggi 75 – 85%
Pengubahan struktur lignin	Tinggi	Tinggi	Sedang

*data diambil dari referensi [7]

**data diambil dari referensi [6]

***data diambil dari referensi [2]

B. Uraian Proses

Proses produksi lignin terbagi menjadi tiga unit proses utama yang digolongkan berdasarkan fungsi utama dari keseluruhan proses. Unit pertama ialah *pre-treatment* yang berfungsi untuk membersihkan bahan baku dan mereduksi ukurannya. Kemudian unit kedua adalah fraksinasi, yang terbagi menjadi ekstraksi air dan ekstraksi alkali yang masing-masing bertujuan untuk memisahkan hemiselulosa dari TKKS yang telah melalui proses *pre-treatment* sebelumnya serta meluruhkan lignin dari selulosa. Serta unit proses yang ke tiga adalah proses presipitasi menggunakan asam kuat untuk mengendapkan lignin dari larutan black liquor.

Kemudian terdapat dua proses pendukung, yaitu proses pemisahan dan proses pengeringan. Proses pemisahan bertujuan untuk memisahkan bahan cair/filtrat dari bahan padat dan proses pengeringan bertujuan untuk menurunkan konsentrasi air dari bahan yang ingin diolah atau diambil. Berikut pemaparan proses utama dan proses pendukung.

1. Pre-treatment

Sebelum diolah, TKKS mengalami proses *pre-treatment* terlebih dahulu dengan pencucian, kemudian dihancurkan menjadi potongan yang lebih halus dan dikeringkan agar tidak ada aktifitas biologis saat disimpan di tangki penyimpanan kemudian masuk ke reaktor *steam explosion*. TKKS yang berasal dari gudang penyimpanan (F-110) dipindahkan menggunakan belt conveyor (J-111) untuk masuk ke proses pencucian dengan air proses. Proses pencucian dilakukan dengan menggunakan *Rotary Washer* (A-120) untuk menghilangkan pengotor yang menempel pada TKKS secara maksimal. Selanjutnya, TKKS diangkat menggunakan bucket elevator (J-125) menuju proses penghancuran untuk direduksi ukurannya menjadi 8 – 12 mm melalui *shredder* (C-130). Setelah ukurannya tereduksi, TKKS masuk ke tangki penyimpanan sementara (F-134). Dilanjutkan ke proses berikutnya, TKKS dari tangki penyimpanan ditimbang dengan *weight belt feeder* (J-135) dan ditransportasikan dengan bucket elevator (J-136) menuju *steam explosion* reactor (R-140). Pada tahap ini, *steam explosion* dilakukan dengan mengkontakkan TKKS dan steam utility bersuhu 200 °C selama jangka waktu tertentu (10 menit) dengan tekanan tangki biasanya adalah 16 bar. Kemudian TKKS treated berbentuk fiber yang keluar dari *steam explosion* reactor akan terdekomposisi dan menuju ke tangki flash (F-141) selanjutnya ditransportasikan menggunakan *screw conveyor* (J-143) menuju proses selanjutnya.

2. Fraksinasi

Pada tahap fraksinasi, TKKS yang sudah hancur akibat *pre-treatment steam explosion* akan melalui dua tahap fraksinasi. TKKS disalurkan melalui screw conveyor (J-143) menuju *centrifuge* (H-210) untuk dilakukan ekstraksi tahap pertama menggunakan air hangat bersuhu 70 °C yang berasal dari Water Process. Sesudah proses separasi di dalam *centrifuge* (H-210), maka keluaran dapat terpisah menjadi 2 aliran, yaitu aliran liquid yang mengandung sebagian besar hemiselulosa dan air, serta aliran yang mengandung sebagian besar selulosa dan lignin. Aliran yang mengandung sebagian besar hemiselulosa dan air kemudian disimpan di dalam Tangki Penampungan Hemiselulosa (F-213). Sedangkan aliran yang mengandung sebagian besar selulosa dan lignin di kirim menuju reaktor ekstraksi (R-220) menggunakan *screw conveyor* (J-212). Ekstraksi tahap kedua terjadi di dalam reaktor ekstraksi (R-220) menggunakan bahan berupa alkali NaOH. Kondisi delignifikasi (ekstraksi) alkali (NaOH) yang optimum adalah konsistensi NaOH 0,05 g/g massa dari konsentrasi serat, suhu 100 °C, pH = 13 dan waktu delignifikasi selama 30 menit. Sesudah mengalami proses delignifikasi, slurry dialirkan menuju *centrifuge* (H-223) untuk dilakukan pemisahan. Di dalam *centrifuge* (H-223), slurry akan terpisah menjadi dua aliran yang berbeda, yaitu aliran liquid yang kaya akan lignin (*black liquor*) dan aliran kedua yang terdiri dari sejumlah besar selulosa dan sedikit sisa lignin. Aliran liquid ini akan dilanjutkan ke proses selanjutnya. Sedangkan aliran kedua disalurkan menuju *tray dryer* (B-225) untuk dikeringkan,

dihancurkan menggunakan *fine crusher* (C-226) dan kemudian disimpan dalam tangki penampungan selulosa (F-229).

3. Presipitasi

Setelah melalui tahap fraksinasi, larutan *black liquor* yang tersisa selanjutnya melalui proses presipitasi. Proses presipitasi disini menggunakan asam sulfat yang merupakan suatu proses kimia untuk mengendapkan kandungan lignin yang ada pada *black liquor*. Proses presipitasi asam dengan asam sulfat ini berlangsung pada *precipitation tank* (F-230). Kondisi presipitasi asam (H₂SO₄) lignin ditemukan optimum pada 80 °C, pH= 1,5-2,0 dan waktu kontak 10 menit. Larutan dengan endapan lignin ini kemudian melalui proses filtrasi menggunakan *belt filter press* (H-231) sehingga dapat memisahkan kandungan air sebanyak dari lignin hingga 30% air yang terpisahkan. Lignin berbentuk cake kemudian dikeringkan menggunakan *tray dryer* (B-232), dihancurkan menggunakan *fine crusher* (C-233) dan kemudian disimpan dalam tangki penyimpanan lignin (F-236).

4. Pemisahan

Dalam proses produksi lignin ini digunakan *centrifuge* memisahkan antara zat padat dan cair. *Centrifuge* digunakan pada beberapa proses antara lain adalah pada proses ekstraksi dengan air dan proses pemisahan hasil ekstraksi dengan NaOH. Pada saat proses ekstraksi dengan air, *centrifuge* (H-210) berfungsi sebagai pemisah dari hasil ekstraksi tersebut antara padatan serat yang mengandung lignin dan cairan yang mengandung hemiselulosa. Cairan yang mengandung hemiselulosa akan di pompa menuju tangki penyimpanan hemiselulosa (F-213), kemudian aliran yang mengandung sebagian besar selulosa dan lignin akan dipindahkan menggunakan *screw conveyor* (J-212) menuju ke reaktor ekstraksi (R-220) untuk dilakukan proses ekstraksi menggunakan NaOH. Hasil ekstraksi NaOH akan dipompa masuk ke dalam *centrifuge* (H-223) untuk dilakukan proses pemisahan antara cake mengandung selulosa dan larutan mengandung lignin. Kondisi operasi yang digunakan untuk seluruh proses pemisahan antara padatan dan cairan dengan menggunakan *centrifuge* ini adalah pada suhu 30 °C dan tekanan 1,013 bar. Kondisi operasi normal digunakan karena pada proses pemisahan ini tidak terjadi suatu reaksi, dan sistem kerja untuk pada *centrifuge* adalah melibatkan gaya sentrifugal untuk sedimentasi campuran yang heterogen, dimana bahan akan dimasukkan kedalam suatu tabung dan akan diputar dengan kencang. Komponen campuran yang lebih padat bermigrasi menjauh dari sumbu *centrifuge* sehingga menyebabkan endapan (pelet) yang berkumpul didasar tabung, sementara komponen campuran yang kurang padat bermigrasi ke arah sumbu (cairan).

Proses pemisahan lainnya menggunakan *belt filter press* (H-231) bertujuan untuk melakukan pemisahan padat-cair dengan ekstrusi mekanis. *Belt filter press* menghasilkan cake keluaran padatan yang biasanya mengandung 20 – 30% massa solid. Suhu proses selama

pemisahan berlangsung pada suhu ruang 30 °C dan tekanan proses berlangsung mengikuti tekanan yang diberikan oleh *roller* pengepresan.

5. Pengerinan

Proses pengerinan digunakan untuk menghilangkan/mengurangi kadar air dalam suatu bahan yaitu pada produk selulosa dan lignin. Selulosa yang dipisahkan dari *black liquor* menggunakan *centrifuge* kemudian dikeringkan menggunakan *tray dryer*. Selulosa yang sudah kering tersebut selanjutnya dihancurkan menggunakan *fine crusher* agar dapat membentuk bubuk selulosa. Hasil selulosa bubuk ini akan disalurkan ke dalam tangki penyimpanan selulosa (F-229).

Proses pengerinan juga dibutuhkan untuk menghasilkan lignin berupa bubuk. Setelah proses pengepresan dengan *belt filter press* (H-231), padatan lignin yang masih mengandung air dimasukan kedalam *tray dryer* (B-232) untuk dikeringkan. Sama dengan selulosa, padatan lignin yang sudah kering kemudian dihancurkan menggunakan *fine crusher* membentuk bubuk lignin. Hasil lignin bubuk akan disalurkan kedalam tangki penyimpanan lignin (F-236).

III. NERACA MASSA

A. Neraca Massa

Dari perhitungan neraca massa pabrik lignin, dengan basis operasi 1 jam (waktu operasi 330 hari/tahun dan 24 jam/hari), didapatkan kapasitas bahan baku TKKS yang dibutuhkan adalah sebesar 404,04 kg/jam. Untuk produk lignin yang dihasilkan adalah sebesar 46,30 kg/jam atau 400 ton/tahun. Dasar perhitungan neraca massa yang digunakan adalah persamaan berikut.

Accumulation = Input – Output + Generation – Consumption

Dengan asumsi dasar yang digunakan adalah proses berlangsung dalam keadaan *steady state*, sehingga Accumulation = 0

B. Neraca Energi

Dari perhitungan neraca energi pabrik lignin diperoleh neraca energi *Steam explosion* Reactor sebesar 176.597,935 kJ/jam, neraca energi Tangki Flash sebesar 26.717,773 kJ/jam, dan neraca energi *Tray dryer* sebesar 58.384,198 kJ/jam.

Accumulation = Input – Output + Generation – Consumption

$$\Delta H_{in} + \frac{1}{2} v_{in}^2 + g \cdot z_{in} + Q = \Delta H_{out} + \frac{1}{2} v_{out}^2 + g \cdot z_{out} + W_s$$

Dengan asumsi dasar yang digunakan adalah

- Proses dalam keadaan *steady state*, sehingga Accumulation = 0
- Perubahan energi kinetik dan energi potensial diabaikan

IV. ANALISA EKONOMI

Analisa ekonomi dilakukan dengan modal investasi yang digunakan yaitu 70% modal sendiri dan 30% modal pinjaman bank dengan bunga 8%. Perkiraan umur pabrik 25 tahun, dari hasil perhitungan diperoleh pengeluaran modal sebesar Rp17.392.669.493 dan biaya operasi

sebesar Rp14.212.605.806, serta diperoleh IRR pabrik lignin sebesar 22,45%, POT selama 5,56 tahun, dan BEP sebesar 45,32%.

V. KESIMPULAN

Untuk mengetahui kelayakan pabrik, diperlukan evaluasi rancangan secara menyeluruh (segi teknis, ekonomis, dan lingkungan) diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Menggunakan bahan baku berupa TKKS dan menurunkan angka impor lignin di Indonesia.
2. *Internal Rate of Return* sebesar 22,45%, lebih besar dari bunga pinjaman yaitu 8% per tahun. *Pay Out Time* sebesar 5,56 tahun, lebih kecil dari perkiraan umur pabrik yaitu 25 tahun. *Break Even Point* sebesar 45,32%.

Berdasarkan hasil tersebut pabrik lignin sudah memenuhi syarat untuk dilanjutkan ke tingkat perencanaan

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bajwa, D.S., Pourhashem, G., Ullah, A.H., Bajwa, S.G. 2019. A concise review of current lignin production, applications, products and their environment impact. *Industrial Crops&Product*, 139.
- [2] Brodeur, Gary, Elizabeth Yau, Kimberly Badal, John Collier, K. B. Ramachandran, Subramanian Ramakrishnan. 2011. Chemical and Physicochemical Pretreatment of Lignocellulosic Biomass: A Review. *Enzyme Research*, 11, 1-17. doi:10.4061/2011/787532.
- [3] Cline, S. P., & Smith, P. M. (2017). Opportunities for lignin valorization: an exploratory process. *Energy, Sustainability and Society*, 7(1), [26]. <https://doi.org/10.1186/s13705-017-0129-9>
- [4] Ganewatta, dkk. 2019. Lignin Biopolymers in the Age of Controlled Polymerization. *Polymers*, 11(7), 1176; <https://doi.org/10.3390/polym11071176>
- [5] Lignin Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Ligno-Sulphonates, Kraft, Organosolv), By Application (Macromolecule, Aromatic), By Region, And Segment Forecasts, 2020 – 2027. Diakses Pada 22 September 2021, dari <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/lignin-market>
- [6] M. A. Martín-Lara, L. Chica-Redecillas, A. Pérez, G. Blázquez, G. Garcia-Garcia, M. Calero. 2020. Liquid Hot Water Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis as a Valorization Route of Italian Green Pepper Waste to Delivery Free Sugars. *MDPI Food Journal*, 9(1640). <https://doi.org/10.3390/foods9111640>
- [7] Medina, Jesus David Coral, Adenise Woiciechowski, Arion Zandona Filho, Poonam Singh Nigam, Luiz Pereira Ramos, Carlos Ricardo Soccol. 2015. Steam explosion pretreatment of oil palm empty fruit bunches (EFB) using autocatalytic hydrolysis: A biorefinery approach. *Bioresource Technology*, 1-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.126>.

- [8] siti suhartati; rachmat puspito; fikri rizali; dian angraini. 2016. "Analisis Sifat Fisika Dan Kimia Lignin Tandan Kosong Kelapa Sawit." (1): 6–8.
- [9] Tolesa, Leta Deressa dan Lee, Ming-Jer. 2020. Strategies for Lignin Pretreatment, Decomposition and Modification: A Review. Jurnal Bahan Alam Terbarukan, 1, 1-20.