

# Pra Desain Pabrik *Pulp* dari Limbah TKKS dengan Metode Organosolv

Adidoyo Prakoso, Lianti Nur Izza dan Sri Rachmania Juliastuti  
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail*: juliaz30@chem-eng.its.ac.id

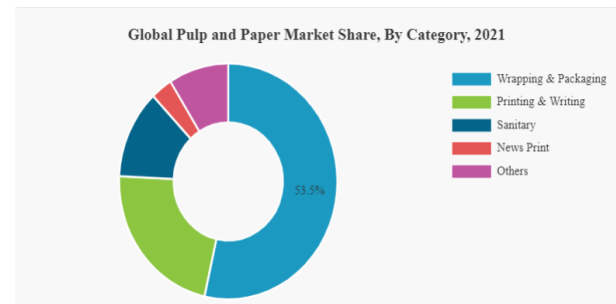
**Abstrak**—Industri pulp dan kertas nasional memiliki prospek yang cukup cerah di masa depan, dan berpotensi untuk terus berkembang. Hal ini antara lain didukung oleh prospek permintaan meningkat pada kertas kemasan (*packaging*). Proses produksi kertas merupakan suatu rangkaian proses yang merubah *fibrous feedstocks* menjadi *pulp*. Pada produksi pulp menggunakan metode *organosolv* terdapat lima tahapan proses yaitu *pre-treatment*, *pulping process*, *washing and separation*, dan *ethanol recovery*. Proses pertama yaitu *pre-treatment* dilakukan untuk mereduksi ukuran bahan baku utama yaitu tandan kosong kelapa sawit. Selanjutnya dilakukan proses *pulping* menggunakan ethanol dalam digester bertekanan 15 atm. Kemudian dilakukan tahap pencucian dan pemisahan *slurry pulp* dengan filtrat berupa larutan lignin. Lalu *pulp* akan dikeringkan menggunakan *tray dryer* sebelum dimasukkan pada tangki penampung produk berupa *pulp*. Pabrik pulp dari TKKS ini didirikan di Kawasan Industri Dumai, Riau. Kawasan tersebut dipilih dikarenakan ketersediaan bahan baku yang amat melimpah di daerah tersebut (luas lahan kelapa sawit terluas di Riau dan terdapat banyak pabrik CPO), ketersediaan air melimpah, sumber energi listrik cukup memadai, jumlah tenaga kerja pada usia kerja memenuhi, dan dilandaskan hukum serta topologi daerah yang memadai jika dibangun pabrik di daerah tersebut. Adapun, dari hasil analisa perhitungan ekonomi didapatkan IRR 18,48%, POT 7 tahun, dan BEP 57,76%. Jika dilihat secara keseluruhan, rata-rata %IRR, BEP dan POT masih menunjukkan bahwa pabrik *pulp* dari tandan kosong kelapa sawit menggunakan metode *organosolv* ini layak untuk didirikan.

**Kata Kunci**—Pabrik, *Pulp*, *Organosolv*, Riau, TKKS.

## I. PENDAHULUAN

INDUSTRI *pulp* dan kertas merupakan salah satu industri yang sangat penting di dunia. Hampir tidak ada aktivitas kehidupan manusia yang tidak memerlukan hasil dari industri ini, seperti aktivitas pendidikan, rumah tangga, perkantoran, perbelanjaan, dan lain sebagainya. Salah satu prospek industri yang membutuhkan komoditi dari industri *pulp* adalah industri pengemasan yang sedang berkembang di seluruh dunia, dikarenakan kebiasaan belanja daring melalui *e-commerce* yang sedang meningkat. Masyarakat cenderung memilih pengemasan yang ramah lingkungan sebagai bentuk kepedulian terhadap lingkungan yang terus meningkat. Hal ini akan berdampak pada bisnis kertas dan karton dimana permintaannya akan semakin bertambah (Gambar 1).

Pasar *pulp* dan kertas global diproyeksikan tumbuh dari \$354,39 miliar pada tahun 2022 menjadi \$372,70 miliar pada tahun 2029, dengan CAGR 0,72% pada periode perkiraan 2022-2029. Penetrasi cepat dari sektor *e-commerce* di seluruh dunia telah menciptakan permintaan yang besar pada kemasan berbasis kertas. Selain itu, dengan meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap lingkungan, maka baik dari konsumen maupun produsen perusahaan memilih untuk menggunakan kemasan berbasis kertas ini. Segmen sanitasi seperti tissue diproyeksikan akan meningkat didukung oleh



Gambar 1. Market share *pulp*.



Gambar 2. Pertumbuhan industri kertas di beberapa kawasan.



Gambar 3. Jumlah pengguna dan nilai transaksi e-commerce di Indonesia.

meningkatnya angka pembelian pada produk ini dan kesadaran akan kebersihan pribadi. Sedangkan untuk segmen percetakan, kertas tulis, dan kertas koran diproyeksikan menurun dikarenakan faktor digitalisasi terutama cara pemasaran secara digital yang dilakukan oleh masyarakat (Gambar 2).

Industri *pulp* dan kertas nasional memiliki prospek yang cukup cerah di masa depan, dan berpotensi untuk terus berkembang. Hal ini antara lain didukung oleh prospek permintaan meningkat pada kertas kemasan (*packaging*), kertas karton serta tissue, disebabkan meningkatnya tren belanja daring melalui *e-commerce* dan perkembangan tren gaya hidup sehat [1].

Bank Indonesia, transaksi *e-commerce* pada tahun 2020 meningkat 23,1% bila dibanding tahun 2019 menjadi Rp. 235 triliun dan diprediksi naik lebih tinggi pada tahun 2021 sebesar 33,2% dengan nilai transaksi sebesar Rp. 337 triliun. Jumlah pengguna *e-commerce* di Indonesia juga tumbuh pesat, pada 2021 diproyeksikan mencapai 158,6 juta pengguna dari sekitar 70,1 juta pengguna pada tahun 2017 atau terjadi peningkatan 126%. Berkembangnya *e-commerce* tak lepas dari keterbatasan mobilitas masyarakat imbas kebijakan pemerintah dalam menekan laju penyebaran virus

Tabel 1  
Data Ekspor Impor Provinsi Riau

Tahun	2017	2018	2019	2020	2021
Ekspor	4.466.813	4.256.673	5.292.213	5.819.521	6.315.448
Impor	1.514.867	1.514.867	1.514.867	1.514.867	1.514.867

Tabel 2  
Produksi Kelapa Sawit Provinsi Riau

Tahun	2017	2018	2019	2020	2021
Produksi	8.113.853	8.496.029	9.513.208	9.984.208	10.270.149

Tabel 3.  
Komponen TKKS

Komponen	Presentase (%)
Hemiselulosa	14,62
Selulosa	37,26
Lignin	31,68
Ash	6,69
Zat Ekstraktif	1,34
Air	8,41

Tabel 4.  
Sifat Mekanik dan Fisika TKKS

Properti	NILAI
Daya tarik (MPa)	60 – 81
Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	0,7 – 1,55
Diameter (µm)	250 – 610
Viskositas (cp) pada 25°C	67,58
Berat Molekul (gr/mol)	15,74
Kapasitas Panas, Cp (J/kgK)	1482,69

COVID-19, sehingga cenderung memilih melakukan transaksi secara daring (Gambar 3).

Industri *pulp* dan kertas merupakan salah satu sektor unggulan yang terus dipacu pengembangannya karena memiliki ketersediaan bahan baku dan pasar domestik yang cukup besar serta didukung dengan penerapan teknologi canggih. Industri *pulp* dan kertas di dalam negeri akan memiliki potensi pertumbuhan yang cukup signifikan. Pengembangan ekspor dan impor *pulp* di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.

Dalam perancangan pabrik *pulp*, perlu dilakukan penentuan proses produksi yang nantinya akan digunakan. Oleh karena itu, seleksi proses perlu dilakukan agar mendapatkan proses yang mampu menghasilkan produk secara maksimal baik dari segi ekonomi maupun dari segi teknis. Pada umumnya, *pulp* dapat diproduksi dengan berbagai jenis proses dan berbagai jenis bahan baku. Proses produksi *pulp* terdiri dari 5 tahapan proses, yaitu:

- Proses *pretreatment*
- Proses *pulping*
- Proses *pulp washing and separation*
- Proses pengeringan *pulp*
- Proses *chemical recovery*

#### A. Proses Pretreatment

Valery menyatakan bahwa idealnya, suatu proses *pretreatment* sebaiknya memiliki *capital cost* dan *operational cost* yang rendah. Selain *cost*, proses *pretreatment* juga dinilai harus efektif dalam mengolah berbagai macam jenis *lignocellulosic materials* dan mampu *recovery* mayoritas dari *lignocellulosic materials* [2].

Untuk mengurangi ukuran dari *raw material*, tahapan *pretreatment* secara mekanik dapat diaplikasikan pada proses. Adapun tujuan dari pengurangan ukuran *raw material* adalah untuk meningkatkan aksesibilitas dari *chemical* kedalam *lignocellulosic materials*. Selain itu, dapat diketahui pula bahwa *pretreatment* secara mekanik memiliki keunggulan seperti ramah lingkungan. Hal ini dapat terjadi karena *pretreatment* secara mekanik tidak menggunakan *chemical* apapun sehingga proses ini tidak menghasilkan residu yang berbahaya [3].

#### B. Proses Pulping

Proses produksi kertas merupakan suatu rangkaian proses yang merubah *fibrous feedstocks* menjadi *pulp*. Proses ini terdiri dari tiga proses utama, yaitu proses *pulping*, proses *bleaching* atau proses pemutihan, dan proses pembuatan kertas. Proses *pulping* sendiri mampu dilakukan secara mekanik, biologis, dan secara kimiawi [4]. Adapun tujuan utama dari proses *pulping* adalah untuk menghilangkan kandungan *lignin* sebanyak mungkin dan tetap menjaga struktur *cellulose* pada kayu [5]. Pemilihan metode dari proses *pulping* dipengaruhi oleh jenis *raw material* yang digunakan. Selain itu, setiap metode dari proses *pulping* akan menghasilkan *pulp* yang memiliki kekuatan atau *properties* yang berbeda – beda.

Metode *pulping* secara kimiawi menghasilkan *pulp* hingga 69 persen dari total jumlah *pulp* yang dihasilkan secara global [6]. Metode *pulping* secara kimiawi yang paling umum digunakan adalah *kraft pulping*, *sulfite pulping*, dan *organic solvent (organosolv) pulping*. Adapun tujuan utama dari proses *pulping* secara kimiawi adalah untuk memproses serat kayu atau biomassa dengan bantuan *chemical* pada kondisi

Tabel 5.  
Standar Baku Mutu *Pulp* (TAPPI)

Kualitas <i>pulp</i>	Nilai
Kadar air	≤ 4,7 %
<i>Dirt in Pulp</i> (%)	≤ 8 %

Tabel 6.  
Data Konsumsi, Produksi, Impor, Ekspor *Pulp* di Indonesia

Tahun	Konsumsi (ton)	Produksi (ton)	Impor (ton)	Ekspor (ton)
2017	7.640.951	10.855.900	1.514.867	4.466.813
2018	8.854.122	11.520.800	1.505.964	4.256.673
2019	9.939.441	11.836.800	1.444.087	5.292.213
2020	9.530.460	11.836.800	1.324.710	5.819.521
2021	10.539.441	12.136.800	1.366.936	6.315.448

Tabel 7.  
Presentase Pertumbuhan Konsumsi, Produksi, Impor, Ekspor *Pulp* di Indonesia

Tahun	Konsumsi (%)	Produksi (%)	Impor (%)	Ekspor (%)
Rata-rata	9%	8%	-13%	13%

Tabel 8.  
Estimasi Kapasitas *Pulp* Tahun 2025

Tahun	Konsumsi (Ton)	Produksi (Ton)	Impor (Ton)	Ekspor (Ton)
2027	15.889.531	18.052.149	675.637	11.563.618

Tabel 9.  
Produksi Kelapa Sawit Provinsi Riau (Direktorat Jendral Perkebunan)

2017	2018	2019	2020	2021
8.113.853	8.496.029	9.513.208	9.984.208	10.270.149

Tabel 10.  
Neraca Massa Aliran Masuk

Keterangan	Laju alir massa
Feed TKKS	1919,8 kg/jam
<i>Make-up Ethanol</i> 96%	801,43 kg/jam
<i>Hot Air</i>	1.917,00 kg/jam
<i>Cold Air</i>	3.756,42 kg/jam
<i>Process Water</i>	3.038,00 kg/jam
<i>Cooling Water</i>	394.214,96 kg/jam
<i>Saturated Steam</i>	94.126,06 kg/jam
Total Masuk	499.773,67 kg/jam

suhu dan tekanan tertentu sehingga kandungan lignin yang terdapat pada kayu dapat hilang dan hanya menyisakan *fiber* yang masih utuh pada kayu atau biomassa.

### C. Proses *Pulp Washing*

Tahap selanjutnya setelah proses *pulping* adalah proses *washing* atau proses pencucian. Tujuan dari proses pencucian ini adalah untuk menghilangkan *soluble impurities* sebanyak mungkin dengan menggunakan air dan dilanjutkan dengan proses pemisahan *pulp* dari *slurry*.

Proses pencucian *pulp* memiliki keuntungan seperti mampu memaksimalkan *recovery* dari *organic impurities*, mengurangi *chemical loss* dari proses *pulping*, dan mengurangi dampak buruk yang ditimbulkan terhadap lingkungan sekitar. Secara umum, terdapat dua metode yang bisa digunakan dalam proses pencucian *pulp*, yaitu:

#### 1) *Dilution Washing*

Pada metode ini, *pulp slurry* akan diencerkan dan dicampur dengan menggunakan *wash liquor* atau air. Selanjutnya, *slurry* tersebut akan dipisahkan dengan bantuan

Tabel 11.  
Neraca Massa Aliran Keluar

Keterangan	Laju alir massa
Produk <i>Pulp</i>	1413,59 kg/jam
Produk <i>Organosolv Lignin</i>	508,55 kg/jam
Total Produk	1.922,14 kg/jam
<i>Steam Condensate to Cooling Tower</i>	93.074,78 kg/jam
<i>Cold Air</i>	394.214,96 kg/jam
<i>Hot Air</i>	3.756,24 kg/jam
Total Keluar	1.917,00 kg/jam
Total Keluar	492.962,98 kg/jam
Total Keluar	494.885,12 kg/jam

Tabel 12.  
Spesifikasi Produk Pabrik

Parameter	Satuan	Nilai Spesifikasi	Hasil Produk
Produk <i>Pulp</i>			
Kadar Air	%m/m	4,70	0,36

Tabel 13.  
Daftar Kebutuhan Panas Peralatan

Nama alat	Kode alat	Kebutuhan Panas (kJ/jam)	Kebutuhan Panas (kW)
<i>Digester</i>	R-210	48.950.110	13.597,25
<i>Tray Dryer</i>	B-410	183.648,6	51,01
<i>Cooling Tunnel</i>	B-424	18.911,65	5,25
<i>Vaporizer I</i>	V-510	213.831.181,2	59.397,55

Tabel 14.  
Daftar Kebutuhan Power Peralatan

Nama alat	Kode alat	Kebutuhan Power (hp)	Kebutuhan Power (kW)
<i>Screw Conveyor I</i>	J-112	2,25	1,678
<i>Weight Hopper</i>	X-113	2,682	2
<i>Hammer Mill</i>	C-110	300	223,714
<i>Screen Filter</i>	H-114	3	2,237
<i>Bucket Elevator</i>	J-125	38,604	28,787
<i>Centrifugal Pump I</i>	L-212	1	0,746
Tangki Pengenceran <i>Ethanol</i>	F-223	0,019	0,014
<i>Centrifugal Pump II</i>	L-224	1	0,746
<i>Digester</i>	R-210	19,467	14,522
<i>Centrifugal Pump III</i>	L-235	1	0,746
<i>Centrifugal Pump IV</i>	L-312	1	0,746
<i>Vacuum Pump I</i>	L-323	1,09	0,813
<i>Tray Dryer</i>	B-410	1	0,746
<i>Belt Conveyor I</i>	J-411	0,705	0,526
<i>Centrifugal Fan I</i>	G-412	0,186	0,139
<i>Centrifugal Fan II</i>	G-423	0,364	0,271
<i>Cooling Tunnel</i>	B-424	260,05	193,997
<i>Centrifugal Pump V</i>	L-524	1	0,746

filter. Untuk mencapai hasil yang maksimal, proses ini harus dilakukan beberapa kali.

Selain itu, konsistensi dari *slurry* sangat memengaruhi banyaknya pengulangan yang harus dilakukan untuk mencapai hasil yang maksimal dan lama waktu yang dibutuhkan selama proses pencucian. Gambar 4 adalah ilustrasi dari metode *dilution washing* [6].

#### 2) *Displacement Washing*

Pada metode *displacement washing*, *liquid* pada *slurry* akan tergantikan seluruhnya oleh *wash liquor* atau air. Pada kondisi lapangan, *liquid* pada *slurry* tidak akan tergantikan secara menyeluruh. Hal ini diakibatkan oleh beberapa faktor seperti *degree of mixing*, *rate of desorption*, dan *diffusion* antara *slurry* dan air. Berikut adalah ilustrasi dari metode *displacement washing* (Gambar 5).

Tabel 15.  
Daftar Alat dan Harga Alat

No	Kode Alat	Nama Alat	Jumlah	Harga/Unit (\$)
1	F-111	Gudang penyimpanan TKKS	1	6000
2	J-112	Screw conveyor I	1	1300
3	X-113	Weight hopper	1	2000
4	C-110	Hammer mill	1	4000
5	H-114	Screen filter	1	980
6	J-125	Bucket Elevator	1	2600
7	F-211	Storage tank ethanol 96%	6	11650
8	L-212	Pompa tangki ethanol 96%-50%	1	3450
9	F-223	Tangki pengencer ethanol 50%	1	10500
10	L-224	Pompa pengencer-digester	1	3450
11	R-210	Digester	6	20000
12	L-235	Pompa digester-cooler	1	5000
13	E-216	Cooler I	1	2000
14	E-227	Condenser I	1	2000
15	X-218	Compressor I	1	440
16	F-311	Tangki penampung slurry	1	11650
17	L-312	Pompa tangki slurry-drum filter	1	10000
18	H-310	Drum filter	1	4850
19	L-323	Vacuum pump	1	215
20	J-411	Belt conveyor I	1	1150
21	G-412	Centrifugal Fan I	1	440
22	G-423	Centrifugal Fan II	1	440
23	B-410	Tray Dryer	1	8000
24	B-424	Cooling Tunnel	1	2000
25	F-415	Tangki penampung pulp produk	6	12500
26	V-510	Vaporizer	1	24000
27	E-511	Condenser II	1	2000
28	F-512	Storage tank ethanol recycle	1	10500
29	L-513	Pompa storage tank-ethanol recycle	1	3450

Tabel 16.  
Harga Jual Produk

Produk	Produksi/tahun	Harga/ton	Total Harga
Pulp	8000 ton	Rp.48.950.110	RP 149.452.800.000
Lignin	83086 ton	Rp.183.648,6	RP 30.203.047.555
Total			Rp 179.655.847.555

D. Proses Pengeringan Pulp

Pulp selanjutnya akan melalui tahap pengeringan. Pada tahap ini, kandungan air yang tersisa pada pulp akan dipisahkan sehingga produk pulp memiliki kadar air yang lebih sedikit dan diharapkan dapat memenuhi baku mutu yang ada. Proses pengeringan dapat dilakukan dengan cara menguapkan air yang terkandung. Proses penguapan tersebut dapat memanfaatkan panas dari udara kering yang memiliki suhu tinggi [7].

E. Proses Chemical Recovery

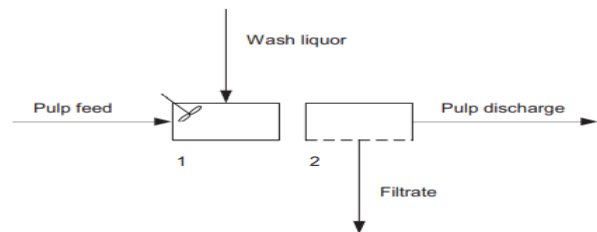
Proses chemical recovery merupakan suatu proses yang bertujuan untuk me-recovery cooking chemical sehingga cooking chemical tersebut dapat digunakan kembali pada proses pulping. Selain mampu me-recovery, proses ini juga bermanfaat untuk mengurangi polutan pada effluent dengan cara mengubah chemicals yang terkandung pada effluent

Tabel 17.  
Hasil Perhitungan Capital Expenditure

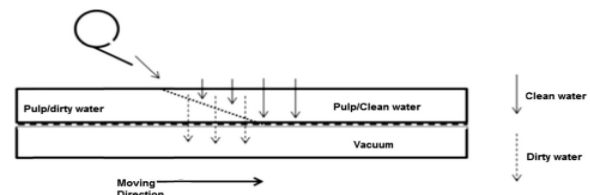
Parameter	Nilai
Fixed Capital Investment	Rp68.221.387.647,69
Working Capital Investment	Rp7.580.154.183,08
Capital Expenditure	Rp68.221.387.647,69

Tabel 18.  
Hasil Perhitungan Operational Expenditure

Parameter	Nilai
Manufacturing Cost	Rp147.266.612.827
General Expenses	Rp12.805.792.420
Operating Expenditure	Rp160.072.405.247



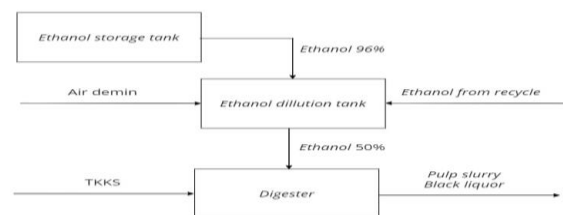
Gambar 4. Ilustrasi metode dilution washing.



Gambar 5. Ilustrasi metode displacement washing.



Gambar 6. Diagram alir proses pre-treatment.



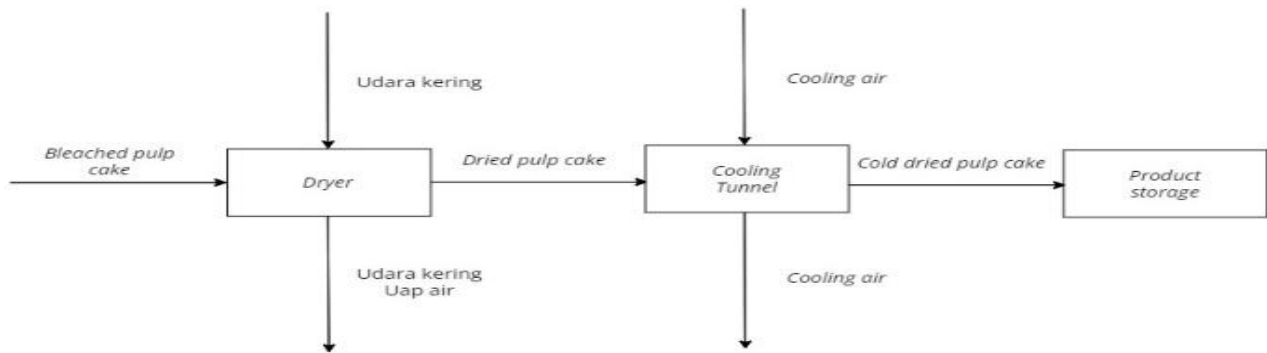
Gambar 7. Diagram alir pulping process.

menjadi by-product yang memiliki nilai ekonomis. Secara overall, proses chemical recovery terdiri dari black liquor flashing, lignin precipitation, dan proses pemisahan antara solvent dan by-product [7].

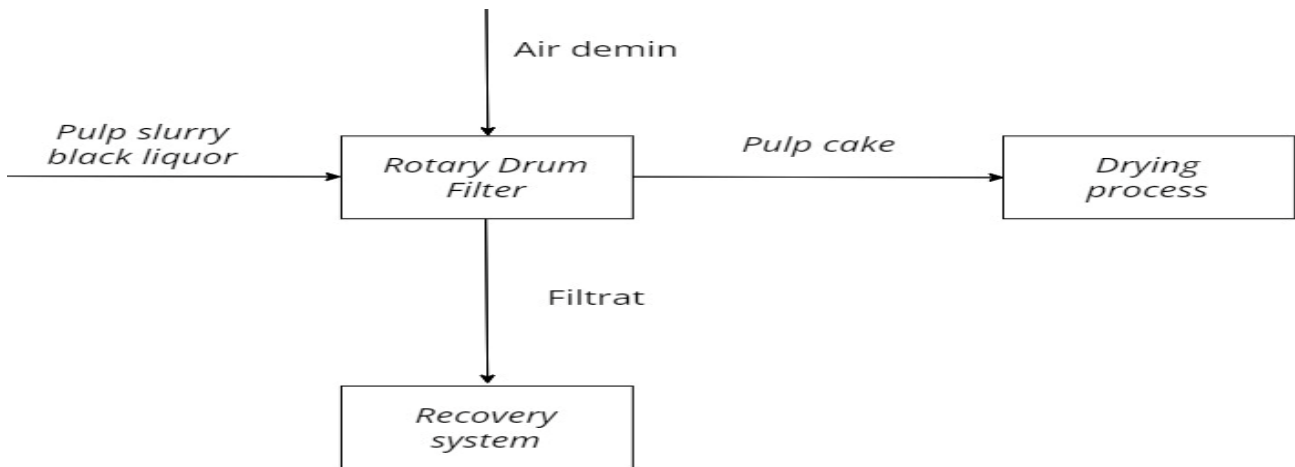
Lignin dapat diisolasi dari kayu sebagai residu tidak terlarut. Secara alternatif, lignin mampu dihidrolisa dan diekstrak dari kayu dan dikonversi menjadi produk turunan yang larut. Pada skala industri, proses isolasi lignin dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu:

1) Evaporasi – Presipitasi

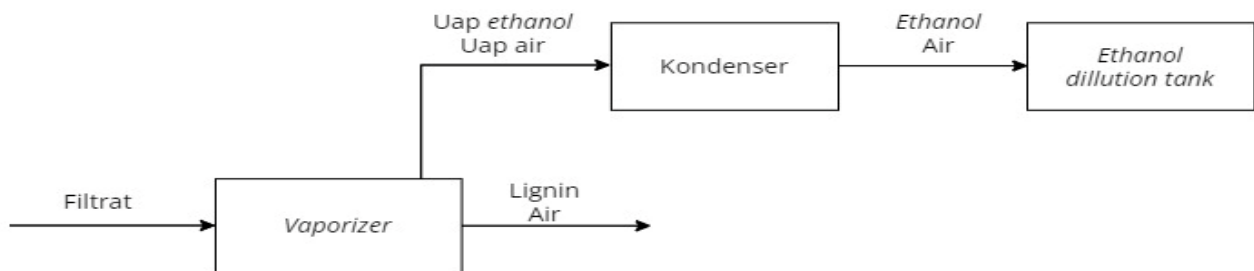
Organosolv lignin memiliki sifat sukar larut di air sehingga dengan mengurangi jumlah pelarut organik, lignin dapat dipisahkan. Jika pelarut organik berupa low boiling solvent seperti ethanol atau acetone, proses pengurangan jumlah organic solvent bisa dilakukan dengan proses evaporasi sehingga solvent terpisah dan solvent dapat digunakan kembali untuk proses pulping [8].



Gambar 9. Diagram balok proses pengeringan pulp.



Gambar 8. Diagram alir proses washing and separation.



Gambar 10. Diagram balok proses chemical recovery.

2) Dilution – Precipitation

Untuk mencegah terbentuknya kerak lignin, campuran antara organic solvent dan lignin dapat diencerkan dengan antisolvent seperti air yang bertujuan untuk mengecilkan konsentrasi dari organic solvent. Proses dilution – precipitation lebih sering digunakan karena metode ini mudah untuk dilakukan.

II. DATA DASAR PERANCANGAN

A. Ketersediaan Bahan Baku

Potensi bahan baku alternatif industri pulp dan kertas di Indonesia didukung oleh keanekaragaman tumbuhan yang ada di Indonesia. Telah banyak dilakukan penelitian terkait bahan baku alternatif non-kayu untuk pulp salah satunya yaitu tandan kosong kelapa sawit.

Pada Tahun 2018, luas areal perkebunan kelapa sawit tercatat mencapai 14.326.350 hektar sedangkan produksi minyak sawit mencapai 48,68 juta ton/tahun pada 2018

dengan jumlah limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang setara dengan produksi minyak sawit (Tabel 2) [9].

B. Kualitas Bahan Baku

Pulp TKKS dapat menggantikan pulp serat pendek komersial berbahan baku kayu. TKKS mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin dengan presentase pada Tabel 3. Sedangkan sifat mekanik dan fisika untuk serat tandan kosong kelapa sawit adalah pada Tabel 4.

C. Produk Utama

Pulp adalah hasil dari serat-serat selulosa dari kayu atau non kayu yang diproses dengan cara melarutkan lignin semaksimal mungkin. Tujuan utama dari proses pulp adalah mendapatkan serat sebanyak mungkin yang diindikasikan dengan nilai rendemen yang tinggi dengan kandungan lignin seminimal mungkin, Pada saat proses pulp, lignin akan terdegradasi oleh larutan pemasak menjadi molekul yang lebih kecil yang dapat larut dalam lindi hitam. Peristiwa ini disebut delignifikasi (Tabel 5).

#### D. Kapasitas Pabrik

Salah satu faktor yang perlu diperhatikan saat merancang suatu pabrik adalah kapasitas pabrik. Untuk menentukan kapasitas produksi pabrik sehingga dapat dikatakan layak untuk didirikan, dapat dilihat pada data impor, ekspor, konsumsi, dan produksi dari *pulp* di Indonesia (Tabel 6 dan Tabel 7). Berdasarkan Tabel 7, dapat diperkirakan kapasitas produksi *pulp* pada tahun 2027 menggunakan persamaan *discounted* berikut (Tabel 8):

$$P_{2027} = P_{2021}(1 + i)^n$$

keterangan :

P = kapasitas produksi

n = selisih tahun = 2027 - 2021 = 6

Kebutuhan pabrik dihitung dengan persamaan:

= (Ekspor + Konsumsi) – (Impor + Produksi)

= (15.889.531 + 11.563.618) – (18.052.149 + 675.637)

= 8.725.362 ton

Didapatkan kebutuhan *pulp* pada tahun 2027 sebesar 8.725.362 ton. Untuk kapasitas produksi *pulp*, karena keterbatasan dari daya produksi kelapa sawit yang dimiliki oleh daerah, maka kapasitas pabrik produksi *pulp* yang akan didirikan adalah sebesar 8000 ton per tahun atau sebesar 0,09 % dari kebutuhan *pulp* nasional pada tahun 2027 dengan asumsi bahwa pabrik *pulp* yang sudah berdiri di Indonesia mengalami kenaikan kapasitas produksi.

#### E. Lokasi Pabrik

Pabrik Pulp dari Limbah TKKS ini akan didirikan di Kawasan Industri Dumai, Provinsi Riau.

##### 1) Ketersediaan Bahan Baku

Pertimbangan aspek ketersediaan bahan baku merupakan pertimbangan yang sangat mempengaruhi dalam penentuan lokasi penentuan pabrik. Semakin dekat lokasi pabrik dengan letak penyedia bahan baku maka semakin murah biaya transportasi (Tabel 9).

##### 2) Sumber Energi Listrik dan Air

Kebutuhan energi listrik dan air pada Kawasan Industri Dumai dapat dipenuhi karena terdapat pembangkit listrik terdekat dengan ketersediaan listrik sebesar 1121 MW. Untuk kebutuhan air sendiri dapat dipenuhi oleh Selat Malaka yang lokasinya dekat dari lokasi pabrik [10].

##### 3) Sumber Tenaga Kerja

Provinsi Riau memiliki presentase masyarakat dengan Pendidikan terakhir SMA sebesar 68,94% dan upah minimum provinsi sebesar 3.191.662, sehingga untuk kebutuhan tenaga kerja dapat dipenuhi.

##### 4) Aksesibilitas dan Fasilitas Transportasi

Kawasan Industri Dumai memiliki jarak dari jalan raya sejauh 44,7 km dan fasilitas transportasi yang tersedia berupa pelabuhan lokal dan bandara di kota terdekat.

##### 5) Iklim dan Topografi

Provinsi Riau Dumai memiliki topografi dataran rendah dan agak bergelombang dan sedikit berbukit dengan ketinggian pada beberapa kota antara 2 – 91 m dpl. Provinsi Riau memiliki topografi dengan kemiringan lahan 0 – 2 % (datar) seluas 1.157.006 15 hektar, kemiringan lahan 15 – 40 % (curam) seluas 737.966 hektar dan daerah dengan topografi yang memiliki kemiringan sangat curam (> 40 %) seluas 550.928 (termasuk Provinsi Kepulauan Riau) hektar dengan

ketinggian rata-rata 10 meter di atas permukaan laut (dppi.riau.go.id).

#### 6) Pajak dan Hukum yang Berlaku

Peraturan Daerah Provinsi Riau No. 9 Tahun 2018, tentang RPIP Riau Tahun 2018-2038, memiliki tujuan untuk mencapai struktur industri yang kuat dan mendalam di Provinsi Riau, sambil meningkatkan kemakmuran dan kesejahteraan masyarakat secara adil di seluruh wilayah provinsi. Selain itu, pengembangan wilayah perindustrian juga dilakukan untuk mempercepat pertumbuhan sektor industri. Sebagai bagian dari upaya ini, pengembangan Wilayah Perindustrian dan Pergudangan (WPPI) dilakukan, termasuk WPPI Dumai yang terletak di Kota Dumai.

### III. URAIAN PROSES

#### A. Tahap Pre-Treatment

TKKS yang akan diolah menjadi *pulp* akan melalui proses *pre-treatment* terlebih dahulu dimana TKKS akan mengalami proses *size reduction* (Gambar 6). TKKS yang berasal dari gudang penyimpanan akan dimasukkan ke tangki penampung (F-111) dan dipindahkan menggunakan screw conveyor (J-112). Sebelum masuk *hammer mill* (C-110), TKKS akan melewati *weight hopper* (X-113) terlebih dahulu. *Weight hopper* berfungsi untuk mengatur banyaknya TKKS yang akan memasuki *hammer mill*. Jika berat TKKS yang berada pada *weight hopper* sudah mencapai berat tertentu, sekat atau penutup pada *weight hopper* akan membuka sehingga TKKS akan jatuh ke *hammer mill* (C-110) untuk dilakukan proses *size reduction* menjadi ukuran 5 – 10 mm (Duque,2016). Setelah tereduksi, TKKS akan melewati *silter filter* (H-114) untuk menyaring ukuran TKKS. Jika ukuran TKKS lebih dari 10 mm, maka TKKS akan dialirkan kembali ke *hammer mill* dengan bantuan *bucket elevator* (J-125) untuk dilakukan *size reduction* kembali hingga TKKS memiliki ukuran kurang dari 10 mm. Sedangkan TKKS yang berukuran kurang dari 10 mm akan memasuki tahap *pulping process*.

#### B. Tahap Pulping Process

Pada tahap *pulping process*, TKKS yang berukuran kurang dari 10 mm akan memasuki digester (R-210) untuk mengalami proses *pulping* (Gambar 7). Proses *pulping* menggunakan *chemical* berupa ethanol dengan kadar 50% (v/v) dengan perbandingan massa antara TKKS:ethanol adalah 1:10 (Johansson, et. al., 1987). Ethanol yang digunakan pada proses ini dipompakan dari tangki pengenceran (F-223) yang dialirkan oleh pompa (L-224 A/B). Pada tangki pengenceran, terjadi proses pengenceran ethanol 96% yang berasal dari tangki penampung ethanol (F-211) yang dialirkan oleh pompa (L-212) serta ethanol dari tangki penampung ethanol recycle (F-513) yang dialirkan oleh pompa (L-524). Pada digester, TKKS akan mengalami proses *pulping* dimana pada proses ini lignin yang terkandung pada TKKS akan larut dengan ethanol serta menyisakan serat – serat lainnya seperti selulosa ataupun hemiselulosa. Setelah melalui proses *pulping*, TKKS akan berubah menjadi slurry yang selanjutnya akan masuk kedalam tangki penampung slurry (F-311) dengan bantuan pompa (L-235). Selain slurry yang keluar dari digester, terdapat pula uap ethanol yang keluar dari digester. Uap ethanol tersebut akan dikondensasikan di *condenser* I (E-227) lalu masuk kedalam

tangki penampung *ethanol recycle*. Proses pulping terjadi pada suhu 160°C dan tekanan 15 atm. Suhu dan tekanan pada digester dapat dicapai dengan bantuan *saturated steam* sebagai pemanas yang masuk kedalam digester. *Saturated steam* tersebut berasal dari utilitas dengan suhu 200°C dan tekanan sebesar 15 atm.

### C. Tahap Washing and Separation

*Pulp slurry* akan dipompakan dari tangki penampung slurry (F-311) menuju *rotary drum filter* (H-310) dengan menggunakan pompa (L-312). *Slurry* selanjutnya akan dicuci dengan cara penambahan air demin sehingga kadar *chemical* pada *slurry* akan menurun (Gambar 8). Pada saat yang bersamaan dengan proses pencucian, padatan pada *slurry* berupa serat – serat seperti selulosa akan tersaring dan menempel pada drum filter. Hal ini dapat terjadi karena kondisi operasi pada *rotary drum filter* berada pada tekanan 0,69 atm. Padatan yang menempel pada drum filter selanjutnya disebut dengan *cake* dan akan terpisahkan dengan sebagian besar *liquid* nya yang tersusun atas air, ethanol, dan lignin yang larut yang selanjutnya disebut dengan filtrat. *Cake* yang terpisahkan kemudian akan dialirkan dengan menggunakan *belt conveyor* (J-413) untuk menuju reaktor tray dryer (B-410), sedangkan filtrat akan dipompakan oleh pompa vakum (L-323) menuju vaporizer (V-510) untuk proses *chemical recovery*.

### D. Tahap Pengeringan Pulp

*Pulp* berupa *cake* yang berasal dari drum filter (H-310) akan dialirkan menggunakan *belt conveyor* (J-411) menuju dryer (B-410) untuk dikeringkan (Gambar 9). Proses pengeringan pulp bertujuan untuk mengurangi kandungan air pada pulp dengan cara diuapkan. Adapun panas yang digunakan oleh dryer berasal dari udara panas yang dialirkan dengan bantuan centrifugal fan (G-412). Pada tray dryer, proses pengeringan terjadi karena air pada pulp akan terikuk dengan udara kering yang disuplai oleh *centrifugal fan*. Udara panas yang bercampur dengan air yang teruapkan selanjutnya akan memasuki *hot air return stream* dimana uap air yang terkandung dalam udara akan dipisahkan. Selanjutnya, setelah melalui dryer, *dried pulp* akan masuk kedalam *cooling tunnel* (B-424) untuk didinginkan sebelum memasuki tangki penampung produk pulp (F-415).

### E. Tahap Chemical Recovery

Filtrat yang mayoritas tersusun atas air, *ethanol*, dan lignin delignifikasi akan dialirkan dengan pompa vakum (L-323 A/B) menuju vaporizer (V-510) untuk proses *chemical recovery* (Gambar 10). Proses ini memanfaatkan panas dari *saturated steam* yang memiliki suhu 80 °C. Panas dari *saturated steam* diharapkan mampu menguapkan *ethanol* dan sebagian air sehingga *ethanol* dapat digunakan kembali untuk proses pulping. *Ethanol* dan air yang teruapkan pada vaporizer selanjutnya akan dikondensasikan di condenser II (E-512) dan selanjutnya akan masuk kedalam tangki penampung *ethanol recycle* (F-513) yang kemudian akan dialirkan dengan pompa (L-524) menuju tangki pengenceran. Adapun campuran air dan lignin yang tidak saling larut dan tidak teruapkan akan menjadi *byproduct* dimana lignin yang terkandung dapat dimurnikan dan diolah lebih lanjut.

## IV. NERACA MASSA DAN ENERGI

Secara keseluruhan neraca massa pabrik pulp dari TKKS ini adalah ditunjukkan pada Tabel 10. Untuk spesifikasi produk yang dihasilkan sudah memenuhi standar, untuk perbandingannya dapat dilihat pada Tabel 11 dan Tabel 12. Untuk kebutuhan panas & power pada pabrik Pulp dari TKKS dapat dilihat pada Tabel 13 dan Tabel 14.

## V. DAFTAR DAN HARGA PERALATAN

Tabel 15 adalah daftar dan harga peralatan yang akan digunakan pada pabrik Pulp dari limbah TKKS ini.

## VI. ANALISIS EKONOMI, ASPEK SOSIAL DAN LINGKUNGAN

### A. Asumsi yang Digunakan

Perhitungan analisis ekonomi dilakukan dengan menggunakan *discounted cash flow* yang nilainya diproyeksikan pada masa sekarang. Dalam perhitungannya, berikut adalah asumsi-asumsi yang digunakan untuk analisis.

- Kapasitas produksi pabrik : 8000 ton/tahun
- Modal investasi: modal sendiri (*equity*): 40%, modal pinjaman (*loan*): 60%, bunga bank: 7,90%/tahun (BCA), laju Inflasi: 2,83%/tahun (Bank Indonesia)
- Masa umur pabrik: 15 tahun dengan depresiasi 7%
- Basis perhitungan ekonomi: 1 tahun
- Pajak pendapatan Pasal 17 Ayat 2a UU PPh No.17, Tahun 2010 sebesar 15% untuk pendapatan lebih dari Rp50.000.000.00 – Rp250.000.000.00
- Nilai tukar rupiah (1 USD): Rp15.568,90 (Bank Indonesia)
- Tahun pengadaan peralatan: 2024
- Tahun Mulai konstruksi: 2025
- Lama konstruksi: 2 tahun: tahun pertama menggunakan 50% modal sendiri (*equity*) dan 50% sisa modal pinjaman bank (*loan*). Tahun kedua menggunakan sisa modal sendiri (*equity*) dan sisa modal pinjaman bank (*loan*)
- Tahun mulai operasi: 2027
- Kapasitas produksi tahun pertama 60%, tahun kedua 80%, dan tahun ketiga 100%
- Metode pembayaran: Pada masa awal konstruksi (tahun pertama (-2)) dilakukan pembayaran sebesar 50% dari pinjaman bank (*loan*) untuk keperluan pembelian tanah dan uang muka. Pada akhir tahun kedua konstruksi (tahun kedua (-1)) dibayarkan dengan sisa modal pinjaman bank (*loan*) (Tabel 16).

### B. Analisis Ekonomi

Analisa ekonomi meliputi:

#### 1) CAPEX

Pada pabrik ini nilai dari *Capital Expenditure* terdiri dari akumulasi antara *Fixed Capital Investment* dan *Working Capital Investment*. Melalui perhitungan dari parameter-parameter tersebut maka didapat nilai CAPEX pada Tabel 17.

#### 2) OPEX

Pada pabrik ini nilai *Operational Expenditure* terdiri dari akumulasi antara *manufacturing cost* dan *general expenses*. Berdasarkan perhitungan dari parameter-parameter tersebut maka didapat nilai OPEX pada Tabel 18.

### 3) NPV

Net present value (NPV) merupakan perbedaan antara nilai sekarang dari arus kas yang masuk dan nilai sekarang dari arus kas keluar pada sebuah waktu periode tertentu. Berdasarkan perhitungan, didapatkan nilai NPV sebesar Rp548.602.270.504,26. Dari hasil tersebut, dapat dikatakan bahwa pabrik ini layak didirikan karena memiliki nilai NPV lebih dari 0 (positif).

### 4) Internal Rate of Return

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan harga  $i = 18,48\%$ . Harga  $i$  yang diperoleh melebihi harga  $i$  untuk bunga pinjaman, yaitu sebesar  $7,9\%$ /tahun. Maka dari itu, berdasarkan perhitungan IRR yang telah dilakukan pabrik ini layak didirikan karena minimal harga IRR suatu pabrik layak didirikan adalah lebih dari bunga pinjaman atau lebih baik lagi apabila nilainya dua kali lipat bunga pinjaman.

### 5) Pay Out Time

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan bahwa waktu pengembalian modal minimum adalah 7 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa pabrik layak didirikan karena POT yang didapatkan lebih kecil dari perkiraan usia pabrik.

### 6) Break Even Point (BEP)

Agar pabrik tidak rugi, didapatkan nilai *Break Even Point* (BEP) pada pabrik adalah sebesar  $57,76\%$ .

### 7) Aspek Sosial

Pendirian pabrik *pulp* dari limbah TKKS pada Kawasan Industri Dumai Provinsi Riau akan memberikan beberapa dampak positif antara lain: meningkatkan ekonomi masyarakat sekitar, adanya peningkatan pemasukan pendapatan pemerintah daerah dan pusat dalam bentuk pajak.

### C. Aspek Lingkungan

Dalam pembangunan pabrik *pulp*, terdapat beberapa dampak positif bagi lingkungan. Diantaranya ialah pemanfaatan limbah TKKS yang saat ini belum dimanfaatkan secara maksimal. Namun, adanya pabrik tersebut juga dapat menimbulkan dampak negatif, antara lain: kemungkinan terjadinya kerusakan lingkungan akibat limbah yang dihasilkan pabrik seperti pencemaran udara, air dan tanah; debu yang dihasilkan dari proses produksi dapat mengakibatkan pencemaran udara.

Maka dari itu, terdapat unit pengolahan limbah sebagai upaya *zero waste* dan memenuhi prinsip *green chemistry*. Limbah yang dihasilkan dari pabrik *pulp* beserta pengelolaan dan pemanfaatannya adalah berupa air buangan dari peralatan proses. Air buangan ini mengandung bahan organik yang mungkin disebabkan oleh: kebocoran dari suatu peralatan; kebocoran karena tumpah pada saat pengisian atau pengosongan; dan air dari pencucian atau perbaikan peralatan. Air buangan yang mengandung bahan organik dipisahkan berdasarkan perbedaan berat jenisnya. Larutan organik di bagian atas dialirkan ke tungku pembakaran, sedangkan air di bagian bawah dialirkan ke penampungan akhir, yang kemudian dapat dibuang ke pembuangan umum.

## VII. KESIMPULAN

Produksi pulp dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) tersebut melalui tahap *pulping* yaitu pemisahan lignin untuk memperoleh serat (selulosa) dari bahan berserat menggunakan *Organic Solvent* berupa ethanol. Proses dan kondisi yang tepat mempengaruhi produk yang diperoleh. Bahan baku yang digunakan merupakan limbah dari pabrik CPO dan bukaan lahan perkebunan kelapa sawit semakin meningkat setiap tahunnya. Selain itu, mendukung upaya penurunan impor *pulp* seiring dengan meningkatnya kebutuhan Indonesia akan *pulp*.

Dari segi ekonomi dapat dilihat bahwa IRR yang didapatkan sebesar  $18,48\%$  berada di atas suku bunga pinjaman bank, yaitu sebesar  $7,9\%$  dengan jangka waktu pengembalian modal (POT) selama 7 tahun dimana lebih kecil dari waktu pengembalian modal yang telah ditetapkan pemberi pinjaman, yaitu selama 10 tahun. Maka dari itu, Pabrik *Pulp* dari Limbah TKKS layak untuk didirikan.

Dari segi lingkungan pendirian pabrik *pulp* ini memiliki dampak negatif ke lingkungan sekitar, namun sudah didapatkan solusi untuk permasalahan tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum (JDIH), "Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2011 tentang Rencana Induk Pembangunan Kepariwisata Nasional Tahun 2010–2025." Badan Pemeriksa Keuangan, Jakarta, p. 50, 2011. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/>
- [2] V. B. Agbor, N. Cicek, R. Sparling, A. Berlin, and D. B. Levin, "Biomass pretreatment: Fundamentals toward application," *Biotechnol. Adv.*, vol. 29, no. 6, pp. 675–685, 2011, doi: 10.1016/j.biotechadv.2011.05.005.
- [3] M. R. Hidayat, "Teknologi pretreatment bahan lignoselulosa dalam proses produksi bioetanol," *Biopropal Ind.*, vol. 4, no. 1, pp. 33–48, 2013.
- [4] P. Khristova, O. Kordsachia, R. Patt, I. Karar, and T. Khider, "Environmentally friendly pulping and bleaching of bagasse," *Ind. Crops Prod.*, vol. 23, no. 2, pp. 131–139, 2006, doi: 10.1016/j.indcrop.2005.05.002.
- [5] G. Janusz, A. Pawlik, J. Sulej, U. Świdarska-Burek, A. Jarosz-Wilkolazka, and A. Paszczyński, "Lignin degradation: microorganisms, enzymes involved, genomes analysis and evolution," *FEMS Microbiol. Rev.*, vol. 41, no. 6, pp. 941–962, Nov. 2017, doi: 10.1093/femsre/fux049.
- [6] T. K. Das and C. Houtman, "Evaluating chemical, mechanical, and bio-pulping processes and their sustainability characterization using life-cycle assessment," *Environ. Prog.*, vol. 23, no. 4, pp. 347–357, 2004, doi: 10.1002/ep.10054.
- [7] F. R. J. I. Botello M. A. Gilarranz and M. Oliet, "Recovery of solvent and by-products from organosolv black liquor," *Sep. Sci. Technol.*, vol. 34, no. 12, pp. 2431–2445, 1999, doi: 10.1081/SS-100100783.
- [8] P. Schulze, M. Leschinsky, A. Seidel-Morgenstern, and H. Lorenz, "Continuous separation of lignin from organosolv pulping liquors: Combined lignin particle formation and solvent recovery," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 58, no. 9, pp. 3797–3810, 2019, doi: 10.1021/acs.iecr.8b04736.
- [9] R. W. Thring, E. Chomet, and R. P. Overend, "Recovery of a solvolytic lignin: Effects of spent liquor/acid volume ratio, acid concentration and temperature," *Biomass*, vol. 23, no. 4, pp. 289–305, 1990, doi: 10.1016/0144-4565(90)90038-L.
- [10] Y. Sudiyani *et al.*, "Utilization of biomass waste empty fruit bunch fiber of palm oil for bioethanol production using pilot-scale unit," *Energy Procedia*, vol. 32, pp. 31–38, 2013, doi: 10.1016/j.egypro.2013.05.005.