TUGAS AKHIR - TK184704

PRA-DESAIN PABRIK FRAKSINASI LIGNOSELULOSA DARI SABUT KELAPA DENGAN STEAM EXPLOSION

ROIDA NABILA
NRP 02211840000003
RADIFAN ATHALLAH RIZKY
NRP 02211840000031

Dosen Pembimbing
Dr. Tantular Nurtono, S.T, M.Eng
NIP 19720520199702 1 001
Ni Made Intan Putri Suari, S.T., M.T
NIP 19890106201504 2 002

Sarjana (S1) Teknik Kimia
Departemen Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

TUGAS AKHIR – TK184704

PRA-DESAIN PABRIK FRAKSINASI LIGNOSELULOSA DARI SABUT KELAPA DENGAN STEAM EXPLOSION

ROIDA NABILA
NRP 02211840000003
RADIFAN ATHALLAH RIZKY
NRP 02211840000031

Dosen Pembimbing
Dr. Tantular Nurtono, S.T, M.Eng
NIP 19720520199702 1 001
Ni Made Intan Putri Suari, S.T., M.T
NIP 19890106201504 2 002

Sarjana (S1) Teknik Kimia
Departemen Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

FINAL PROJECT – TK184704

PRE-DESIGN LIGNOCELLULOSIC FRACTIONATION PLANT FROM COCONUT COIR USING STEAM EXPLOSION METHOD

ROIDA NABILA
NRP 02211840000003
RADIFAN ATHALLAH RIZKY
NRP 02211840000031

Advisor
Dr. Tantular Nurtono, S.T, M.Eng
NIP 19720520199702 1 001
Ni Made Intan Putri Suari, S.T., M.T
NIP 19890106201504 2 002

Bachelor (S1) Chemical Engineering
Departement of Chemical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Tugas Desain Pabrik Kimia dengan Judul:
"Pra Desin Pabrik Fraksinasi Lignoselulosa Dari Sabut Kelapa Dengan Metode Steam Explosion"

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik (S.T)
Di Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

Roida Nabila	**NRP: 02211840000003**
Radifan Athallah Rizky	**NRP: 02211840000031**

Disetujui Oleh:
Pembimbing:

1. Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng
   NIP. 197205201997021 001
2. Ni Made Intan Putri Suari, S.T.,M.T.
   NIP. 198901062015042 002

Penguji:

1. Prof. Dr. Ir Heru Setyawan,M.Eng.
   NIP. 196702031991021 001
2. Fadlilatul Taufany, S.T.,Ph.D.
   NIP. 198107132005011 001
3. Hakun Wirawasista Aparamarta, S.T., M.MT., Ph.D.
   NIP. 197809222008121 001

Surabaya, 30 Desember 2021
Kepala Departemen Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Dr. Eng Widiyastuti, S.T., M.T
NIP. 1975 03 06 2002 12 2002

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa / NRP	: 1. Roida Nabila / 02211840000003
	2. Radifan Athallah Rizky / 02211840000031
Departemen	: Teknik Kimia
Dosen Pembimbing / NIP	: 1. Dr. Tantular Nurtono, S.T, M.Eng NIP. 19720520199702 1 001
	2. Ni Made Intan Putri Suari, S.T., M.T NIP. 19890106201504 2 002

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Pra-Desain Pabrik Fraksinasi Lignoselulosa Dari Sabut Kelapa Dengan Steam Explosion" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 20 Juli 2022

Mengetahui,
Mahasiswa I,

(Roida Nabila)
NRP. 02211840000003

Mahasiswa II,

(Radifan Athallah Rizky)
NRP. 02211840000031

Dosen Pembimbing I,

(Dr. Tantular Nurtono, S.T, M.Eng)
NIP. 19720520199702 1 001

Dosen Pembimbing II,

(Ni Made Intan Putri Suari, S.T., M.T)
NIP. 19890106201504 2 002

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP	: 1. Roida Nabila / 02211840000003
	2. Radifan Athallah Rizky / 02211840000031
Department	: Chemical Engineering
Advisor / NIP	: 1. Dr. Tantular Nurtono, S.T, M.Eng NIP. 19720520199702 1 001
	2. Ni Made Intan Putri Suari, S.T., M.T NIP. 19890106201504 2 002

hereby declare that the Final Project with the title of "Pre-Design Lignocellulosic Fractionation Plant From Coconut Coir Using Steam Explosion Method" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, July 20th 2022

Acknowledged

Student I	Student II
(Roida Nabila)	(Radifan Athallah Rizky)
NRP. 02211840000003	NRP. 02211840000031

Advisory I	Advisory II
(Dr. Tantular Nurtono, S.T, M.Eng)	(Ni Made Intan Putri Suari, S.T., M.T)
NIP. 19720520199702 1 001	NIP. 19890106201504 2 002

PRA-DESAIN PABRIK FRAKSINASI LIGNOSELULOSA DARI SABUT KELAPA DENGAN STEAM EXPLOSION

Nama Mahasiswa / NRP : **Roida Nabila / 02211840000003**
Radifan Athallah Rizky / 02211840000031
Departemen : **Teknik Kimia FTIRS – ITS**
Dosen Pembimbing : **Dr. Tantular Nurtono, ST., M.Eng. /197205201997021001**
Ni Made Intan Putri Suari, ST., MT. /198901062015042002

Abstrak

Lignoselulosa pada sabut kelapa merupakan salah satu sumber bahan baku terbarukan yang memiliki peran pada bidang industry serta ekonomi. Salah satu pemanfaatan lignoselulosa adalah pada produk *intermediate*nya antara lain hemiselulosa, selulosa, dan lignin yang merupakan bahan baku untuk *fine product*. Pra dsain pabrik ini bertujuan untuk menghasilkan hemiselulosa, selulosa, dan lignin lewat fraksinasi lignoselulosa sabut kelapa lewat metode *steam explosion* dilanjutkan dengan delignifikasi menggunakan NaOH 17,5%. Pembangunan pabrik akan diatur dengan masa konstruksi 3 tahun dengan umur pabrik sekitar 20 tahun. Lokasi pabrik direncanakan pada Kabupaten Gresik dengan sistem operasi semi kontinyu dengan kapasitas bahan baku sebesar 33.000 ton/tahun, 20 jam/hari, 330 hari. Perencanaan pabrik dimulai dengan bahan baku berupa sabut kelapa 33.000 ton/tahun, NaOH 48% sebanyak 356 ton/tahun, dan H_2SO_4 sebanyak 98% 3.234 ton/tahun. Lalu produk yang dihasilkan selulosa sebanyak 11.220 ton/tahun, hemiselulosa sebanyak sebanyak 6.092 ton/tahun, dan lignin sebanyak 10.362 ton/tahun. Analisa ekonomi pada pra desain pabrik dimulai dengan modal tetap sebesar Rp. 673.969.230.000, dengan modal kerja Rp. 118.935.746.550, Investasi total Rp. 792.904.976.550, biaya produksi total Rp. 459.809.819.744, dan hasil penjualan diperkirakan sebesar Rp. 418.714.134.988/tahun. Berdasarkan data-data perhitungan, didapat laju pengembalian modal sebesar 18% berada diatas bunga pinjaman bank yaitu sebesar 8% dengan jangka waktu pengembalian modal selama 3 tahun 11 bulan lebih kecil dibandingkan dengan waktu pengembalian modal dari pemberi pinjaman yaitu 20 tahun serta *break-even point* sebesar 15%. Sehingga, pabrik fraksinasi lignoselulosa dari sabut kelapa dengan metode steam explosion layak untuk didirikan.

Kata kunci : Hemiselulosa, Lignin, Lignoselulosa, Selulosa

PRE-DESIGN LIGNOCELLULOSIC FRACTIONATION PLANT FROM COCONUT COIR USING STEAM EXPLOSION METHOD

Student Name / NRP : **Roida Nabila / 02211840000003**
Radifan Athallah Rizky / 02211840000031
Departement : **Chemical Engineering FTIRS – ITS**
Advisor : **Dr. Tantular Nurtono, ST., M.Eng. /197205201997021001**
Ni Made Intan Putri Suari, ST., MT. /198901062015042002

Abstract

Lignocellulose in coconut fiber is one of the sources of renewable raw materials that have a role in industry and the economy. One of the uses of lignocellulose is in its intermediate products, including hemicellulose, cellulose, and lignin which are the raw materials for fine products. The pre-design of this factory aims to produce hemicellulose, cellulose, and lignin through fractionation of lignocellulosic coconut fiber using the steam explosion method followed by delignification using 17.5% NaOH. The construction of the factory will be arranged with a construction period of 3 years with a factory life of around 20 years. The factory location is planned in Gresik Regency with a semi-continuous operating system with a raw material capacity of 33,000 tons/year, 20 hours/day, 330 days. Factory planning begins with raw materials in the form of coconut coir at 33,000 tons/year, NaOH 48% at 356 tons/year, and H_2SO_4 at 98% 3,234 tons/year. Then the products produced are 11,220 tons/year of cellulose, 6,092 tons/year of hemicellulose, and 10,362 tons/year of lignin. The economic analysis on the pre-design of the factory starts with a fixed capital of Rp. 673,969,230,000, with a working capital of Rp. 118,935,746,550, Total investment Rp. 792,904,976,550, the total production cost is Rp. 459,809,819,744, and the sales revenue is estimated at Rp. 418,714,134,988/year. Based on the calculation data, it is found that the rate of return on capital is 18% above bank loan interest, which is 8% with a payback period of 3 years and 11 months, which is smaller than the payback period of the lender, which is 20 years and the break-even point. by 15%. Thus, a lignocellulosic fractionation plant from coconut fiber using the steam explosion method is feasible to establish.

Keyword : Cellulose, Hemicellulose, Lignin, Lignocellulose

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Penelitian ini dengan judul:

"Pra-Desain Pabrik Fraksinasi Lignoselulosa dari Sabut Kelapa dengan Steam Explosion"

Tugas akhir ini ditulis sebagai salah satu syarat yang harus diselesaikan oleh mahasiswa Teknik Kimia FT-IRS ITS dalam memperoleh gelar sarjana. Selama penyusunan laporan ini, kami banyak mendapatkan bimbingan dan masukkan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orangtua dan keluarga yang selalu memberi doa, dukungan, dan motivasi dalam pengerjaan tugas penelitian ini.
2. Bapak Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing 1 yang telah membimbing, dukungan, dan memberikan masukan bagi kami.
3. Ibu Ni Made Intan Putri Suari, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 2 yang telah membimbing, dukungan, dan memberikan saran bagi kami.
4. Ibu Dr. Eng Widiyastuti, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Kimia FT-IRS ITS.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng. selaku Kepala Laboratorium Elektrokimia dan Korosi Teknik Kimia FT-IRS ITS.
6. Rekan-rekan perjuangan Laboratorium Elektrokimia dan Korosi dan keluarga besar Teknik Kimia K-58 atas semangat dan dukungannya.
7. Semua pihak yang telah membantu penyusunan dalam menyelesaikan tugas penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Kami menyadari bahwa penyusunan tugas penelitian ini masih terdapat kekurangan oleh karena itu kami mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun, sehingga laporan ini dapat diperbaiki dan menjadi lebih baik di kemudian hari. Semoga tugas penelitian ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 30 Desember 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS ii
ABSTRAK iv
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR viii
DAFTAR TABEL viii
BAB I PENDAHULUAN 1
I.1 Tinjauan Pasar Produk 1
I.2 Teknologi Produksi dan Seleksi Proses 4
BAB II DATA DASAR PERANCANGAN 11
II.1 Ketersediaan dan Kualitas Bahan Baku dan Produk 11
II.2 Kapasitas 16
II.3 Lokasi dan Ketersediaan Utilitas 20
BAB III URAIAN PROSES TERPILIH 29
III.1 Diagram Balok 29
III.2 Diagram Alir Proses 30
III.3 Uraian Proses 31
BAB IV NERACA MASSA DAN ENERGI 33
IV.1 Neraca Massa dan Energi 33
IV.2 Kebutuhan Panas dan Power 47
BAB V DAFTAR DAN HARGA PERALATAN 49
V.1 Daftar Peralatan 49
V.2 Daftar dan Harga Peralatan 55
V.3 Tata Letak Pabrik Secara Garis Besar 55
V.4 P&ID Alar Utama dan *Preliminary HAZOP* 56
BAB VI ANALISA EKONOMI DAN ANALISA DAMPAK TERHADAP LINGKUNGAN 61
VI.1 Asumsi-Asumsi 61
VI.2 CAPEX dan OPEX 61
VI.3 NPV, IRR, POT, *Cash Flow*, Sensitivitas terhadap IRR 63
VI.4 Aspek Sosial dan Lingkungan 66
BAB VII KESIMPULAN 67
DAFTAR PUSTAKA 68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Penyebaran Kelapa di Indonesia Tahun 2007 1
Gambar 1.2 Luas Area dan Produksi Kelapa di Indonesia Tahun 2015-2019 2
Gambar 1.3 Ekspor Kelapa dan Sabut Kelapa Tahun 2012-2017 2
Gambar 1.4 Data Negara Eksportir Kelapa di Indonesia Tahun 2019 3
Gambar 1.5 Beberapa Potensi Produk Lignoselulosa 4
Gambar 1.6 Proses Gabungan *Steam Explosion*- Delignifikasi dengan NaOH 5
Gambar 1.7 Reaktor *Batch Steam Explosion* 5
Gambar 1.8 *Batch Steam Explosion* pada Skala Laboratorium 6
Gambar 1.9 Proses *Ionic Liquid* 7
Gambar 1.10 Proses *Liquid Hot Water* 8
Gambar 2.1 Sabut Kelapa 11
Gambar 2.2 Struktur Kimia Selulosa 14
Gambar 2.3 Struktur Kimia Selulosa α 14
Gambar 2.4 Struktur Kimia Selulosa β 15
Gambar 2.5 Struktur Kimia Hemiselulosa 15
Gambar 2.6 Struktur Kimia Lignin 16
Gambar 2.7 Proyeksi Lokasi Pabrik di Kabupaten Indragiri Hilir, Riau 20
Gambar 2.8 Proyeksi Lokasi Pabrik di Kabupaten Gresik, Jawa timur 21
Gambar 3.1 Diagram Balok Proses Terpilih 29
Gambar 3.2 Diagram Alir Proses Terpilih 30
Gambar 5.1 Tata Letak Pabrik 56
Gambar 5.2 *Piping dan Instrumentation Design Steam Explosion Reactor* (R-210) 56
Gambar 6.1 Grafik Analisa BEP 65
Gambar 6.2 Grafik Analisa Sensitivitas IRR 66

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Impor dan Ekspor Selulosa di Indonesia Tahun 3
Tabel 1.2 Ekpor dan Impor dari Produk Lignoselulosa 3
Tabel 1.3 Perbandingan Proses *Pretreatment* Lignoselulosa dari 9
Tabel 2.1 Komposisi Zat Penyusunan Lignoselulosa pada Sabut Kelapa 11
Tabel 2.2 Spesifikasi Kimia Sabut Kelapa 12
Tabel 2.3 Sifat-Sifat Selulosa 13
Tabel 2.4 Data Produksi Kelapa dan Sabut Kelapa di Indonesia 2017-2021 16
Tabel 2.5 Data Ekspor Selulosa di Indonesia 17
Tabel 2.6 Data Konsumsi Selulosa di Indonesia 18
Tabel 2.7 Daftar Perusahaan dan Kapasitas Produksi Selulosa di Dunia 18
Tabel 2.8 Ketersediaan Produksi Sabut Kelapa di Indonesia 19
Tabel 2.9 Jumlah Produksi Sabut Kelapa per Kabupaten di Provinsi Riau 21
Tabel 2.10 Jumlah Produksi Sabut Kelapa per Kabupaten di Provinsi Jawa Timur 21
Tabel 2.11 Ketersediaan Produksi Sabut Kelapa di Lokasi Pabrik 22
Tabel 2.12 Perbandingan Lokasi Sumber dan Jarak Bahan Baku dengan Pabrik 22
Tabel 2.13 Perbandingan Aksebilitas dan Parameter 24
Tabel 2.14 Data Topografi dan Iklim di Kabupaten Indragiri Hilir 24
Tabel 2.15 Data Topografi dan Iklim di Kabupaten Gresik 25

Tabel 2.16 Data Statistik Angkatan Kerja Kabupaten Indragiri Hilir dan Kabupaten Gresik pada Tahun 2020 26
Tabel 2.17 Perbandingan UMP Provinsi di Indonesia pada Tahun 2021 26
Tabel 2.18 Perbandingan UMK Kabupaten Indragiri Hilir dan Gresik 27
Tabel 2.19 Perbandingan Lokasi Pabrik 28
Tabel 4.1 Data *Heat Capacity* Komponen 33
Tabel 4.2 Data *Heat Capacity* Komponen Tambahan 34
Tabel 4.3 Neraca Massa dan Energi *Steam Explosion Reactor* (R-210) 34
Tabel 4.4 Neraca Massa *Blow Tank* (T-212) 35
Tabel 4.5 Neraca Massa dan Energi *Rotary Cooler* (E-214) 36
Tabel 4.6 Neraca Massa *Filter Press* (H-218) 37
Tabel 4.7 Neraca Massa dan Energi *Evaporator* (V-220) 38
Tabel 4.8 Neraca Energi *Barometric Condenser* (H-224)) 39
Tabel 4.9 Neraca Energi *Steam Jet Ejector* (G-225) 40
Tabel 4.10 Neraca Massa dan Energi *Crystallizer* (D-229) 40
Tabel 4.11 Neraca Massa dan Energi Reaktor Delignifikasi (R-310) 41
Tabel 4.12 Neraca Massa dan Energi *Mixer Tank* (M-312) 42
Tabel 4.13 Neraca Massa dan Energi *Washing Tank* (W-315) 43
Tabel 4.14 Neraca Massa *Centrifuge* (H-316) 44
Tabel 4.15 Neraca Massa dan Energi *Precipitation Tank* (M-330) 45
Tabel 4.16 Neraca Massa *Filter Press* (H-332) 46
Tabel 4.17 Kebutuhan Panas Pabrik Fraksinasi Lignoselulosa dari Sabut Kelapa dengan *Steam Explosion* 47
Tabel 4.18 Kebutuhan Power Pabrik Fraksinasi Lignoselulosa dari Sabut Kelapa dengan *Steam Explosion*. 47
Tabel 5.1 Daftar Peralatan Pabrik 49
Tabel 5.2 Daftar dan Harga Peralatan pada Tahun 2022 55
Tabel 5.3 *Preliminary HAZOP Steam Explosion Reactor* (R-201) 56
Tabel 5.4 Frekuensi Kegagalan Mekanikal Berdasarkan Perhitungan LOPA 59
Tabel 5.5 Macam - Macam *Independent Layer Protection* 60
Tabel 6.1 Perhitungan Biaya Langsung (DC) 62
Tabel 6.2 Perhitungan Biaya Tidak angsung (IC) 62
Tabel 6.3 Sensitivitas Nilai IRR Terhadap Perubahan Harga Bahan Baku 65
Tabel 6.4 Sensitivitas Nilai IRR Terhadap Perubahan Harga Penjualan 65
Tabel 6.5 Sensitivitas Nilai IRR Terhadap Perubahan Nilai TCI 65

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

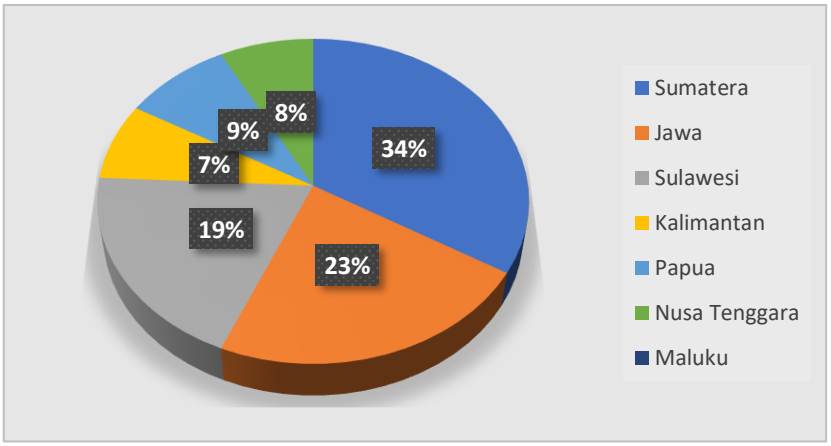
BAB I
PENDAHULUAN

I.1. Tinjauan Pasar Produk

I.1.1 Aspek Pasar

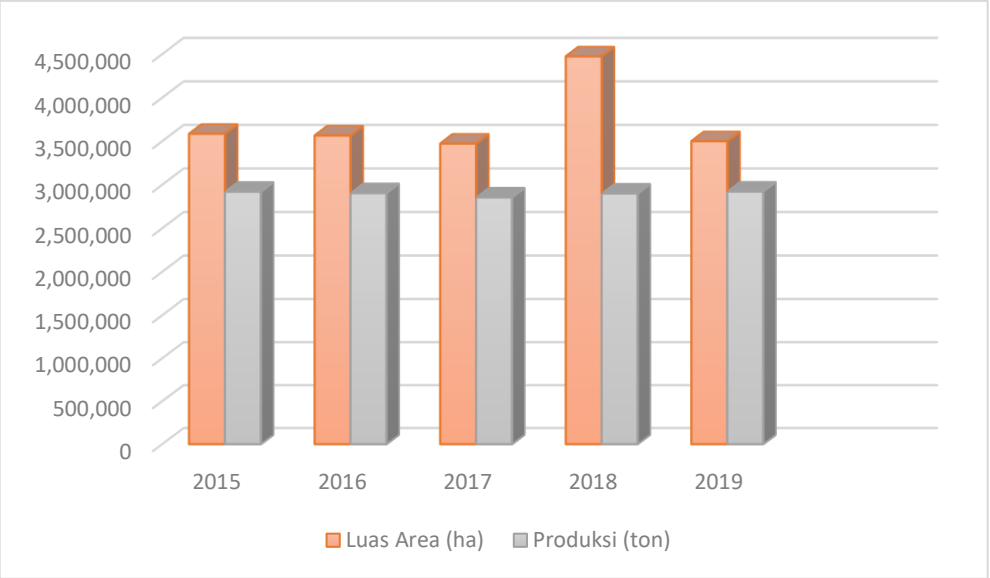
Kemajuan sektor industri dewasa ini bukan hanya diukur oleh kuantitas produksi per tahunnya. Hal ini karena munculnya *trend* kemajuan berkelanjutan yang menjadi aspek penting bagi para pelaku industri untuk mengkaji ulang industri dan ekonomi yang memperhatikan faktor lingkungan mulai dari efesiensi bahan baku, minimalisasi limbah sampai transisi ke produk yang lebih ramah lingkungan. Oleh karena itu diperlukan suatu inovasi terus menerus untuk mendukung fase keberlanjutan khusunya dalam aspek lingkungan yang sejalan dengan kemajuan pada sektor industri demi kemajuan ekonomi negara. Salah satu inovasi yang sedang naik daun adalah inovasi produk dengan penggunaan bahan baku limbah yang dulunya tidak terpakai namun seiring berjalannya teknologi, semakin banyak muncul metode pengolahan limbah menjadi bahan yang lebih bernilai

Lignoselulosa pada sabut kelapa merupakan salah satu sumber bahan baku terbarukan yang jumlahnya melimpah, namun jarang digunakan karena termasuk limbah. Lignoselulosa memiliki peran yang signifikan di bidang industri dan ekonomi karena pada umumnya kandungannya dapat banyak dimanfaatkan. Pada setiap produksi sabut kelapa akan menghasilkan limbah 35% sabut, 12% tempurung, 28% daging buah, dan 25% air kelapa (Akbar, 2011). Adapun kandungan utama lignoselulosa dari sabut kelapa adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Sabut kelapa merupakan salah potensi alam yang dimiliki oleh Indonesia yang jumlahnya cukup melimpah dan menjadi salah satu penyumbang terbesar di dunia. Tercatat Indonesia menghasilkan 19.4 juta ton pada tahun 2017 yang menjadikan Indonesia menjadi penghasil kelapa nomor 1 di dunia. Kebun kelapa di Indonesia telah tersebar di beberapa pulau, Adapun persebarannya dapat ditunjukkan pada **Gambar I.1** sebagai berikut :



Gambar 1.1 Penyebaran Kelapa di Indonesia Tahun 2007
(Sumber : Basri, 2007)

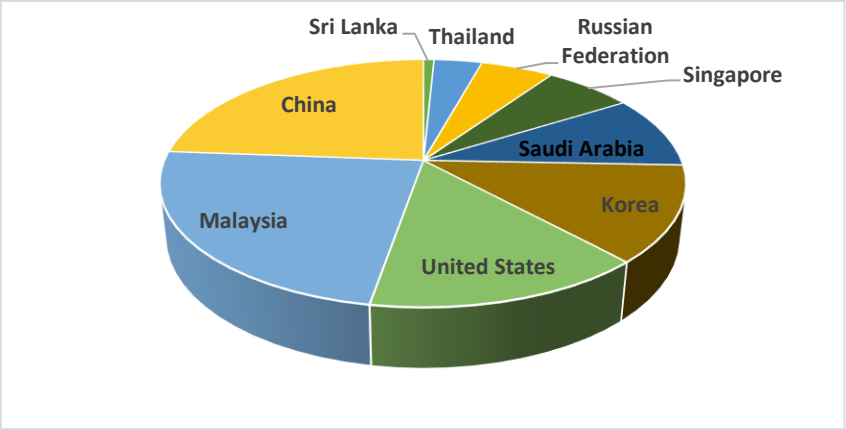
Saat ini kepala merupakan hasil komoditasnya dapat yang dimanfaatkan dan nilai konsumsinya cenderung meningkat, hal ini dapat dilihat dari data luas area dan produksi kelapa di Indonesia pada **Gambar 1.2** sebagai berikut :



Gambar 1.2 Luas Area dan Produksi Kelapa di Indonesia Tahun 2015-2019
(Sumber : Statistik perkebunan Indonesia komoditas kelapa, 2019)

Berdasarkan *Food Agriculture Organization* (FAO) pada tahun 2010, produksi kelapa di Indonesia sekitar 15,4 miliyar/tahun dengan kebutuhan rumah tangga sekitar 1,53 miliyar butir dan industri 9,6 miliyar butir, sehingga surplus kelapa sebesar 4,5 miliyar butir/tahun. Berdasarkan Himpunan Industri Pengolahan Kelapa Indonesia (HIPKI) pada tahun 2015, Indonesia memiliki sekitar 62 industri pengolahan kelapa dan 500 industri sabut kelapa kecil dan menengah. Harga kelapa di Indonesia berkisar antara 600 – 1.100/butir. Berdasarkan data Kementrian Pertanian, ekspor kelapa dalam periode Januari – Mei 2020 telah mencapai 463,5 ribu ton yang telah tersebar di 6 benua. Indonesia banyak melakukan ekspor kelapa di beberapa negara yang digunakan untuk berbagai jenis produk olahan yang dihasilkan yaitu salah satunya sabut kelapa sebesar 12,29%. Data ekspor kelapa dan sabut kelapa di Indonesia pada tahun 2012 hingga 2017 yang ditunjukkan pada **Gambar 1.3** serta data negara eksportir kelapa di Indonesia pada tahun 2019 yang ditunjukkan pada **Gambar 1.4** sebagai berikut :

Gambar 1.3 Ekspor Kelapa dan Sabut Kelapa Tahun 2012-2017
(Sumber : Suhendra, 2018)



Gambar 1.4 Data Negara Ekportir Kelapa di Indonesia Tahun 2019
(Sumber : Direktorat Jenderal Pengembangan Ekspor Nasional, 2020)

Pada lignoselulosa dari sabut kelapa kandungan utama yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Kandungan tersebut menjadi nilai tambah dan memiliki nilai ekonomi yang tinggi untuk produksi berbagai produk serta limbah lignoselulosa tidak menyebabkan persaingan di pangan dan sumber energi. Berikut ini adalah data impor dan ekspor pada selulosa yang merupakan salah satu kandungan dari sabut kelapa pada tahun 2010 hingga 2013 yang ditunjukkan pada **Tabel 1.1**.

Tabel 1.1 Data Impor dan Ekspor Selulosa di Indonesia Tahun 2010-2013
(Sumber : United Nations Comtrade Database, 2013)

Tahun	Impor (ton)	Ekspor (ton)
2010	20.966	351
2011	21.719	326
2012	23.003	179
2013	23.701	242

Pengolahan produk dari lignoselulosa memiliki nilai cukup tinggi karena memiliki potensi sebagai bahan baku untuk menghasilkan suatu produk, salah satunya yang yaitu *pulp*, *Carboxy Methyl Cellulose* (CMC), bioethanol, pupuk, dan berbagai produk lainnya. Aspek pasar dengan bahan baku lignoselulosa memiliki nilai produk yang baik karena telah banyak terdapat ekspor dan impor dari produk yang dihasilkan yang akan ditunjukkan pada **Tabel 1.2** sebagai berikut :

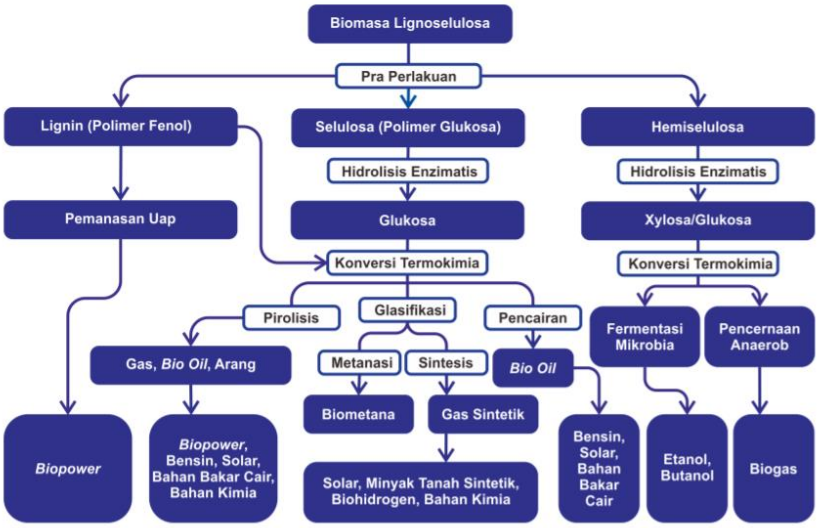
Tabel 1.2 Ekpor dan Impor dari Produk Lignoselulosa

Produk	Ekspor	Impor	Sumber
Pulp	270.813.350	307.525.368	Kementrian Perindustrian Republik Indonesia, 2020
Bioethanol	2765,29	4364,97	BPS, 2017
CMC	919	33556	BPS, 2017

I.1.2 Konsumsi

Sabut kelapa berpotensi dikonsumsi oleh masyarakat dari kandungannya sebagai *pulp* dan kertas, karbon dan media tumbuh. Salah satu limbah yang dihasilkan dari industri kelapa adalah sabut kelapa yang termasuk dalam biomassa lignoselulosa. Lignoselulosa merupakan komponen organik yang berlimpah di alam yang dapat menjadi sumber yang penting untuk menghasilkan produk yang bermanfaat seperti gula, bahan kimia, bahan cair, dan berbagai konversi biomassa lainnya. Lignoselulosa merupakan substrat terbanyak yang belum

dimanfaatkan dan diproduksi secara maksimal. Lignoselulosa dari sabut kelapa menjadi salah satu sumber energi alternatif yang ramah lingkungan.



Gambar 1.5 Beberapa Potensi Produk Lignoselulosa
(Sumber : Ruamsook & Thomchick, 2014)

Berbagai potensi konsumsi yang dihasilkan oleh lignoselulosa salah satunya konsumsi *bioethanol* di Indonesia dari 2011 hingga 2015 sebesar 325.680 ton (Indexmundi.com, 2017). Konsumsi CMC (*Carbonxy Methyl Cellulose*) di Indonesia sebesar 32.639 ton (BPS 2017). Selulosa merupakan komponen terbesar pada lignoselulosa yang berpotensi sebagai energi yang terbarukan untuk pengganti energi fosil, serta dapat diolah menjadi asam organik, pelarut, pelumas,dan polimer. Produk hemiselulosa dapat diolah menjadi produk turunan seperti xilosa. Produk lignin dapat digunakan untuk produksi perekat, sodium lignosulfonate, dan biosurfaktan karena memiliki kemurnian tinggi, berat molekul yang rendah, dan reagen organik mudah di daur ulang (Yani dkk, 2021). Standardisasi juga menjadi hal penting untuk dilakukan dalam suatu produksi untuk menjamin mutu dan kualitas sesuai dengan produksi nasional dan merupakan salah satu syarat sertifikasi, dalam hal ini produksi lignoselulosa menjadi CMC dan *pulp* diatur dalam SNI 0444:2009 oleh Badan Standardisasi Nasional terkait cara uji *pulp* berdasarkan kadar selulosa (BSN, 2009)

I.2. Teknologi Produksi dan Seleksi Proses

Pengolahan pabrik lignoselulosa dengan produk yang diinginkan yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin perlu diketahui teknologi produksi. Sehingga dibutuhkan proses pengolahan lebih lanjut menggunakan bahan baku berupa lignoselulosa.

I.2.1. Teknologi Produksi

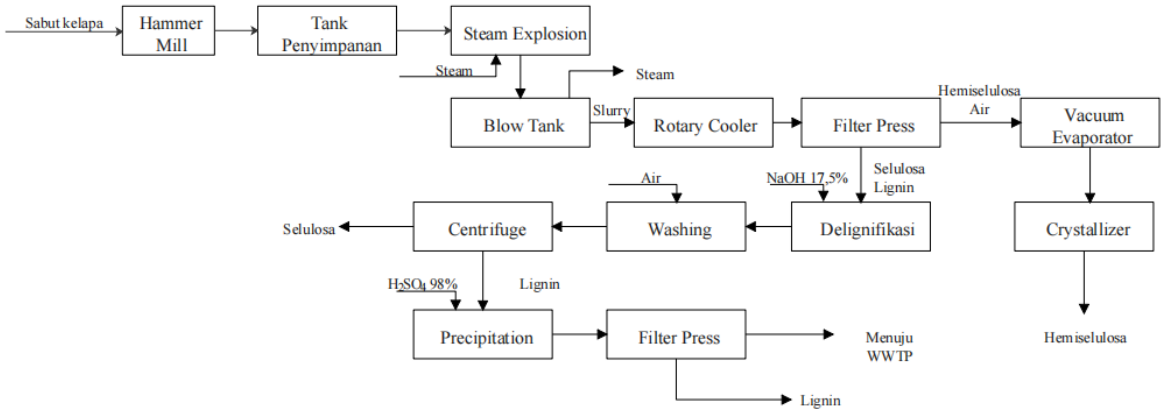
Proses pengolahan lignoselulosa menjadi produk *intermediate* diharapkan memiliki komposisi sebesar 34% selulosa, 20% hemiselulosa, dan 38% lignin serta 8% air (Darojati., dkk, 2018). Untuk memperoleh komposisi yang demikian, maka dibutuhan proses pengilahan yang dapat dilakukan melalui beberapa metode yang digunakan, yaitu:

1. Proses *steam explosion* dilanjutkan dengan delignifikasi
2. Proses *ionic liquid* (ILs)
3. Proses *liquid hot water*

I.2.1.1. Gabungan *Steam Explosion* – Delignifikasi dengan NaOH

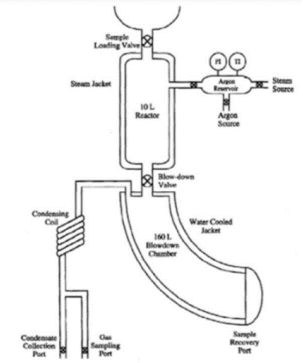
Gabungan metode ini dimulai dari *Steam explosion* yang merupakan suatu metode *pretreatment* gabungan secara fisika dan kimia. Pada metode ini, biomassa lignoselulosa diberi tekanan uap tinggi, selanjutnya tekanan dikurangi secara tiba-tiba yang menyebabkan terjadinya dekompresi eksplosif pada biomassa lignoselulosa. Tekanan yang dikurangi secara

tiba-tiba menyebabkan ledakan dekompresi yang mengakibatkan serat atau komposisi biomassa lignoselulosa terpisah. Proses ini biasanya menggunakan suhu 160^{o}C-260^{o}C dengan tekanan 0,69-4,83 MPa sebelum biomassa lignoselulosa dipapar pada tekanan atmosfer. Dalam proses *steam explosion*, dapat menyebabkan degradasi pada hemiselulosa dan perubahan lignin sehingga dapat meningkatkan laju hidrolisis selulosa (Menon dan Rao, 2012).

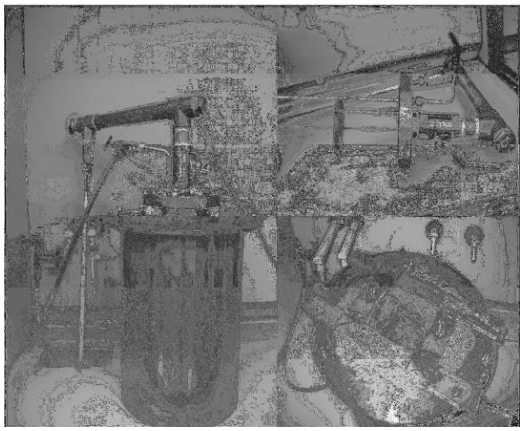


Gambar 1.6 Proses Gabungan *Steam Explosion* – Delignifikasi dengan NaOH

Metode operasi dari *steam explosion* pada umumnya memakai proses *batch* pada skala laboratorium untuk percobaan, namun telah banyak usaha yang dilakukan untuk mentransformasi metode operasi menjadi proses *continuous* pada skala industri yang lebih besar untuk mendapatkan proses kontrol yang lebih baik pada berbagai macam operasi, perpindahan panas yang lebih efesien, dan hasil akumulasi dari *byproduct* yang lebih rendah. (Varga, 2004). Pada prinsipnya, biomassa/lignoselulosa ditempatkan kedalam reaktor dengan kemudian katup ditutup dan *steam* dimasukkan ke dalam bejana yang tekanannya telah ditentukan sebelumnya. Setelah waktu tertentu, *saturated steam biomass* akan dilepaskan ke dalam tangki pembuangan “blow down chamber”. (Turn, 1998)



Gambar 1.7 Reaktor *Batch Steam Explosion*
(Sumber : Turn dkk., 1998)



Gambar 1.8 *Batch Steam Explosion* pada Skala Laboratorium
(Sumber : Jedvert dkk., 2012)

Dalam proses *steam explosion* terdapat kelebihan dan kekurangan sebagai berikut (Avellar dan Glasser, 1998 dan Tomas-Pejo et.al., 2011). :

a. Kelebihan *steam explosion*
   - Dampak terhadap lingkungan rendah, karena rendahnya hasil waste
   - Modal investasi yang diperlukan kecil
   - Efisiensi energi lebih baik
   - Dapat menggunakan bahan yang berukuran besar

b. Kekurangan *steam explosion*
   - Terdapat bahan beracun yang dihasilkan selama proses degradasi gula yang mempengaruhi tahap hidrolisis dan fermentasi.
   - Hemiselulosa mudah terdegradasi jka tidak disertai dengan kontrol suhu yang mengakibatkan munculnya *furfural* dan *HMF*
   - Suara yang bising

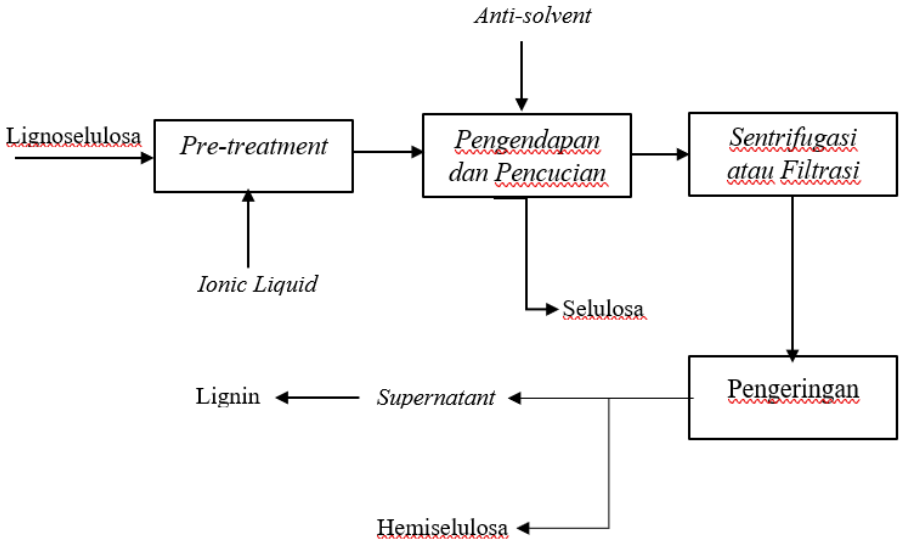
Selanjutnya, dilanjutkan dengan proses delignifikasi yang merupakan metode delignifikasi biomassa menggunakan pelarut organik seperti etanol, NaOH, dan aseton untuk mengisolasi lignin dari lignoselulosa serta memisahkan rantai hemiselulosa-lignin melalui pencampuran bahan kimia organik dan pemanasan pada suhu 121^{o}C. Proses delignifikasi dilakukan dengan menggunakan senyawa organik dengan molekul ringan dengan suhu dan tekanan atmosfer yang lebih rendah. Hasil proses gabungan ini nantinya akan menghasilkan 3 jenis produk yaitu aliran liquid dengan hemiselulosa, aliran solid kaya selulosa, dan aliran solid lignin dengan kemurnian tinggi.

I.2.1.2.*Ionic Liquid* (ILs)

Ionic Liquid (ILs) merupakan sebuah garam berfasa cair yang terdiri dari kation (organik) dan anion (anorganik atau senyawa organik yang bermuatan negatif) dengan tidak simetri kationik yang rendah dan titik leleh dibawah 100^{o}C. ILs mampu memecahkan jaringan ikatan hidrogen pada polisakarida secara ekstensif. Sifat ILs berbeda dari pelarut organik umum lainnya, dimana ILs dapat berubah sesuai dengan berbagai tingkat delokalisasi muatan anion dan panjang dan simetri konstituen alkil kation. Pusat kationik menggunakan nitrogen dan fosfor yang bermuatan positif. (Yani, 2021). ILs sebagai pelarut dalam proses fraksinasi sabut kelapa dengan memisahkan selulosa, hemiselulosa, dan lignin dengan tidak mengubah komposisi dari sabut kelapa. Adapun sifat-sifat dari ILs sebagai berikut (Bensah dan Moses, 2013) :

1. Tidak mudah terbakar
2. Fase cair pada suhu kamar
3. Meningkatkan sifat antielektrostatik
4. Tahan api dari kayu

5. Volatilitas rendah
6. Stabilitas termal yang tinggi hingga suhu 300ºC
7. Konduktivitas listrik tinggi
8. Sifat pelarut tinggi

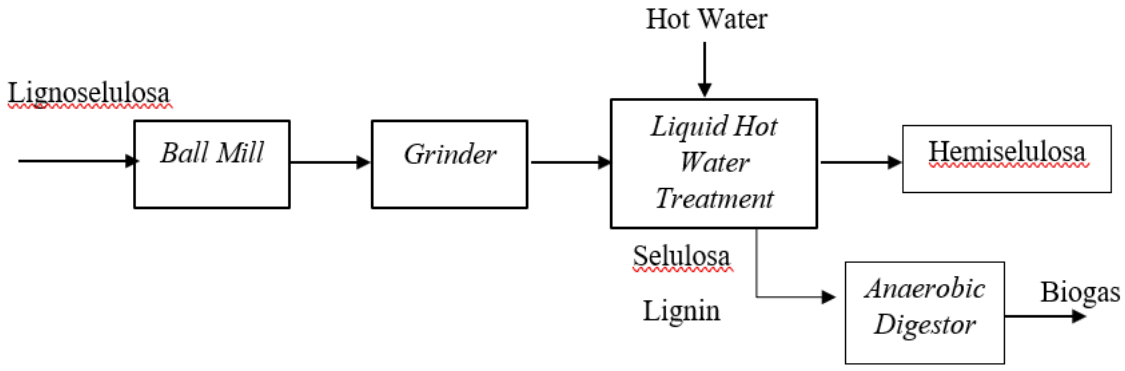


Gambar 1.9 Proses *Ionic Liquid*
(Sumber : Novita dan Tjioe ; Yani dkk, 2021)

Proses pemutusan ikatan pada selulosa dengan menyerang atom oksigen dan hidrogen dari gugus hidroksil selulosa. Proses pelarutan selulosa terjadi karena adanya interaksi antara anion dalam ILs dengan proton dalam hidroksil selulosa, sehingga terbentuk ikatan hidrogen. Pelarutan selulosa menggunakan anti-solven seperti etanol, methanol, aseton, dan air. Interaksi antara anion dan proton tersebut menyebabkan ikatan hidrogen rusak dan terbukanya ikatan hidrogen dengan ikatan molekul pada selulosa, dan lalu terputus sehingga selulosa, hemiselulosa, dan lignin terpisah.

I.2.1.3. *Liquid Hot Water*

Liquid Hot Water (LHW) salah satu metode yang menggunakan air pada suhu tinggi dan tekanan tinggi sehingga air mempertahankan bentuk cairnya, Suhunya dapat mencapai 180–230 °C dengan waktu kontak dari beberapa menit hingga satu jam dan konsentrasi padatan <20 % berat. Dalam proses ini biomassa direndam dalam air cair (Rogalinski dkk. 2008). LHW mampu melarutkan hingga 80% hemiselulosa dan memisahkannya dari residu selulosa dan lignin. Secara khusus, Air menembus ke dalam struktur sel biomassa melarutkan hemiselulosa dan dialirkan pada saat yang sama dengan perubahan matriks lignoselulosa, menghasilkan selulosa yang lebih mudah diakses (Laser dkk. 2002). setelah pretreatment LHW, dua produk terbentuk: hemiselulosa terlarut dan fraksi padat yang mencakup lignin dan selulosa yang harus diisolasi dari fraksi lignin. Dalam LHW, pembelahan O-asetil dan asam uronat menghasilkan asam organik (seperti asam asetat) yang membantu meningkatkan hidrolisis polisakarida menjadi monosakarida larut yang kemudian sebagian terdegradasi menjadi inhibitor lain (furfural dan HMF)



Gambar 1.10 Proses *Liquid Hot Water*
(Sumber : Juan Camilo dkk, 2018)

I.2.2. Seleksi Proses

Dalam menentukan proses yang akan digunakan, beberapa parameter perlu diperhatikan sebagai bahan pertimbangan. Beberapa parameter dalam pemilihan proses adalah:

1. Bahan Baku

   Pada ketiga proses dapat dilihat bahwa bahan baku utama yang diperlukan tidak jauh dari bahan baku yang sudah tidak terpakai seperti *peanut and poplar, sawdust, corn stover,* dan *coconut coir*. Namun bahan baku yang digunakan dalam proses *steam explosion* adalah sabut kelapa. Sedangkan proses lainnya dapat menggunakan bahan baku *Hard wood, bagasse, sunflower, municipal solid waste*

2. Kemampuan Degradasi

   Kemampuan degradasi pada *Steam Explosion* – Delignifikasi dengan NaOH dapat menghasilkan hemiselulosa yang terdegradasi secara parsial dan terjadi delignifikasi, namun jika menggunakan *Ionic Liquid* akan menyebabkan degradasi selulosa yang sangat rentan membuat enzim mudah ternonaktifkan sehingga lignin dan hemiselulosa tidak terpisah. Lalu dengan *Liquid Hot Water* terjadi degradasi dengan melarutkan 80% hemiselulosa namun selulosa dan lignin tidak terpisah

3. Kondisi Suhu

   Pada keempat proses, dapat dilihat bahwa pemecahan awal struktur biomass khususnya pada pemecahan *microfibril* memerlukan suhu yang cukup tinggi. Hal ini dikarenakan struktur Sabut kelapa yang cukup rapat sehingga dibutuhkan suhu dan tekanan tinggi untuk memecah lignoselulosa. Pada *steam explosion* - Delignifikasi dengan NaOH suhu yang diperlukan adalah 160-260^{o}C, dilanjutkan dengan proses *delignifikasi* dengan suhu 121^{o}C sedangkan pada suhu di proses lainnya suhunya relatif lebih rendah

4. Waktu Proses

   Pada *steam explosion* - Delignifikasi dengan NaOH, waktu yang dibutuhkan relative lebih singkat, hanya memerlukan waktu 1 jam maksimal, efesiensi waktu adalah penting untuk mencapai efesiensi proses. Sedangkan pada proses lainnya dapat memakan waktu cukup lama, pada *liquid hot water* dan *ionlic liquid* dapat memakan waktu lebih dari berjam jam bahkan untuk sekali proses

5. *Product Yield*

   Konversi dari Lignoselulosa adalah hemiselulosa, selulosa, dan lignin, dimana hal ini juga mempengaruhi *yield* pada *sugar recovery*. Pada parameter ini hemiselulosa dapat menghasilkan *product* yield. Pada proses *steam explosion* – Delignifikasi dengan NaOH, *yield* yang didapat adalah Selulosa = ± 95%, Hemiselulosa = ± 88%, Lignin = ± 70% sedangkan pada proses *ionic water* yield yang didapat adalah Selulosa = ± 96%, Hemiselulosa = ± 92%, Lignin = ± 52% dan

pada proses *liquid hot water* dapat mencapai yield Selulosa = ± 88%, Hemiselulosa = ± 80%, Lignin = ± 48% namun tidak bisa memisahkan selulosa dan lignin secara maksimal

6. Biaya

   Biaya alat, bahan, dan maintenance perlu diperhatikan dalam pemilihan sebuah proses, pada proses *steam explosion* - Delignifikasi dengan NaOH biaya yang dikeluarkan relative lebih murah dibandingkan metode lainnya karena kebutuhan energi tidak besar dan pelarut NaOH lebih ekonomis. Pada *ionic liquid*, haraganya cukup mahal karena membutuhkan chemical substituent. Lalu pada *liquid hot water* memerlukan biaya yang relative mahal karena membutuhkan kebutuhan air yang cukup besar

7. Klasifikasi Produk

   Pada proses *Steam Explosion* - Delignifikasi dengan NaOH produk yang dihasilkan adalah degradasi lignoselulosa mengashilkan hemiselulosa *liquid* beserta isolasi lignin dari selulosa *slurry* dengan fase cair. Pada proses *Ionic Liquid*, produk Selulosa yang dihasilkan menjadi sangat viscous dan hemiselulosa lignin tidak terpisah. Lalu pada proses *Liquid Hot* Water, Hemiselulosa ter-recovery, lignin selulosa tidak terpisah

   Berdasarkan uraian proses dan parameter yang telah dijelaskan, dapat disimpulkan perbandingan dari masing - masing proses disajikan pada **Tabel 1.3.**

Tabel 1.3 Perbandingan Proses *Pretreatment* Lignoselulosa dari Sabut Kelapa

Parameter	**Macam-Macam Proses**		
	Steam Explosion - Delignifikasi	***Ionic Liquid***	***Liquid Hot Water***
Bahan Baku Utama	*Wheat straw, corn stalk, sugarcane, coir*	*Bagasse, poplar sawdust, peanut*	*Hard wood, sunflower, municipal solid waste*
Kemampuan Degradasi	Hemiselulosa terdegradasi parsial dan terjadi delignifikasi	Degradasi selulosa sangat rentan membuat enzim mudah ternonaktifkan	Degradasi dengan melarutkan 80% hemiselulosa
Kondisi suhu	121-200^{o}C	90-130^{o}C	160-200^{o}C
Waktu proses	1 jam	2 jam	1-2 jam
Yield Produk	Selulosa = ± 95% Hemiselulosa=±88% Lignin = ± 70%	Selulosa = ± 96% Hemiselulosa = ± 92% Lignin = ± 52%	Selulosa = ± 88% Hemiselulosa = ± 80% Lignin = ± 48%

Parameter	Macam-Macam Proses		
	Steam Explosion - Delignifikasi	***Ionic Liquid***	***Liquid Hot Water***
Biaya	Ekonomis karena kebutuhan energi tidak besar dan pelarut NaOH tidak mahal	Mahal karena membutuhkan *chemical substituent*	Mahal karena membutuhkan kebutuhan air yang cukup besar
Produk	Degradasi dengan hemiselulosa liquid dan isolasi lignin dari selulosa *slurry*	Selulosa sangat *viscous* dan hemiselulosa lignin terpisah dengan supernatant dengan yield yang kecil	Hemiselulosa ter-*recovery*, lignin selulosa tidak terpisah

Dari perbandingan diatas maka metode yang paling cocok untuk digunakan adalah *Steam Explosion - Delignifikasi* karena memberikan produk yang sesuai dengan hasil degradasi lignoselulsoa, yaitu hemiselulosa yang tidak terdegradasi keseluruhan, terdapat pemisahan selulosa dan lignin melalui delignifikasi dnegan pelarut organik, dan semua hasilnya dapat berupa fase padat. Selain itu proses *Steam Explosion - Delignifikasi* relatif Eknomis karena kebutuhan energi tidak besar dan pelarut NaOH tidak mahal dan memerlukan waktu yang relatif seingkat sehingga sangat cocok digunakan untuk membuat pabrik dengan spesifikasi tertentu secara efektif dan efesien.

BAB II
DATA DASAR PERANCANGAN

II.1. Ketersediaan dan Kualitas Bahan Baku dan Produk

II.1.1 Bahan Baku

Sabut kelapa merupakan material yang berserat penyusunan bagian *mesocarp* yang tebal di lapisan tengah buah kelapa. Kelapa mengandung 65% berat kernel (tempurung, daging buah, dan air) dan 35% berat sabut kelapa (Purwati dan Sulis, 2015). Sabut kelapa merupakan salah satu bahan yang murah dan memiliki potensial produksi yang tinggi. Rata-rata sabut kelapa kering memiliki nilai kerapatan (ρ_{coir}) sekitar 1,2-1,3 g/cm^3.

Gambar 2.1 Sabut Kelapa

Sabut kelapa tersusun dari beberapa zat penting yang dapat dimanfaatkan dan diolah menjadi bahan lain yang memiliki nilai ekonomi yang tinggi dan termasuk dalam biomassa lignoselulosa. Lignoselulosa pada umumnya memiliki sifat keras, cukup padat dan tahan dari degradasi. Komponen utamanya terdiri dari hemiselulosa dan selulosa, selain itu komposisi lain abu, protein, dan pektin. Komposisi pada lignoselulosa akan berbeda-beda bergantung kepada sifat fisik dan komposisi. Lignoselulosa memiliki densitas sebesar 715 kg/m^3. Struktur substratnya juga berubah-ubah tergantung kondisi proses seperti fermentasi, konduksi panas, kadar kelembaban, dan transfer massa O_2 (Kuila dan Vinay. 2017). Kandungan utama pada lignoselulosa adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Komposisi zat penyusun dari lignoselulosa pada sabut kelapa ditunjukkan pada **Tabel 2.1** dan spesifikasi bahan baku akan ditunjukkan pada **Tabel 2.2** sebagai berikut :

Tabel 2.1 Komposisi Zat Penyusunan Lignoselulosa pada Sabut Kelapa
(Sumber : Darojati., et al, 2018; Mulyawan dan Eny, 2015; Gustinenda, dan Kautsar, 2017)

Komposisi	Komposisi
Selulosa	26,6 - 43,44%
Lignin	32,8 – 45,84%
Hemiselulosa	17,74 – 38%
Air	8%

Tabel 2.2 Spesifikasi Kimia Sabut Kelapa
(Sumber : Prado et al, 2014)

Spesifikasi	% massa
Moisture	10,66 ± 0,05
Komponen larut air	3,8 ± 0,2
Komponen larut *ethanol*	1,5 ± 0,3
Protein	0,9 ± 0,2
Lignin larut asam	1,61 ± 0,07
Lignin tidak larut asam	33 ± 3

Sedangkan bahan baku tambahan yang digunakan terdiri dari :

1. NaOH (*Natrium Hidroksida*)

   NaOH (Natrium Hidroksida) biasa dikenal sebagai soda kaustik, soda api, atau sodium hidroksida merupakan jenis basa logam kaustik yang digunakan dalam industri, biasanya digunakan sebagai basa dala dalam proses industry bubur kayu dan kertas, tekstil, sabun, dsb. Natrium Hidroksida terbentuk dari oksida basa natrium oksida dilarutkan dalam air.

   a. Rumus molekul : NaOH
   b. Sifat Fisik
      - Berat molekul : 40 g/mol
      - Densitas : 2,13 g/cm^3
      - Titik didih : 1338^{o}C
      - Titik lebur : 318^{o}C
   c. Sifat Kimia
      - Kelarutan dalam air : 1150 g/L (20oC)
      - Larut dalam air, methanol, etanol, larutan ammonia, dan eter

2. H_2SO_4 (Asam Sulfat)

   Asam Sulfat merupakan asam anorganik yang kuat. Asam sulfat yang digunakan bisa konsentrat (pekat) dan encer. Dalam keadaan pekat, sifat oksidator dari asam sulfat kuat dan biasanya digunakan untuk reaksi senyawa-senyawa organik. Asam sulfat 98% lebih stabil dan bentuk asam sulfat yang paling umum. Asam sulfat 98% umumnya disebut sebagai asam sulfat pekat.

   a. Rumus molekul : H_2SO_4
   b. Sifat Fisik
      - Berat molekul : 98 g/mol
      - Densitas : 1,83 g/cm^3
      - Titik didih : 336,85^{o}C
      - Titik leleh : 10,31^{o}C
   c. Sifat Kimia
      - Sebagai asam, asam sulfat bereaksi dengan kebanyakan basa menjadi garam sulfat
      - Reaksi hidrasi asam sulfat bersifat eksotermik

3. Air
   a. Rumus molekul : H_2O
   b. Sifat Fisik
      - Berat molekul : 18 g/mol

- Densitas : 1 g/cm^3
- Titik didih : 100^{o}C
- Titik lebur : 0^{o}C

c. Sifat Kimia
- Pada fase liquid dapat melarutkan zat-zat kimia lain
- pH : 7

II.2.2 Produk

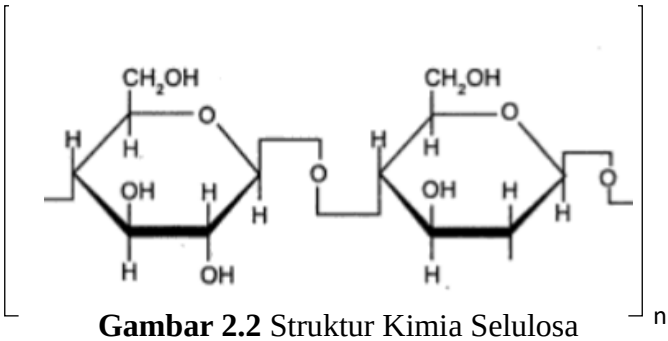
Komponen utama dalam bahan lignoselulosa adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Bahan lignoselulosa dengan komponen terbesar adalah selulosa (35-50%), hemiselulosa (20-35%) dan lignin (10-25%) (B.C. Saha, 2004).

a) Selulosa

Selulosa merupakan bahan organik dengan rumus kimia $(C_6H_{10}O_5)n$ yang berfungsi sebagai bahan penguat yang dominan dalam struktur di tumbuhan. Nilai n merupakan jumlah pengulangan unit gula atau derajat polimerisasi, jenis selulosa pada sabut kelapa yaitu selulosa α. Selulosa hampir tidak pernah ditemui dalam keadaan murni di alam, melainkan selalu berikatan dengan bahan lain seperti lignin dan hemiselulosa. Selulosa merupakan polimer glukosa dengan ikatan β-1,4 glukosida dalam rantai lurus (Sutini, dkk. 2019). Selulosa memiliki densitas sebesar 1500 kg/m^3 Struktur yang linear menyebabkan selulosa bersifat kristalin yang tidak mudah larut dan rantai selulosa memiliki ikatan hidrogen dan gaya Van Der Waals. Berikut ini merupakan sifat-sifat yang dimiliki oleh selulosa yang ditunjukkan pada **Tabel 2.3** yaitu :

Tabel 2.3 Sifat-Sifat Selulosa
(Sumber : Ropiah, 2010)

Sifat Fisik	Sifat Kimia
1. Dapat terdegradasi oleh hidrolisa, oksidasi, fotokimia, dan mekanis yang dapat menghasilkan produk turunan selulosa. 2. Tidak larut dalam air maupun pelarut organik, tetapi larut dalam larutan alkali 3. Bersifat higroskopis, keras dan rapuh jika dalam keadaan kering 4. Selulosa mempunyai stabilitas yang baik terhadap panas. 5. Selulosa mengalami pelunakan pada suhu 231-253^{o}C	1. Reaksi selulosa dengan agen pengembang dapat menyebabkan pengembangan selulosa. 2. Selulosa dapat bereaksi dengan hidrokarbon, alcohol, keton, asam, ester, amida, halogen, hidrazin, dan lainnya. 3. Selulosa dapat bereaksi dengan basa kuat (LiOH > NaOH > KOH > RbOH > CaOH) (Tuhin. 2014).

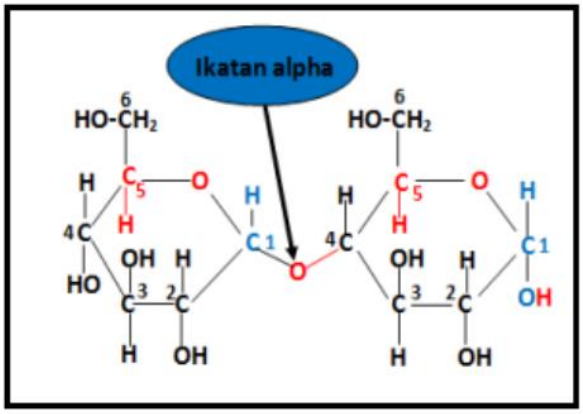


Gambar 2.2 Struktur Kimia Selulosa
(Sumber : Ropiah, 2010)

Selulosa termasuk ke dalam kategori polisakarida sebagai agen biologis. Wujud dari selulosa berupa zat putih dan tidak berbau serta bahan dinding sel serat utama berasal dari jaringan nabati. Selulosa sebagai bahan baku yang membentuk dasar bagi banyak turunan yang dapat digunakan kromatografi, bahan penukar ion, pembuatan bahan peleda, dan ketersediaan dalam bidang farmasi. TLV merupakan besar kosentrasi suatu bahan kimia diudara yang diizinkan memapar manusia yang tidak menyebabkan efek samping pada tubuh. Besar nilai TLV pada selulosa sebesar 10 mg/m^3 serta nilai PEL (OSHA) sebagai batasan paparan yang diizinkan sebesar 15 mg/m^3 (total debu) dan 5 mg/m^3 (fraksi yang terhirup) (haz-map). Selulosa memiliki beberapa jenis berdasarkan derajat polimerisasi dan kelarutan dalam NaOH sebagai berikut (Nuringtyas, 2010).

i. Selulosa α

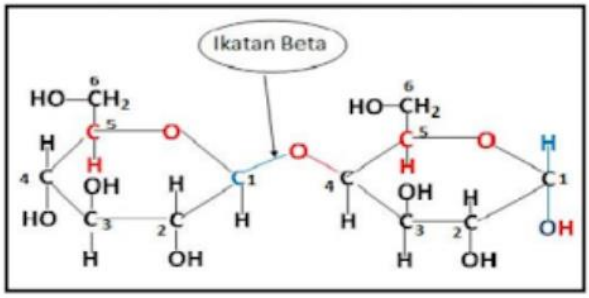
Selulosa α merupakan jenis selulosa yang berantai Panjang, tidak larut dalam larutan NaOH 17,5% atau larutan basa kuat yang derajat polimerisasi 600-1500. Selulosa α digunakan sebagai parameter tingkat kemurnian selulosa dan memiliki kualitas selulosa yang paling tinggi (murni). Semakin besar tingkat kadar selulosa α, maka semakin baik mutu atau kualitas bahannya.



Gambar 2.3 Struktur Kimia Selulosa α
(Sumber : Nuringtyas, 2010)

ii. Selulosa β

Selulosa β merupakan jenis selulosa yang memiliki rantai yang pendek, larut dalam larutan NaOH 17,5% atau basa kuat dengan derajat polimerisasi 15-90, dapat mengendap bila dinetralkan.



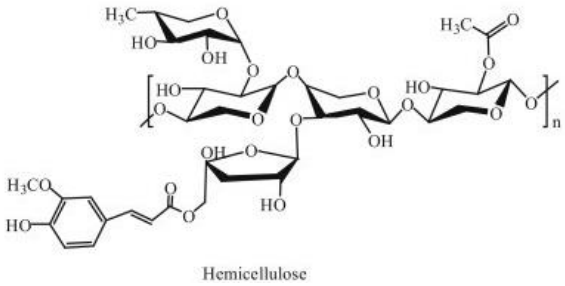
Gambar 2.4 Struktur Kimia Selulosa β
(Sumber : Nuringtyas, 2010)

iii. Selulosa γ

Selulosa γ memiliki sifat yang sama dengan selulosa β, tetapi dapat larut pada basa kuat dengan derajat polimerisasi kurang dari 15 dan tidak terbentuk endapan setelah larutan dinetralkan.

b) Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan salah satu penyusun dinding sel tumbuhan selain selulosa dan lignin yang terdiri dari kumpulan beberapa unit gula atau disebut heteropolisakarida. Hemiselulosa termasuk dalam kategori polisakarida sebagai agen biologis yang memiliki rumus kimia $(C_5H_8O_4)_n$ (Balat 2008). Rantai polimer hemiselulosa bercabang, relatif pendek dengan tingkat rata-rata polimerisasi hemiselulosa berada di kisaran 80-200 (Kuila dan Vinay. 2017). Hemiselulosa memiliki nilai densitas sebesar 1520 kg/m^3. Hemiselulosa relatif mudah dihidrolisis oleh asam menjadi komponen-komponen monomer hemiselulosa yang terdiri dari D-glukosa, D-manosa, D- 11 galaktosa, D-xilosa, L-arabinosa, dan sejumlah kecil L-mannosa disamping menjadi asam D-glukuronat, asam 4-O-metil-D-glukuronat dan asam D-galakturonat (Lathifa, 2017). Hemiselulosa berupa cairan hitam kental dan lengket yang berbau manis. Selulosa adalah kristal, kuat, dan tahan terhadap hidrolisis, sementara hemiselulosa memiliki struktur amorf acak dengan sedikit kekuatan. Sehingga hemiselulosa lebih mudah larut dalam pelarut organik dan sebagian besar dapat larut dalam air dibandingkan dengan selulosa.

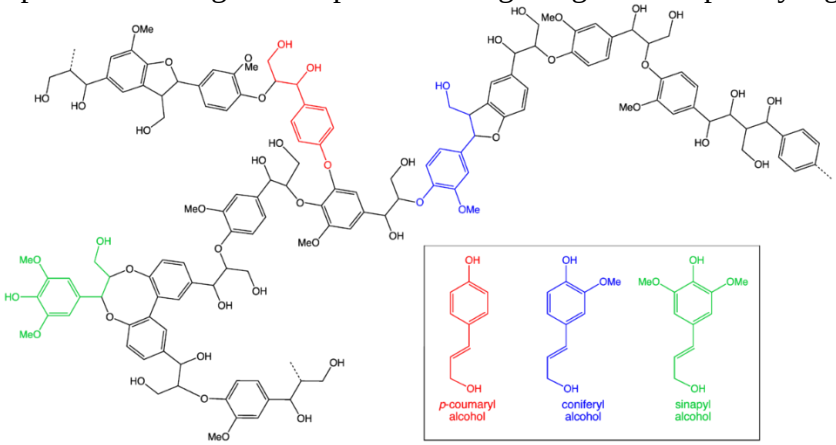


Gambar 2.5 Struktur Kimia Hemiselulosa
(Sumber : Yang dan Xin, 2021)

c) Lignin

Lignin tidak termasuk dalam karbonhidrat namun tersusun atas karbon, hidrogen, dan oksigen (Lathifa. 2017). Rumus kimia dari lignin yaitu $(C_{10}H_{12}O_3)_n$. Lignin memiliki nilai densitas sebesar 1350 kg/m^3.Lignin merupakan suatu polimer yang kompleks yang memiliki berat molekul yang tinggi. Lignin berfungsi untuk memberikan ketegaran pada sel atau rangka dari selulosa pada tanaman. Lignin, polimer

heterogen utama ketiga dalam residu lignoselulosa, adalah molekul yang sangat kompleks yang dibangun dari alkohol aromatik, termasuk unit koniferil alkohol, sinapil dan p-kumaril yang terhubung dalam struktur tiga dimensi (Lathifa. 2017). Lignin tersusun dari tiga jenis unit fenilpropana yang berbeda yaitu p-kumaril, koniferil, dan sinapil alkohol. Lignin berupa lembaran gulung atau bal putih yang tidak berbau.



Gambar 2.6 Struktur Kimia Lignin
(Sumber : Wiktionary.org, 2011)

Dalam proses pemisahan lignin dibutuhkan penambahan H_2SO_4 pekat dan HCl pekat sebagai pereaksi anorganik. Sifat-sifat yang dimiliki lignin sebagai berikut :

1. Lignin bersifat hidrofobik.
2. Ligni mulai terdekomposisi sekitar 200^oC, tetapi lebih stabil terhadap degradasi termal dibandingkan polimer karbonhidrat (Mohar, 2008).
3. Semakin tinggi proporsi lignin maka semakin tinggi ketahanannya terhadap degradasi kimia dan enzimatik.
4. Lignin salah satu kelemahan penggunaan bahan lignoselulosa dalam fermentasi, karena membuat lignoselulosa tahan terhadap degradasi kimia dan biologi

II.2. Kapasitas

Kapasitas produksi diartikan sebagai jumlah maksimal output yang dapat diproduksi dalam satuan waktu tertentu. Pabrik yang didirikan mempunyai kapasitas produksi yang optimal yaitu jumlah dan jenis produk yang akan dihasilkan serta menghasilkan laba yang maksimal dengan biaya minimal. Dalam perancangan Pabrik Fraksinasi Lignoselulosa dari sabut kelapa, kapasitas produksi pabrik menjadi salah satu yang perlu diperhatikan. Peninjauan kapasitas pabrik berdasarkan keterserdiaan bahan baku produksi sabut kelapa di Indonesia pada tahun 2021 dikarenakan produk yang diinginkan bukan merupakan *fine product*, namun berupa *intermediate product.* Produk tengah seperti hemiselulosa, selulosa, dan lignin merupakan produk yang memiliki data terbatas dalam konsumsinya, sehingga perlu dilakukan pendekatan terdekat untuk dapat mendefinisikan kapasitas produksi dalam merancang suatu pabrik. Data kapasitas produksi yang dimaksud dapat ditunjukkan pada **Tabel 2.4.**

Tabel 2.4. Data Produksi Kelapa dan Sabut Kelapa di Indonesia pada Tahun 2017-2021
(Sumber : Direktorat Jenderal Perkebunan, 2019).

Tahun	Produksi		%Pertumbuhan
	Kelapa	Sabut kelapa	
2017	2.854.300	999.005	
2018	2.840.148	994.052	-0,0050

Tahun	Produksi		%Pertumbuhan
	Kelapa	Sabut kelapa	
2019	2.839.852	993.948	-0,0001
2020	2.811.954	984.184	-0,0098
2021	2.777.530	972.136	-0,0122
Rata-Rata Pertumbuhan			-0,0068

Pabrik direncanakan akan mulai beroperasi pada tahun 2024. Berdasarkan **Tabel 2.4.** dapat diperkirakan bahwa kapasitas bahan baku pabrik dengan cara regresi linear. Perkiraan ketersediaan bahan baku lignoselulosa dari sabut kelapa pada tahun 2025 dapat diprediksi sebagai berikut:

$$F = F_o(1+i)^n$$
$$F = 972.136\ (1+(-0{,}0068))^{2025-2021}$$
$$F = 946.030\ ton/tahun$$

Keterangan :

F = Perkiraan kebutuhan biomassa sabut kelapa pada tahun 2025 (ton)

F_o = Kebutuhan biomassa sabut kelapa 2021 (ton)

i = Pertumbuhan rata-rata

n = Selisih waktu (tahun)

Berdasarkan **Tabel 2.4** diperoleh perkiraan ketersediaan bahan baku biomassa sabut kelapa pada tahun 2025 sebesar 946.030 ton/tahun. Berdasarkan kajian analisis finansial maupun ekonomi di tingkat industri. Kapasitas dapat diketahui berdasarkan produk, salah satunya selulosa yang akan dihasikan berupa data produksi, ekspor, impor, dan konsumsi yang ditunjukkan pada **Tabel 2.5.**

Tabel 2.5. Data Ekspor Selulosa di Indonesia

	Ekspor	
Tahun	Ekspor	%Pertumbuhan
2010	351	
2011	326	-0,0712
2012	179	-0,4509
2013	242	0,3519
Pertumbuhan rata-rata	-0,0567	

Berdasarkan **Tabel 2.5,** diperoleh prediksi jumlah ekspor selulosa di Indonesia pada tahun 2024 adalah :

$$F = F_o(1+i)^n$$
$$F = 242(1+(-0{,}0567))^{2025-2013}$$
$$F = 120{,}1\ ton/tahun$$

Keterangan :

F = Prediksi jumlah selulosa di Indonesia pada tahun 2025 (ton)

F_o = Jumlah ekspor selolsa di Indonesia 2013 (ton)

i = Pertumbuhan rata-rata

n = Selisih waktu (tahun)

Tabel 2.6. Data Konsumsi Selulosa di Indonesia

	Konsumsi = Impor	
Tahun	**Konsumsi**	**%Pertumbuhan**
2010	20.966	
2011	21.719	0,0359
2012	23.003	0,0591
2013	23.701	0,0303
Pertumbuhan rata-rata	0,0417	

Berdasarkan **Tabel 2.6,** diperoleh prediksi jumlah konsumsi selulosa di Indonesia pada tahun 2024 adalah :

$$F = F_o(1+i)^n$$
$$F = 23.701(1+0{,}0417)^{2025-2013}$$
$$F = 38.738\ ton/tahun$$

Keterangan :

F = Prediksi jumlah konsumsi selulosa di Indonesia pada tahun 2025 (ton)

F_o = Jumlah konsumsi selolsa di Indonesia 2013 (ton)

i = Pertumbuhan rata-rata

n = Selisih waktu (tahun)

Karena diasumsikan bahwa jumlah konsumsi sama dengan jumlah impor karena diharapkan tahun 2025 tidak terdapat impor serta di Indonesia tidak ada pabrik selulosa yang didirikan sehingga tidak memiliki data produksi selulosa. Sehingga berdasarkan data prediksi neraca selulosa pada tahun 2025 sehingga dapat dihitung peluang kapasitas produksi nasional pada tahun tersebut adalah :

Kapasitas Nasional = (Ekspor + Konsumsi) – (Produksi + Impor)
= (127,3 + 37.184,4) ton / tahun
= 37.312 ton / tahun

Dalam menentukan kapasitas pabrik lignoselulosa yang akan didirikan, perlu diperhatikan aspek kapasitas produksi lain yang beroperasi pada tahun 2025 dengan kapasitas produksi beragam, aspek ketersediaan bahan baku lignoselulosa dari sabut kelapa, serta aspek target pemasaran yang ada disekitar lokasi pabrik. Sebagai bahan pertimbangan, perlu diketahui kapasitas produksi di dunia salah satunya selulosa dikarenakan di Indonesia tidak ada pabrik lignoselulosa dari sabut kelapa yang akan ditunjukkan pada **Tabel 2.7**.

Tabel 2.7. Daftar Perusahaan Selulosa dan Kapasitas Produksi Selulosa di Dunia per Tahun.

Nama Pabrik Selulosa	**Kapasitas (ton/tahun)**
China RuiTai International Holdings Co.Ltd	10.500
Sateri Holdings Limited	485.000
ChangFeng Chemical Co., Ltd.	4.000
Daicel Corporation	29.0000
Rayonier Inc	745.000

Berdasarkan **Tabel 2.7**, diketahui bahwa setiap perusahaan atau pabrik memiliki kapasitas produksi yang berbeda. Dalam upaya mengurangi ketergantungan impor produk salah satunya selulosa pada tahun 2025 dan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, maka kapasitas yang digunakan adalah kapasitas bahan baku sabut kelapa dikarenakan dalam hasil produksi pabrik ini berupa *intermediate* produk dan terbagi menjadi 3 yaitu Selulosa, Hemiselulosa, dan Lignin. Sehingga dalam menentukan kapasitas menggunakan bahan baku yaitu 33.000 ton/tahun dengan basis waktu operasi 330 hari kerja/tahun dan waktu kerja pabrik selama 20 jam/hari dengan umur pabrik selama 20 tahun.

Dalam penentuan umur pabrik, dapat ditinjau dengan ketersediaan bahan baku yaitu sabut kelapa dalam rentang umur pabrik tersebut (2022 – 2044), sehingga diharapkan selama umur pabrik, ketersediaan bahan baku masih memadai di Indonesia. Sabut kelapa merupakan salah satu bahan baku yang terbarukan atau bersifat *renewable* serta menjadi salah satu bioenergi dari biomassa yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan menjadi barang dengan nilai jual tinggi serta bersifat ramah lingkungan. Pada **Tabel 2.8** menunjukkan prediksi dari produksi sabut kelapa yang mana menunjukkan *trend* penurunan produksi sabut kelapa di Indonesia, namun hal ini tidak menajadi hambatan dalam membuat pabrik dikarenakan adanya potensi untuk menyeimbangkan produksi sabut kelapa dengan stabil dengan penanaman kelapa kembali sesuai kebutuhan pasar. Hal lainnya juga menunjukkan potensi biomassa di Indonesia diperkirakan mencapai hingga order 10^{18} J/tahun.

Tabel 2.8. Ketersediaan Produksi Sabut Kelapa di Indonesia

Tahun	Produksi Sabut Kelapa
2022	965.542
2023	958.994
2024	952.490
2025	946.030
2026	939.614
2027	933.242
2028	926.913
2029	920.626
2030	914.383
2031	908.181
2032	902.022
2033	895.904
2034	889.828
2035	883.793
2036	877.799
2037	871.846
2038	865.933
2039	860.061
2040	854.228
2041	848.434
2042	842.680

Tahun	Produksi Sabut Kelapa
2043	836.965
2044	831.289

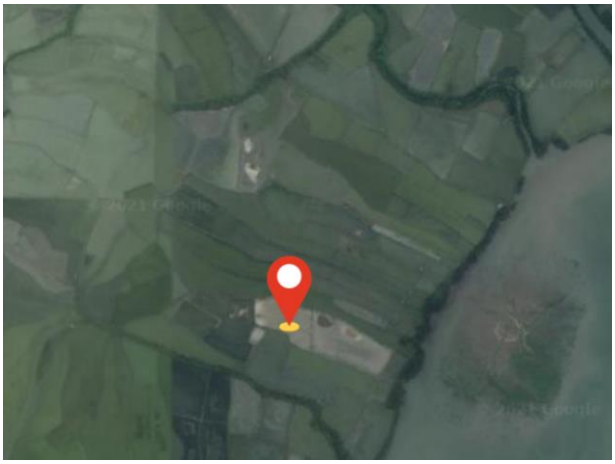
II.3. Lokasi dan Ketersediaan Utilitas

Penentuan lokasi suatu pabrik bertujuan untuk menunjang proses produksi suatu pabrik agar dapat berjalan dengan lancar, efektif, dan efisien. Hal ini dikarenakan lokasi suatu pabrik dapat mempengaruhi kedudukan pabrik dalam persaingan maupun penentuan kelancaran produksi dan distribusi dari pabrik yang didirikan. Lokasi pabrik dapat memberikan kemungkinan perluasan atau perbesaran pabrik dan memberikan keuntungan bagi perusahaan maupun warga sekitar dalam jangka panjang. Dalam menentukan lokasi mini plant terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya biaya produksi serta biaya distribusi dari produk yang akan dihasilkan dan faktor-faktor pendukung lainnya. Faktor-faktor pertimbangan dalam pemilihan lokasi pabrik sebagai berikut:

1. Ketersediaan Bahan Baku
2. Logistik dan Fasilitas Transportasi
3. Kondisi Geografis Wilayah
4. Utilitas
5. Tenaga Kerja

Pada pemilihan lokasi pendirian pabrik lignoselulosa dari sabut kelapa, berdasarkan ketersediaan bahan baku, aksesbilitas dan fasislitas transportasi didapatkan 2 alternatif pendirian lokasi pabrik yaitu Provinisi Riau khususnya di Kabupaten Indragiri Hilir dan Provinsi Jawa Timur khususnya di Kabupaten Gresik.

Gambar 2.7 Proyeksi Lokasi Pabrik di Kabupaten Indragiri Hilir, Riau



Gambar 2.8 Proyeksi Lokasi Pabrik di Kabupaten Gresik, Jawa Timur

II.3.1. Faktor Utama dalam Pemilihan Lokasi Pabrik

` 1. Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku merupakan salah satu faktor yang penting dalam penentuan lokasi pabrik Jika jumlah bahan baku yang dibutuhkan banyak, maka lokasi pendirian pabrik harus dekat dengan sumber bahan baku dan memiliki ketersediaan bahan baku yang memadai. Hal ini dilakukan agar biaya transportasi bahan baku yang dikeluarkan kecil. Produksi sabut kelapa berdasarkan kabupaten di Riau dan Provinsi Jawa Timur disajikan pada **Tabel 2.9 dan Tabel 2.10**.

Tabel 2.9 Jumlah Produksi Sabut Kelapa per Kabupaten di Provinsi Riau
(Sumber : BPS Provinsi Riau, 2019)

No.	Lokasi (Kab/Kota)	Produksi Kelapa (ton/tahun)	Produksi sabut kelapa (ton/tahun)
1	Kuantan Singingi	1.924	673
2	Indragiri Hilir	335.215	117.325
3	Pelalawan	15.297	5.354
4	Siak	1.743	610
5	Bengkalis	3.262	1.142
6	Rokan Hilir	4.226	1.479
7	Kepulauan Meranti	28.781	10.073

Tabel 2.10 Jumlah Produksi Sabut Kelapa per Kabupaten di Provinsi Jawa Timur
(Sumber : BPS Provinsi Jawa Timur, 2018)

No.	Lokasi (Kab/Kota)	Produksi Kelapa (ton/tahun)	Produksi sabut kelapa (ton/tahun)
1	Pacitan	23.220	8.127
2	Tulungagung	18.768	6.569
3	Blitar	23.740	8.309
4	Banyuwangi	33.946	11.881
5	Trenggalek	13.815	4.835
6	Gresik	3.604	1.261

Berdasarkan **Tabel 2.9** dan **Tabel 2.10** diperoleh produksi sabut kelapa di Indonesia tersebar diseluruh wilayah. Pada Provinsi Riau produksi sabut kelapa terbesar berada pada di Kabupaten Indragiri Hilir, sedangkan pada Provinsi Jawa Timur produksi sabut kelapa terbesar pada Kabupaten Banyuwangi. Hal ini dikarenakan, kedua daerah tersebut memiliki potensi perkebunan kelapa yang melimpah, serta jika dibandingkan, produksi bahan baku sabut kelapa di Kabupaten Indragiri Hilir lebih banyak dari Kabupaten Banyuwangi. Sehingga lokasi pabrik di Kabupaten Gresik, sumber bahan baku sabut kelapa berada di Kabupaten Banyuwangi. Ketersediaan bahan baku juga dilihat berdasarkan umur pabrik. Ketika umur pabrik 20 tahun, ketersediaan bahan baku di lokasi pabrik diharapkan memadai yang dapat dilihat pada **Tabel 2.11** dalam lokasi pabrik di Kabupaten Indragiri Hilir dan Kabupaten Banyuwangi, karena berpotensi produksi sabut kelapa yang besar di Indonesia pada tahun 2022 hingga 2024

Tabel 2.11. Ketersediaan Produksi Sabut Kelapa di Lokasi Pabrik

Tahun	Produksi Sabut Kelapa	
	Kab. Indragiri Hilir	Kab. Banyuwangi
2022	158.416	12.239
2023	170.766	12.312
2024	184.079	12.386
2025	198.430	12.459
2026	213.899	12.534
2027	230.575	12.608
2028	248.550	12.683
2029	267.927	12.759
2030	288.814	12.835
2031	311.329	12.911
2032	335.600	12.988
2033	361.763	13.066
2034	389.966	13.144
2035	420.367	13.222
2036	453.139	13.301
2037	488.465	13.380
2038	526.545	13.460
2039	567.594	13.540
2040	611.843	13.620
2041	659.542	13.702
2042	710.959	13.783
2043	766.385	13.865
2044	826.131	13.948

Tabel 2.12 Perbandingan Lokasi Sumber Bahan Baku dan Jarak Bahan Baku dengan Pabrik

Lokasi Pabrik	**Lokasi Bahan Baku Terdekat**	**Produksi Bahan Baku (Ton/Tahun)**	**Jarak Antara Bahan Baku dan Pabrik (km)**
Riau	Indragiri Hilir	198.430	27,4
	Rokan Hilir	1.479	248

Lokasi Pabrik	Lokasi Bahan Baku Terdekat	Produksi Bahan Baku (Ton/Tahun)	Jarak Antara Bahan Baku dan Pabrik (km)
Jawa Timur	Banyuwangi	12.459	331
	Pacitan	8.127	277

Tabel 2.12 menunjukkan hasil perbandingan jarak lokasi sumber bahan baku dan jarak bahan baku dengan pabrik. Kabupaten Rokan Indragiri Hilir di Provinsi Riau menjadi kabupaten terdekat dengan jarak bahan baku dan lokasi pabrik sekitar 27,4 km. Sedangkan di Provinsi Jawa Timur, Kabupaten Pacitan terdekat dengan jarak bahan baku dan lokasi pabrik yaitu 277 km, namun ketersediaan bahan baku masih kurang mencukupi sehingga ketersedian bahan baku berada di Kabupaten Banyuwangi. Kedua kabupaten tersebut berpotensi untuk mendirikan pabrik karena biaya yang dikeluarkan untuk transportasi atau pengangkatan bahan baku lebih sedikit.

2. Logistik dan Fasilitas Transportasi

Transportasi merupakan salah satu faktor penting dalam pendirian lokasi sebagai penunjang dalam menjalankan aktivitas pabrik. Ketersediaan jalur transportasi dan kualitas jalur transportasi yang baik akan memungkinkan kelancaran dalam distribusi bahan baku maupun produk.

Secara umum, Riau memiliki letak yang strategis untuk mendukung perkembangan sektor industri, yaitu berdekatan dengan pusat pemerintahan dan bisnis di Sumatera. Kabupaten Indragiri Hilir memiliki lokasi yang strategis yang dijadikan tempat kegiatan terutama lintas barang dan jasa dalam skala internasional bahkan memiliki Pelabuhan Internasional yang memudahkan dalam lintas barang dan jasa antara luar negeri. Provinsi Riau sedang dalam pembangunan proyek jalan tol yang menghubungkan Pekanbaru dengan Provinsi Jambi dan Provinsi Sumatera Barat. Berdasarkan surat Bupati Indragiri Hilir Nomor 800/DPUTR/VIII/2020/007-54, terdapat proyek pembangunan pintu Tol Jambi – Rengah di Kecamatan Kemuning, Kabupaten Indragiri Hilir.

Jika dibandingkan dengan salah satu Kabupaten di Jawa Timur, Kabupaten Gresik terletak di lokasi yang cukup strategis dengan dilihat dari lokasi logistik karena dekat dengan pelabuhan sebagai pusat transportasi dan jalan darat yang cukup memadai dari segi fasilitas, di sisi lain, Gresik juga dekat dekat pesisir pantai yang memungkinkan pusat sektor perekonomian terletak disana. Dari segi logistik, Gresik memiliki kawasan pelabuhan dengan multifungsi mulai dari untuk pengiriman barang baik barang skala berat dan ringan, transportasi utama pabrik, dan keperluan logistik lainnya. Hasilnya, dengan fasilitas transportasi dan logistik yang memadai, setidaknya telah terdapat kurang lebih 59 perusahaan di kabupaten Gresik. Hal diatas memberikan eksklusivitas pada Gresik yang juga memiliki Kawasan industri sendiri. Hal ini telah ditetapkan pada peraturan pemerintah nomor 71 tahun 2021 yang menjadikan Kabupaten Gresik menjadi salah satu Kabupaten dengan banyak Pabrik/Industri

Tabel 2.13 Perbandingan Aksesbilitas dan Parameter.

Aksesbilitas	Parameter	Lokasi Pabrik	
		Indragiri Hilir	Gresik
Akses Jalan	Fasilitas Jalan Tol	Tol Jambi-Rengat	Tol KLBM
	Jarak pabrik dengan gerbang tol terdekat	85,8 km	11,4 km
Akses Pelabuhan	Fasilitas Pelabuhan	Pelabuhan Tembilahan	Pelabuhan Gresik
	Jarak Pabrik dengan Pelabuhan	26,8 km	11,6 km
Akses Kereta Api	Fasilitas Stasiun Kereta	-	Stasiun Cerme
	Jarak Pabrik dengan Stasiun Kereta	-	10,3 km
Akses Bandara	Fasilitas Bandara Internasional	Sultan Syarif Qasim International Aiport	Juanda International Airport
	Jarak Bandara dengan Pabrik	345,2 km	49,5 km

Pada **Tabel 2.13**, Kabupaten Gresik memiliki berbagai aksesbilitas transportasi yang lebih dekat dibandingkan dengan Kabupaten Indragiri Hilir. Sehingga jika dilihat dari perbandingan aksesbilitas, lokasi di Kabupaten Gresik lebih diunggulkan dibandingkan Kabupaten Indragiri Hilir.

3. Kondisi Geografis Wilayah

Kondisi geografis dari Kabupaten Indragiri Hilir di Provinsi Riau terletak pada koordinat 0^0 36’ Lintang Utara dan 1^0 07’ Lintang Selatan dan antara 104^0 10’ – 102^o 32’ Bujur Timur**,** dengan batas-batas sebagai berikut :

- Sebelah Selatan : Provinsi Jambi
- Sebelah Utara : Kabupaten Pelalawan
- Sebelah Barat : Kabupaten Indragiri Hulu
- Sebelah Timur : Tanjung Balai Karimun (Provinsi Kep. Riau)

Tabel 2.14 Data Topografi dan Iklim di Kabupaten Indragiri Hilir
(Sumber : Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Pemerintah Kabupaten Gresik dan Badan Pusat Stastika Kabupaten Indragiri Hilir, 2020)

No.	Jenis Data	Nilai
1	A. Kondisi Topografi	
	1. Ketinggian rata-rata diatas permukaan laut	0 – 3 m
	2. Ketinggian berbukit rata-rata dari permukaan laut	6 – 35 m
	3. Dataran	Rendah
2	B. Kondisi Topografi Kemiringan	

No.	Jenis Data	Nilai
	1. Kemiringan 0 – 2 %	1.298.763 Ha
	2. Kemiringan 3 – 5 %	9.710 Ha
	3. Kemiringan 16 – 40 %	21.197 Ha
	4. Kemiringan > 40 %	37.744 Ha
3	C. Keadaan Iklim	
	1. Suhu	23 – 33^{o}C
	2. Kelembaban Udara	86 – 95 %
	3. Curah Hujan	± 2300 mm /tahun

Sedangkan Kabupaten Gresik berada di Provinsi Jawa Timur yang terletak di antara 112^{o} – 113^{o} Bujur Timur dan 7^{o} – 8^{o} Lintang Selatan, dengan batas-batas sebagai berikut:

- Sebelah Selatan : Kabupaten Sidoarjo, Kabupaten Mojokerto, dan Kota Surabaya
- Sebelah Utara : Laut Jawa
- Sebelah Barat : Kabupaten Lamongan
- Sebelah Timur : Selat Madura dan Kota Surabaya

Tabel 2.15 Data Topografi dan Iklim di Kabupaten Gresik
(Sumber : Rencana Terpadu Program Investasi Infrastruktur Jangka Menengah dan Badan Pusat Stastika Kabupaten Gresik, 2020)

No.	Jenis Data	Nilai
1	A. Kondisi Topografi	
	1. Ketinggian rata-rata diatas permukaan laut	2 - 12 m
	2. Dataran	Rendah
2	B. Kondisi Topografi Kemiringan	
	1. Kemiringan 0 – 2 %	92.613 Ha
	2. Kemiringan 3 – 5 %	12.251 Ha
	3. Kemiringan 16 – 40 %	9.470 Ha
	4. Kemiringan > 40 %	1.072 Ha
3	C. Keadaan Iklim	
	1. Suhu	Rata-Rata 28,5oC
	2. Kelembaban Udara	Rata-rata 75%
	3. Curah Hujan	± 2.245 mm /tahun

4. Utilitas

Fasilitas utilitas meliputi penyediaan listrik, air, dan bahan bakar untuk menunjang kebutuhan utama suatu produksi. Pada Kabupaten Indragiri Hilir, kebutuhan listrik dapat dipenuhi dari PT. PLN (Persero) Indragiri Hilir yang memiliki 65 jumlah pembangkit dengan total produksi listrik 93.548.618 kWh, serta PLTU Tembilahan sebesar 2 x 7 MW. Kebutuhan air dapat dipenuhi dari air laut di Selat Berhala maupun 10 sungai yang ada di Kabupaten Indragiri Hilir yaitu Sungai Indragiri, Sungai Gaung, Sungai Anak Serka, Sungai Guntung, Sungai Danai, Sungai Kateman, Sungai Batang Tuaka, Sungai Enok, Sungai Gangsal, dan Sungai Keritang. Sumber bahan bakar industry berupa minyak bumi dapat di akomodasi oleh PT. Pertamina Persero.

Sedangkan di wilayah Kabupaten Gresik, kebutuhan listrik dapat dipenuhi oleh Unit Pembangkit Gresik milik PT. Pembangkit Jawa Bali (PJB) sebesar 2219 MW. Kebutuhan air dapat dipenuhi dari air laut Jawa maupun beberapa sungai salah satunya Sungai Kali Lamong yang merupakan sungai utama yang melewati Kabupaten Gresik. Sumber bahan bakar industri berupa minyak bumi dapat diperoleh dari PT. Pertamina Persero.

5. Tenaga Kerja

Ketersediaan sumber daya manusia menjadi hal yang penting yang harus di pertimbangkan dalam pemilihan lokasi pabrik. Lingkungan masyarakat yang mempunyai latar belakang pendidikan yang mencukupi dan berada direntang usia pekerja menjadi salah satu faktor penunjang pendirian pabrik di daerah tersebut.

Tabel 2.16 Data Statistik Angkatan Kerja Kabupaten Indragiri Hilir dan Kabupaten Gresik pada Tahun 2020
(Badan Pusat Statistika, 2020)

No	Parameter	Lokasi Pabrik	
		Indragiri Hilir	Gresik
1	Penduduk berumur diatas 15 tahun	532.623	998.918
2	Angkatan Kerja	344.371	657.273
	Bekerja	327.970	620.883
	Pengangguran	16.401	36.390
3	Bukan Angkatan Kerja	189.635	343.925
	Sekolah	42.135	79.186
	Mengurus rumah tangga	122.672	224.562
	Lainnya	24.828	40.177
4	Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja	64,49%	65,65%
5	Tingkat Pengangguran Terbuka	4,76%	-

Tabel 2.16 merupakan data perbandingan angkatan kerja Kabupaten Indragiri Hilir dan Kabupaten Gresik pada tahun 2020. Jika dilihat tingkat partisipasi angkatan kerja, Kabupaten Gresik memiliki tingkat partisipasi yang lebih tinggi sebesar 65,65% dibandingkan dengan Kabupaten Indragiri Hilir dengan tingkat partisipasi angkatan kerja sebesar 64,49%. Sumber tenaga kerja juga dapat dilihat berdasarkan dari standar upah minimum dari setiap provinsi di Indonesia. Standar upah minimum akan mempengaruhi dalam menganalisis perhitungan operasional pabrik dan angkatan kerja untuk bekerja pada suatu wilayah.

Tabel 2.17 Perbandingan UMP Provinsi di Indonesia pada Tahun 2021
(Sumber : nasional.kontan.co.id, 2021)

No.	**Provinsi**	**UMP (Rupiah/Bulan**	
1	Nanggroe Aceh Darussalam	Rp	3.165.031
2	Sumatera Utara	Rp	2.499.423
3	Sumatera Barat	Rp	2.484.041
4	Sumatera Selatan	Rp	3.043.111
5	**Riau**	**Rp**	**2.888.564**

No.	Provinsi	UMP (Rupiah/Bulan	
6	Kepulauan Riau	Rp	3.005.460
7	Jambi	Rp	2.630.162
8	Bangka Belitung	Rp	3.230.023
9	Bengkulu	Rp	2.215.000
10	Lampung	Rp	2.432.001
11	DKI Jakarta	Rp	4.416.186
12	Jawa Barat	Rp	1.810.351
13	Jawa Tengah	Rp	1.798.979
14	**Jawa Timur**	**Rp**	**1.868.777**
15	D.I Yogyakarta	Rp	1.765.000
16	Banten	Rp	2.460.996
17	Bali	Rp	2.494.000
18	Kalimantan Selatan	Rp	2.877.448
19	Kalimantan Timur	Rp	2.981.378
20	Kalimantan Barat	Rp	2.399.698
21	Kalimantan Tengah	Rp	2.903.144
22	Kalimantan Utara	Rp	3.000.804
23	Sulawesi Selatan	Rp	3.165.878
24	Sulawesi Utara	Rp	3.310.723
25	Sulawesi Tenggara	Rp	2.552.014
26	Sulawesi Tengah	Rp	2.303.711
27	Sulawesi Barat	Rp	2.678.863
28	Gorontalo	Rp	2.788.826
29	Nusa Tenggara Barat	Rp	2.183.883
30	Nusa Tenggara Timur	Rp	1.950.000
31	Maluku	Rp	2.604.961
32	Maluku Utara	Rp	2.721.530
33	Papua	Rp	3.516.700
34	Papua Barat	Rp	3.134.600

Tabel 2.18 Perbandingan UMK Kabupaten Indragiri Hilir dan Kabupaten Gresik pada Tahun 2021)
(Sumber : BPS, 2021)

No.	Kabupaten	UMK (Rupiah/Bulan	
1	Indragiri Hilir	Rp	2.984.696
2	Gresik	Rp	4.297.030

Tabel 2.17 dan **Tabel 2.18** menunjukkan upah minimum provinsi dan upah minimum kabupaten pada tahun 2021. Berdasarkan data upah minimum pada setiap provinsi di Indonesia diperoleh pada Provinsi Riau memiliki UMP sebesar Rp. 2.888.564 yang dikhususkan UMK Kabupaten Indragiri Hilis sebesar Rp. 2.984.696. Sedangkan pada Provinsi Jawa Timur memiliki UMP sebesar Rp. 1.868.777 yang dikhususkan UMK Kabupaten Gresik sebesar Rp. 4.297.030.

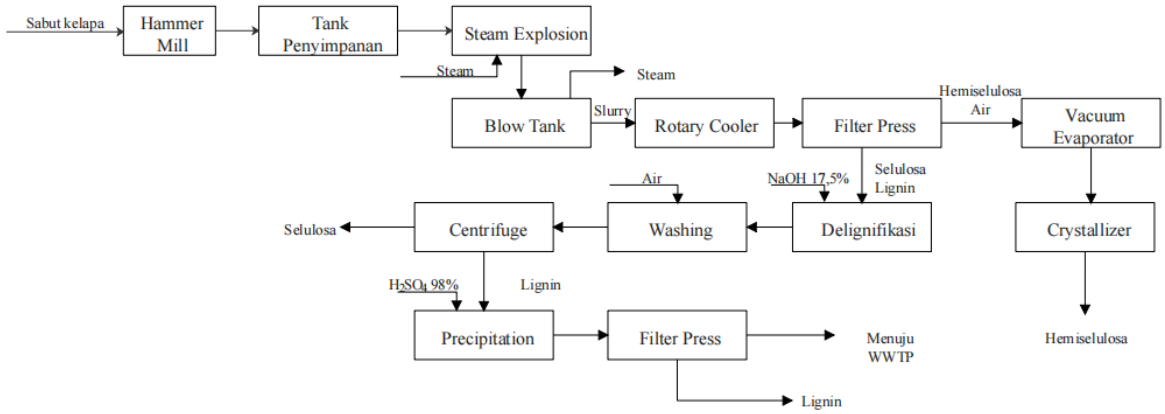
Tabel 2.19. Perbandingan Lokasi Pabrik

No	Parameter	Lokasi Pabrik	
		Indragiri Hilir	**Gresik**
1	Produksi Sabut Kelapa (Ton/Tahun)	117.325	11.881
	Jarak Antara Bahan Baku dan Pabrik (km)	27,4	331
2	Fasilitas Pelabuhan	Pelabuhan Tembilahan	Pelabuhan Gresik
	Fasilitas Jalan Tol	Tol Jambi Rengat	Tol KLBM
3	Ketinggian Rata rata diatas permukaan laut	0 – 3 m	2 – 12 m
	Kelembaban Udara	86 – 95%	75%
	Curah Hujan (mm /tahun)	± 2.300	± 2.245
4	Unit Pembangkit Listrik	PT. PLN (Persero) Indragiri Hilir	PT. Pembangkit Jawa Bali (PJB)
	Produksi Listrik (kWh)	± 93.548.000	±2.200.000
	Sumber Kebutuhan Air	Selat Berhala dan 10 Sungai di Kabupaten	Laut Jawa dan Sungai Kali Lamong
5	Angkatan Kerja (per 2020)	327.970	657.273
	Upah Minimum (Per 2021)	Rp. 2.984.696	Rp. 4.297.030

BAB III
URAIAN PROSES TERPILIH

III.1. Diagram Balok

Proses yang terpilih untuk fraksinasi lignoselulosa dari sabut kelapa adalah proses *steam explosion* dan proses delignifikasi dengan menggunakan NaOH 17,5%. Pada diagram balok ini, terdapat proses pembuatan produk *intermediate* dari lignoselulosa yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin dengan *steam explosion* dengan menggunakan metode presurisasi oleh *steam* yang dilanjutkan oleh dekompresi tiba tiba pada *blow tank*. Lignoselulosa selanjutnya diarahkan ke *filter press* untuk memisahkah antara selulosa lignin fase *slurry* dengan hemiselulosa fase *liquid*. Pada aliran hemiselulosa, dilakukan perubahan agar menjadi hemiselulosa fase padat dengan evaporasi yang dilanjutkan dengan proses kristalisasi. Sedangkan untuk aliran selulosa lignin dipisahkan dengan delignifikasi menggunakan NaOH yang selanjutnya dipisahkan dengan sentrifugasi dengan selulosa fase *pulp*/padat dan lignin fase cair. Aliran lignin lalu dicuci dengan *washing* dan diendapkan di *clarifier* oleh larutan H_2SO_4 yang selanjutnya dihilangkan oleh *filter press*. Diagram balok untuk proses ini disajikan pada **Gambar 3.1**.

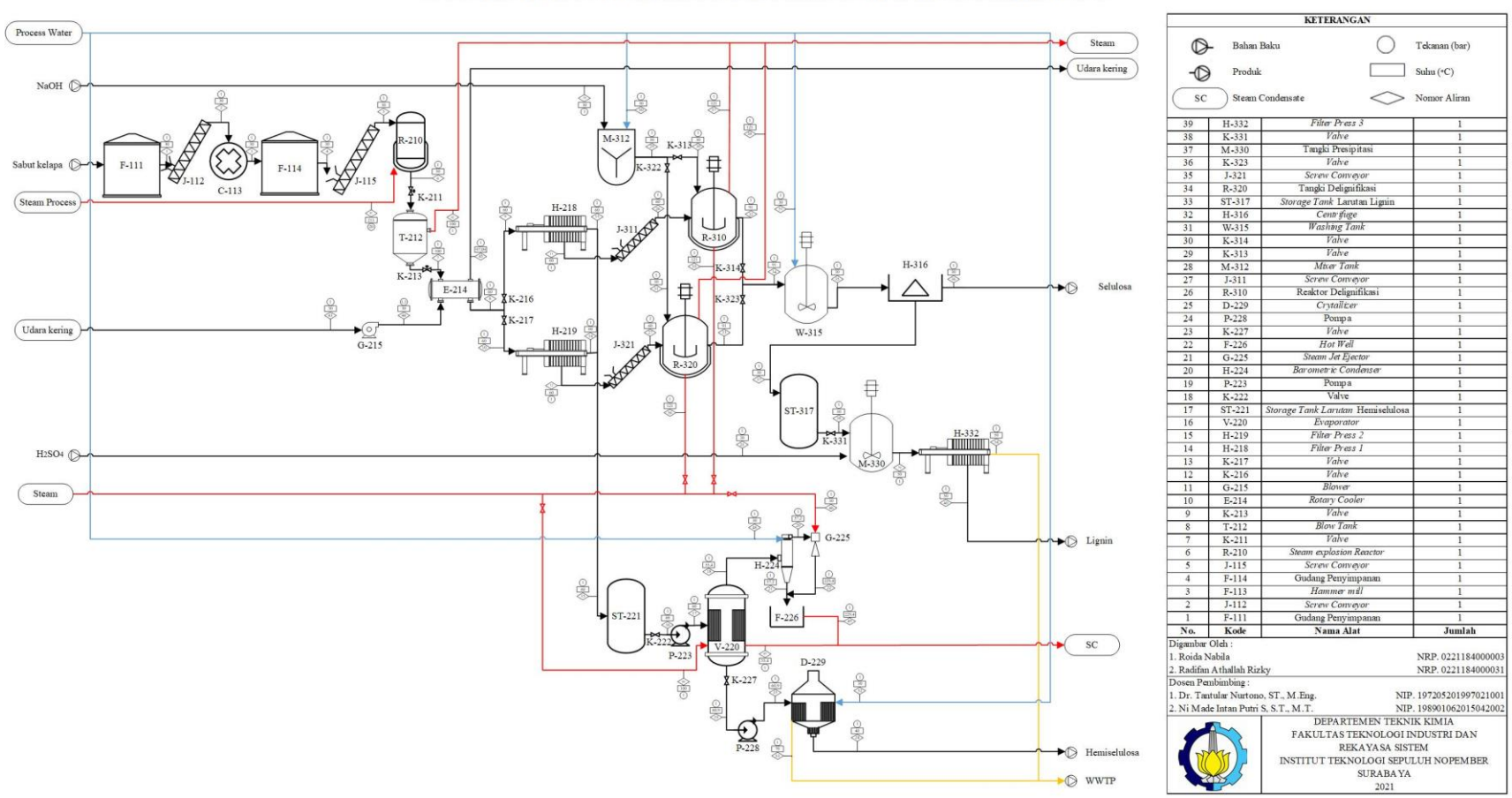


Gambar 3.1. Diagram Balok Proses Terpilih

III.2. Diagram Alir Proses

Diagram alir proses menunjukkan aliran proses terpilih secara lebih detail yang disajikan pada **Gambar 3.2.**

TUGAS PRA DESAIN PABRIK FRAKSINASI LIGNOSELULOSA DARI SABUT KELAPA DENGAN STEAM EXPLOSION



KETERANGAN			
Bahan Baku		Tekanan (bar)	
Produk		Suhu (°C)	
SC	Steam Condensate	Nomor Aliran	

No.	Kode	Nama Alat	Jumlah
39	H-332	*Filter Press 3*	1
38	K-331	*Valve*	1
37	M-330	Tangki Presipitasi	1
36	K-323	*Valve*	1
35	J-321	*Screw Conveyor*	1
34	R-320	Tangki Deligunifikasi	1
33	ST-317	*Storage Tank* Larutan Lignin	1
32	H-316	*Centrifuge*	1
31	W-315	*Washing Tank*	1
30	K-314	*Valve*	1
29	K-313	*Valve*	1
28	M-312	*Mixer Tank*	1
27	J-311	*Screw Conveyor*	1
26	R-310	Reaktor Deligunifikasi	1
25	D-229	*Crystallicer*	1
24	P-228	Pompa	1
23	K-227	*Valve*	1
22	F-226	*Hot Well*	1
21	G-225	*Steam Jet Ejector*	1
20	H-224	*Barometric Condenser*	1
19	P-223	Pompa	1
18	K-222	Valve	1
17	ST-221	*Storage Tank* Larutan Hemiselulosa	1
16	V-220	*Evaporator*	1
15	H-219	*Filter Press 2*	1
14	H-218	*Filter Press 1*	1
13	K-217	*Valve*	1
12	K-216	*Valve*	1
11	G-215	*Blower*	1
10	E-214	*Rotary Cooler*	1
9	K-213	*Valve*	1
8	T-212	*Blow Tank*	1
7	K-211	*Valve*	1
6	R-210	*Steam explosion Reactor*	1
5	J-115	*Screw Conveyor*	1
4	F-114	Gudang Penyimpanan	1
3	F-113	*Hammer mill*	1
2	J-112	*Screw Conveyor*	1
1	F-111	Gudang Penyimpanan	1

Digambar Oleh :
1. Roida Nabila — NRP. 0221184000003
2. Radifan Athallah Rizky — NRP. 0221184000031

Dosen Pembimbing :
1. Dr. Tantular Nurtono, ST., M.Eng. — NIP. 197205201997021001
2. Ni Made Intan Putri S, S.T., M.T. — NIP. 198901062015042002

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2021

Gambar 3.2. Diagram Alir Proses Terpilih

III.3. Uraian Proses

Proses fraksinasi lignoselulosa dari sabut kelapa dengan *steam explosion* terbagi menjadi 4 sebagai berikut:

1. Tahap *Pre-Treatment* Bahan Baku (Perlakuan Awal)
2. Tahap Proses *Steam Explosion*
3. Tahap Proses Delignifikasi
4. Tahap Pemisahan

III.3.1. Tahap *Pre-Treatment* Bahan Baku (Perlakuan Awal)

Tahap pertama, sabut kelapa dari gudang bahan baku (F-111) diangkut menuju proses *grinding* yaitu menggunakan *Hammer Mill (*F-113) dengan menggunakan *Screw Conveyor* (J-112) untuk proses pertama *size reduction* agar ukuran bahan baku menjadi lebih kecil dan seragam. Pada proses ini diharapkan ukuran sabut kelapa dari 5-6 cm menjadi 0,25 mm. Selain untuk pengecilan ukuran pada proses *size reduction* berfungsi untuk memecah inti sabut kelapa untuk mempermudah proses selanjutnya dimana aka nada kontak antara steam dan sabut kelapa. Hal ini juga ditujukan untuk memperluas *surface area* pada sabut kelapa. Sabut kelapa yang telah berukuran kecil akan ditampung di Gudang Penyimpanan (F-114).

III.3.2 Tahap Proses *Steam Explosion*

Tahap pertama dimulai dengan sabut kelapa dari Gudang Penyimpanan (F-114) dialirkan menuju *Steam Explosion Reactor* (R-210) dengan menggunakan *Screw Conveyor* (J-115). Sabut kelapa yang masuk pada *Steam Explosion Reactor* (R-210) pada suhu ruangan yaitu 30^{o}C dan tekanan 1,013 bar, kemudian ditambahkan *steam* berjenis *High Pressure Steam (HPS)* sehingga kondisi operasi pada *Steam Explosion Reactor (R-210)* memiliki suhu 213^{o}C dengan tekanan sebesar 20 bar. Proses ini ditujukan agar *steam* masuk ke dalam pori-pori lignoselulosa yang untuk memperluas *surface* dan meningkatkan *moisture* dari lignoselulosa, kemudian akan terjadi proses pemecahan makrofibril dari lignoselulosa sehingga menjadi hemiselulosa, selulosa, dan lignin yang masih dalam satu kesatuan. Proses '*explode*' dimulai ketika tekanan yang ada di dalam reactor cukup tinggi kemudian saat *Valve* (K-211) terbuka maka akan ada perbedaan tekanan antara di dalam reaktor dan di luar (atmosfer). Kemudian lignoseluosa dan *steam* akan mengalami *explosion* secara tiba tiba bersamaan turunnya tekanan dari 20 bar menjadi 2 bar. Bersamaan dengan ledakan tersebut, lignoselulosa dan steam akan turun ke *Blow Tank* (T-212) yang merupakan tempat pemisahan lignoselulosa dan *steam*. Pada *Blow Tank* juga terdapat saluran terbuka (berkontak langsung dengan atmosfer) tempat keluarnya *steam* nantinya setelah proses *explosion*. Pada proses *steam explosion*, diharapkan, pori/makrofibril pada lignoselulosa sudah terbuka dan air dari sekian persen dari *saturated steam* akan masuk dan akibat dari ledakan tiba tiba tadi maka lignoselulosa akan terurai menjadi padatan basah dengan kondisi suhu 100^{o}C dan tekanan 2 bar, pada saat lignoselulosa turun ke blow tank beserta dengan steam, *valve* pada *blow tank* akan terbuka dan steam pada tekanan 2 bar tadi akan keluar ke atmosfer (tekanan 1 bar) sesuai dengan prinsip tekanan fluida dimana pada fluida, tekanan akan mengalir dari tekanan yang lebih tinggi ke tekanan yang lebih rendah, sehingga *steam* dan lignoselulosa akan terpisah. Setelah itu lignoselulosa padatan basah dari *Blow Tank* akan masuk ke *Rotary Cooler* (E-214) untuk proses penurunan suhu dari 100^{o}C ke suhu kamar 60^{o}C menggunakan udara kering. Selanjutnya, lignoselulosa akan masuk ke *Filter Press* (H-218 & H-219) dengan dua aliran untuk pengondisian antara proses *batch* dan *continuous*. Pada *Filter Press* akan terjadi proses pemisahan Selulosa Lignin dengan fase padat basah (*moisture* lebih rendah) dengan Hemiselulosa air dengan fase liquid dari lignoselulosa. Setelah itu aliran Selulosa Lignin akan menuju proses delignifikasi oleh *Screw Conveyor* (J-

311 & J-321). Sedangkan aliran Hemiselulosa akan dialirkan semuanya ke *Storage Tank* (ST-221) untuk proses pemisahan selanjutnya

III.3.3. Tahap Proses Delignifikasi

Proses fraksinasi bertujuan untuk mengisolasi lignin dari selulosa atau biasa disebut delignifikasi dengan prinsip ekstraksi atau leaching. Proses ini menggunakan pelarut inorganik yaitu NaOH 17,5% di Tangki Delignifikasi (R-310 & R-320). Diberlakukan 2 tangi dengan tujuan sebagai pengombinasikan antara proses *batch* dan *continuous*. Pada proses ini Selulosa Lignin padat basah dari *Screw Conveyor* (J-311 & J-321) dialirkan menuju Tangki Delignifikasi (R-310) dengan kondisi operasi tekanan 1 bar suhu 30^{o}C bersamaan dengan masuknya *saturated steam* dengan suhu 121^{o}C selama 30 menit. Tujuan masuknya *steam (Low Pressure Steam / LPS)* adalah untuk pemanasan sampai suhu 121^{o}C yang sekaligus merupakan suhu operasi delignifikasi. Selanjutnya lignoselulosa dikontakkan dengan NaOH 17,5% pada suhu 30^{o}C dari *Mixer Tank* (M-312) dimana pelarut inorganik ini dapat melarutkan lignin (isolasi lignin) namun tidak dapat melarutkan selulosa. Proses delignifikasi dapat diasumsikan terjadi pada kondisi adiabatis pada suhu operasi. Hasil dari proses delignifikasi biasa disebut dengan *Black Liquor* dimana komposisinya adalah lignin yang larut pelarut inorganik, selulosa yang tidak larut namun masih dalam satu kesatuan dengan lignin beserta produk sampingnya yaitu Na-Ligninat $(C_{10}H_{11}O_3Na)_{85}$ sekitar 9% dari komposisi produk delignifikasi. Selain itu, *saturated steam* yang keluar massanya sama dengan massa *saturated steam* yang masuk. Proses selanjutnya adalah menuju pencucian di *Washing Tank* (W-315) yang bertujuan untuk pencucian seluosa agar menjadi *white slurry* dan memisahkan komponen lignin dan Na-lignat (namun masih dalam satu stream/aliran). Selulosa yang dihasilkan sebagai produk memiliki tingkat moisture sebesar ± 0,005%.

III.3.4. Tahap Pemisahan

Tahapan proses pemisahan akan dibagi menjadi tiga berdasarkan hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Pada hemiselulosa aliran dari *Storage Tank* (ST-221) dengan suhu 60^{o}C dialirkan ke *Evaporator* (V-220) melalui Pompa *Centrifugal* (P-222). Tujuan dari proses Evaporasi adalah untuk memekatkan larutan hemiselulosa menjadi 85% dengan mengurangi kadar air dengan menkontakkan pada *steam (Low Pressure Steam / LPS)* pada suhu 100^{o}C pada kondisi vakum agar titik didih kecil dan produk tidak rusak karena suhu steam yang masuk rendah. Oleh karena itu, suhu operasi pada proses evaporasi adalah 48,9^{o}C. Hasil dari proses evaporasi berupa hemiselulosa dengan kadar air yang telah dikurangi selanjutnya dialirkan ke proses kristalisasi pada *Crystallizer* (D-229) untuk proses pengurangan air. Hal ini dilakukan agar produk yang dihasilkan adalah hemiselulosa padat (kristal) dengan suhu akhir 40^{o}C dan memiliki tingkat moisture sebesar ± 0,06%. Pada selulosa, aliran pada *Washing Tank* (W-315) akan dialirkan ke *Centrifuge* (H-316) sebagai proses pemisahan sentrifugasi selulosa dari lignin NaOH dalam fase padat. Lalu pada lignin, aliran dari *Centrifuge* (H-316) akan terlebih dahulu masuk ke *Storage Tank* (ST-317) sebagai tempat penampungan sementara yang selanjutnya akan masuk ke *Precipitation Tank* (M-330) dengan menambahkan H_2SO_4 98% pada suhu 30^{o}C. Reaksi presipitasi akan mengendapkan lignin (padatan) dengan menetralkan NaOH menjadi larutran Na_2SO_4. Selanjutnya mengalirkan campuran dari proses presipitasi ke *Filter Press* (H-332). Pada *Filter Press* akan terjadi proses pemisahan larutan Na_2SO_4 dan Air dalam fase liquid dengan Lignin dalam fase padat basah yang memiliki tingkat moisture sebesar ± 0,005%.

BAB IV
NERACA MASSA DAN ENERGI

Kapasitas Bahan Baku	= 33.000	ton/tahun
	= 100	ton/hari
	= 5.000	kg/jam
Ditetapkan		
1 tahun	= 330	hari
Waktu Operasi	= 20	jam/hari
Bahan Baku	= 5.000	kg/jam
Basis	= 1	kg/jam

IV.1 Neraca Massa dan Energi

Perhitungan neraca massa merupakan prinsip dasar dalam perancangan desain sebuah pabrik. Dari neraca massa dapat ditentukan kapasitas produksi, kebutuhan bahan baku, kebutuhan lain yang terkait dalam perhitungan. Dalam perhitungan ini berlaku teori Hukum Kekekalan Massa, sehingga persamaan umum neraca massa yaitu :

Akumulasi = Laju Alir Massa Masuk − Laju Alir Massa Keluar
+ Generasi – Konsumsi.....(4-1)

Asumsi sistem *steady state*, sehingga akumulasi = 0 dan persamaan menjadi :

Laju Alir Massa Masuk + Generasi = Laju Alir Massa Keluar + Konsumsi ..(4.2)

Apabila tidak terjadi reaksi, maka konsumsi = generasi = 0 sehingga :

Laju Alir Massa Masuk = Laju Alir Massa Keluar (4-3)

(Sumber : Himmelblau, 2004)

Adapun persamaan dari neraca energi sebagai berikut :

Aliran Energi Masuk − Aliran Energi Keluar + (Ws + Q) = Akumulasi .....(4-4)

Asumsi sistem *steady state* sehingga akumulasi = 0 :

Aliran Energi Masuk − Aliran Energi Keluar + (Ws + Q) = 0.....(4.5)

Apabila sistem adiabatis, persamaan menjadi :

Aliran Energi Masuk − Aliran Energi Keluar + Ws = 0.....(4.6)

(Sumber : Himmelblau, 2004)

Nilai kapasitas panas (Cp) menggambarkan banyaknya kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu suatu zat sebesar jumlah tertentu. Data kapasitas panas (Cp) ditampilkan pada **Tabel 4.1** dan **Tabel 4.2**.

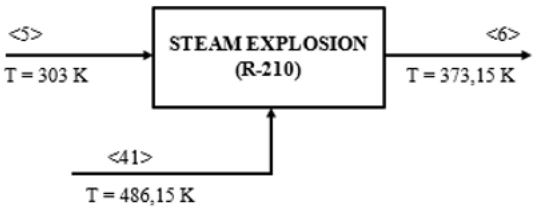
Tabel 4.1 Data *Heat Capacity* Komponen

Data *Heat Capacity*			
Komponen	Rumus Molekul	Berat Molekul (kg/kmol)	Heat Capacity (Cp, J/mol.K)
Selulosa	$C_6H_{10}O_5$	162,1404	208,040
Hemiselulosa	$C_5H_8O_4$	132,1145	168,61
Lignin	$C_{10}H_{12}O_3$	180,2023	239,88
Water (l)	H_2O	18,0153	$8{,}712 + 1{,}25 \times 10^{-3}\ T - 0{,}18 \times 10^{-6}\ T^2$
Water (g)			$3{,}47 + 1{,}45 \times 10^{-3}\ T - 0{,}121 \times 10^{5}\ T^{-2}$
NaOH (s)	NaOH	40	0,121 + 16,316 x 10-3 T + 1.948 x 105 T^{-2}

Tabel 4.2 Data *Heat Capacity* Komponen Tambahan

Komponen	Cp (kJ/kg.K)
H_2SO_4	1,39
NA_2SO_4	0,13
Na-lignat	0,49

1. Steam Explosion Reactor (R-210)



Fungsi : Proses pemecahan makrofibril dari lignoselulosa mejadi hemiselulosa, selulosa, dan lignin

Kondisi Operasi

Tekanan : 20 bar

Suhu : 486,15 K

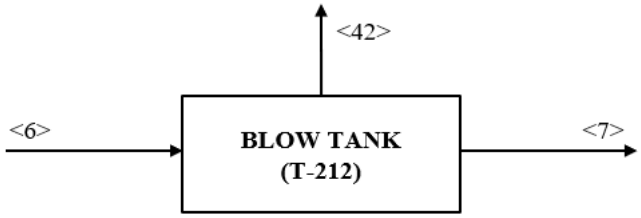
Asumsi : Suhu keluar dari *Steam Explosion Reactor* adalah suhu 373,15 K

Tabel 4.3 Neraca Massa dan Energi *Steam Explosion Reactor* (R-210)

Neraca Aliran Masuk			Neraca Aliran Keluar		
Aliran <5> Lignoselulosa dari *Screw Conveyor*			Aliran <6> Lignoselulosa dan *steam* menuju *Blow Tank*		
Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**	**Komponen**	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**
Selulosa	0,34	1700	Selulosa	0,18866	1700
Hemiselulosa	0,2	1000	Hemiselulosa	0,11097	1000
Lignin	0,38	1900	Lignin	0,21085	1900
Air	0,08	400	Air	0,10579	953,25
Steam	0	0	Steam	0,38373	3457,81
Total	**1**	**5000**	**Total**	1	**9011,06**
T (K)	303,15		T (K)	373,150	
P (bar)	1		P (bar)	2	
Cp	1,535		Cp	1,848	
Q (kJ)	**2326588,619**		**Q (kJ)**	**6212357,465**	
Aliran <41> *Steam* masuk ke *Steam Explosion Reactor*					
Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**			
Steam	1	4011,06			
Total	**1**	**4011,06**			
T (K)	486,15				

P (bar)	1		
Cp	1,950		
Q (kJ)	**3802454,133**		
Kebutuhan Energi			
Q (kJ)	**83314,713**		
Total Massa	**9011,06**	**Total Massa**	**9011,06**
Total Energi	**6212357,465**	**Total Energi**	**6212357,465**

2. Blow Tank (T-212)



Fungsi : Proses pemisahan lignoselulosa dengan steam setelah proses dekompresi *Steam Explosion*

Kondisi Operasi

Tekanan : 1 bar

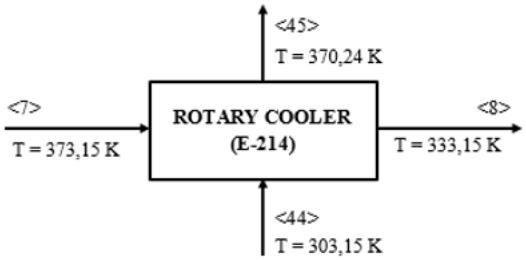
Suhu : 373,15 K

Pemisahan di Blow Tank terjadi setelah Pressure valve dibawah Steam Explosion terbuka, sehingga Lignoselulosa dan steam akan mengalami dekompresi dan turun ke blow tank dengan tekanan 1 bar

Tabel 4.4 Neraca Massa *Blow Tank* (T-212)

Neraca Aliran Masuk			Neraca Aliran Keluar		
Aliran <6> Lignoselulosa dari *Steam Explosion Reactor*			Aliran <7> Lignoselulosa menuju *Rotary Cooler*		
Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**	**Komponen**	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**
Selulosa	0,18866	1700	Selulosa	0,30613	1700
Hemiselulosa	0,11097	1000	Hemiselulosa	0,18007	1000
Lignin	0,21085	1900	Lignin	0,34214	1900
Air	0,10579	953,25	Air	0,17166	953,25
Steam	0,38373	3457,81	Steam	0	0
Total	**1**	**9011,06**	**Total**	1	**5553,25**
			Aliran <42> *Steam* keluar		
			Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**
			Steam	1	3457,81
			Total	**1**	**3457,81**
Total Massa	**9011,06**		**Total Massa**	**9011,06**	

3. *Rotary Cooler* (E-214)



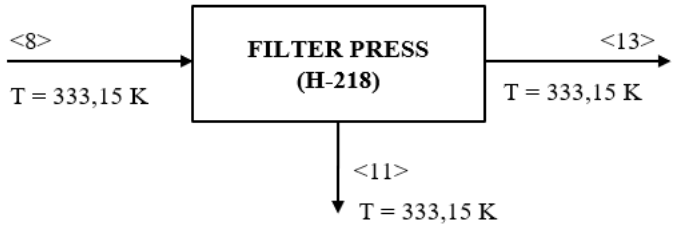
Fungsi : Mendinginkan suhu lignoselulosa dari *Blow Tank*
Kondisi Operasi
Tekanan : 1 bar
Suhu : 403,15 K

Tabel 4.5 Neraca Massa dan Energi *Rotary Cooler* (E-214)

Neraca Aliran Masuk			Neraca Aliran Keluar		
Aliran <7> Larutan Lignoselulosa dari *Blow Tank*			Aliran <8> Lignoselulosa menuju *Filter Press*		
Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**	**Komponen**	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**
Selulosa	0,306	1700	Selulosa	0,304	1683
Hemiselulosa	0,180	1000	Hemiselulosa	0,179	990
Lignin	0,342	1900	Lignin	0,340	1881
Air	0,172	953,25	Air	0,178	984,31
Total	**1**	**5553,25**	**Total**	1	**5538,31**
T (K)	373,150		T (K)	333,150	
P (bar)	1		P (bar)	1	
Cp	1,802		Cp	1,820	
Q (kJ)	**17837414,36**		**Q (kJ)**	**8128848,291**	
Aliran <44> Udara kering masuk ke dalam *Rotary Cooler*			Aliran <45> Udara keluar dari *Rotary Cooler*		
Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**	**Komponen**	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**
Selulosa	0	0	Selulosa	0,00012	17
Hemiselulosa	0	0	Hemiselulosa	6,8E-05	10
Lignin	0	0	Lignin	0,00013	19
Air	0,02111	3106,24	Air	0,021	3075,18
Udara kering	0,97889	144007,64	Udara kering	0,979	144007,643
Total	**1**	**147113,89**	**Total**	**1**	**147128,83**
T (K)	303,15		T (K)	370,24	
P (bar)	1		P (bar)	1	
Cp	1,005		Cp	1,072	
Q (kJ)	**723494,397**		**Q (kJ)**	**10432060,47**	
Total Massa	**152667,14**		**Total Massa**	**152667,14**	

Total Energi	**18560908,76**	**Total Energi**	**18560908,76**

4. Filter Press (H-218)



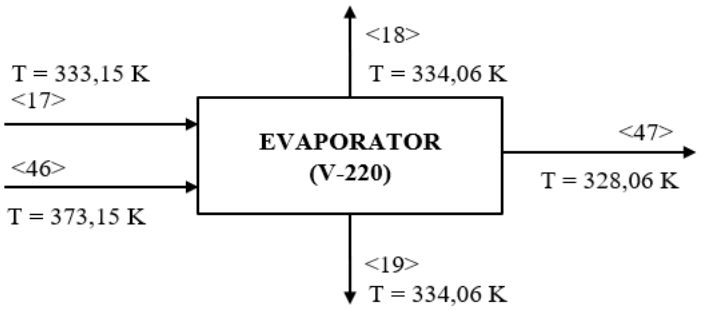
Fungsi : Proses pemisahan Selulosa Lignin (fase padat) dengan Hemiselulosa air (fase liquid) dari lignoselulosaKondisi Operasi
Tekanan : 1 bar
Suhu : 333,15 K
Asumsi :

1. Tidak terjadi reaksi kimia (Konsumsi = Generasi = 0)
2. Lignoselulosa yang terpisah menjadi Selulosa Lignin (fase padat) dan Hemiselulosa Air (fase liquid)
3. Komponen air yang terbawa pada Selulosa Lignin sebesar 2% dari Aliran <8>

Tabel 4.6 Neraca Massa *Filter Press* (H-218)

Neraca Aliran Masuk			Neraca Aliran Keluar		
Aliran <9> Lignoselulosa dari *Rotary Cooler*			Aliran <11> Selulosa Lignin menuju Delignifikasi Reaktor		
Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**	**Komponen**	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**
Selulosa	0,306	1700	Selulosa	0,30613	1700
Hemiselulosa	0,180	1000	Hemiselulosa	0	0
Lignin	0,342	1900	Lignin	0,34214	1900
Air	0,172	953,25	Air	0,00343	19,065
Total	**1**	**5553,25**	**Total**	**0,6517**	**3619,06**
			Aliran <13> Hemiselulosa Air menuju *Storage Tank* Hemiselulosa		
			Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**
			Selulosa	0	0
			Hemiselulosa	0,51701	1000
			Lignin	0	0
			Air	0,48299	934,18
			Total	**1**	**1934,18**
Total Massa	**5553,25**		**Total Massa**	**5553,25**	

5. Evaporator (V-220)



Fungsi : Memekatkan larutan hemiselulosa menjadi 85%
Tekanan : 11,7 kPa
Suhu : 322,05 K
Asumsi :

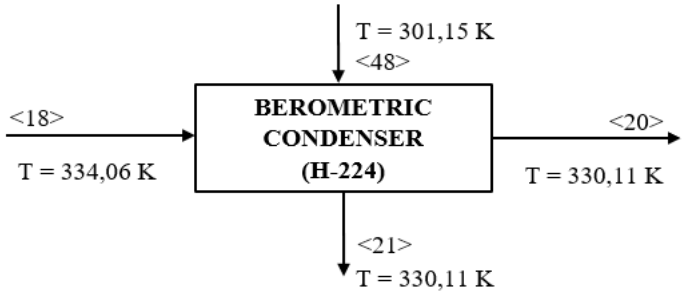
1. Tidak terjadi reaksi kimia (Konsumsi = Generasi = 0)
2. Diinginkan konsentrasi akhir, xL = 0,85
3. Tekanan evaporator sebesar 11,7 kPa
4. Kelarutan hemiselulosa terhadap air = 1,17 kg/L (IUPAC-NIST SOLUBILITY)
   = 1,1842 (w/w)

Tabel 4.7 Neraca Massa dan Energi *Evaporator* (V-220)

Neraca Aliran Masuk			Neraca Aliran Keluar		
Aliran <17> Larutan hemiselulosa dari *Hemiselulosa Storage Tank*			Aliran <19> Hemiselulosa pekat dari *Evaporator*		
Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**	**Komponen**	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**
Selulosa	0	0	Selulosa	0	0
Hemiselulosa	0,517	1000	Hemiselulosa	0,85	1000
Lignin	0	0	Lignin	0	0
Air	0,483	934,18	Air	0,15	176,47
Total	**1**	**1934,18**	**Total**	1	**1176,47**
T (K)	333,15		T (K)	334,06	
P (bar)	1		P (bar)	1	
Cp	2,698		Cp	1,715	
Q (kJ)	**182647,5111**		**Q (kJ)**	**72482,329**	
Aliran <46> *Steam* masuk kedalam *Evaporator*			Aliran <47> *Steam Condensat* keluar dari *Evaporator*		
Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**	**Komponen**	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**
Steam	1	1016,87	Steam	1	1016,87
Total	**1**	**1016,87**	**Total**	**1**	**1016,87**
T (K)	373,15		T (K)	328,057	
P (bar)	1		P (bar)	1	
Cp	1,820		Cp	4,240	
Q (kJ)	**2295136,105**		**Q (kJ)**	**426109,1124**	

		Aliran <18> Uap air keluar dari *Evaporator*		
		Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**
		Steam	1	757,71
		Total	**1**	**757,71**
		T (K)	334,064	
		P (bar)	1	
		Cp	1,820	
		Q (kJ)	**1979192,174**	
Total Massa	**2951,05**	**Total Massa**	**2951,05**	
Total Energi	**2477783,616**	**Total Energi**	**2477783,616**	

6. *Barometric Condenser* (H-224)



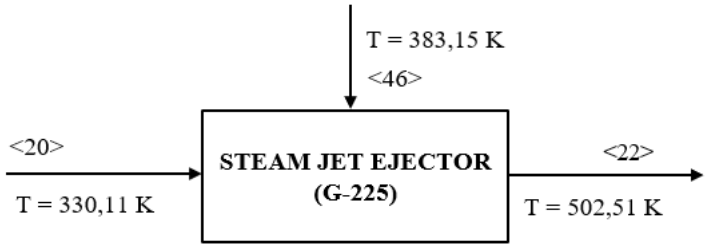
Fungsi : Untuk mengondensasikan uap yang keluar dari *evaporator*
Tekanan : 0,117 bar
Suhu : 334,06 K
Asumsi :

1. Suhu air pendingin sebesar 301,15 K

Tabel 4.8 Neraca Energi *Barometric Condense*r (H-224)

Neraca Aliran Masuk		Neraca Aliran Keluar	
Aliran <18> Vapor dari *Evaporator*		Aliran <21> Kondensat keluar dari *Barometric Condenser*	
T (K)	334,06	T (K)	330,35
P (bar)	0,117	P (bar)	0,117
Q (kJ)	**1624917,628**	**Q (kJ)**	**2935474,293**
Aliran <48> Air pendingin masuk *Barometric Condenser*		Aliran <20> Air pendingin keluar *Barometric Condenser*	
T (K)	303,15	T (K)	330,35
P (bar)	1	P (bar)	1
Q (kJ)	**378660,5279**	**Q (kJ)**	**164507,282**
Q serap (kJ)	**1096403,419**		
Total Energi	**3099981,575**	**Total Energi**	**3099981,575**

7. *Steam Jet Ejector* (G-225)

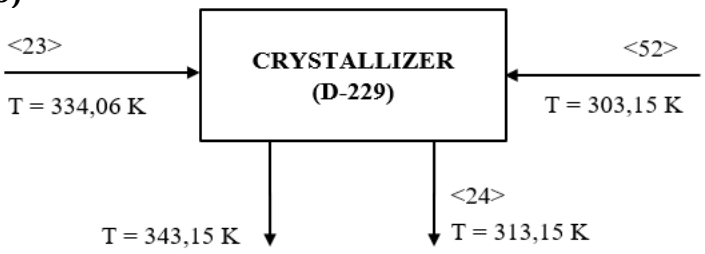


Fungsi : Untuk memvakum evaporator (sebagai pompa vakum)

Tabel 4.9 Neraca Energi *Steam Jet Ejector* (G-225)

Neraca Aliran Masuk		Neraca Aliran Keluar	
Aliran <20> Vapor dari *Barometric Condenser*		Aliran <22> Kondensat keluar ke *Hot Well*	
T (K)	330,35	T (K)	502,52
P (bar)	0,117	P (bar)	1
Q udara (kJ)	**379,2202368**	**Q cond(kJ)**	**5983345,169**
Aliran <46> Steam masuk Steam *Jet Ejector*			
T (K)	383,15		
P (bar)	1		
Q steam (kJ)	**6297858,893**	**Q loss (kJ)**	**314892,945**
Total Energi	**6298238,113**	**Total Energi**	**6298238,113**

8. *Crystallizer* (D-229)



Fungsi : Untuk mengondensasikan uap yang keluar dari *evaporator*
Tekanan : 1 bar
Suhu : 303,15 K

Tabel 4.10 Neraca Massa dan Energi Crystallizer (D-229)

Neraca Aliran Masuk			Neraca Aliran Keluar		
Aliran <23> Hemiselulosa dari Evaporator			Aliran <24> Hemiselulosa (padat)		
Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**	**Komponen**	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**
Selulosa	0	0	Selulosa	0	0
Hemiselulosa	0,85	1000	Hemiselulosa	0,893	923,01
Lignin	0	0	Lignin	0	0

Air	0,15	176,471	Air	0,10706	110,66
Total	**1**	**1176,471**	**Total**	1	**1033,67**
T (K)	334,06		T (K)	313,15	
P (bar)	1		P (bar)	1	
Cp	1,715		Cp	1,589	
Q (kJ)	**673946,496**		**Q (kJ)**	**514434,453**	
			Aliran <24> Hemiselulosa (liquid)		
			Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**
			Hemiselulosa	0,53917	76,99
			Air	0,46083	65,81
			Total	**1**	**142,80**
			T (K)	313,15	
			P (bar)	1	
			Cp	2,624	
			Q (kJ)	**117319,9668**	
Crystallization			Q Serap		
Q (kJ)	**48752,335**		**Q (kJ)**	**90944,412**	
Total Massa	**1176,47**		**Total Massa**	**1176,47**	
Total Energi	**722698,831**		**Total Energi**	**722698,831**	

9. Reaktor Delignifikasi (R-310)

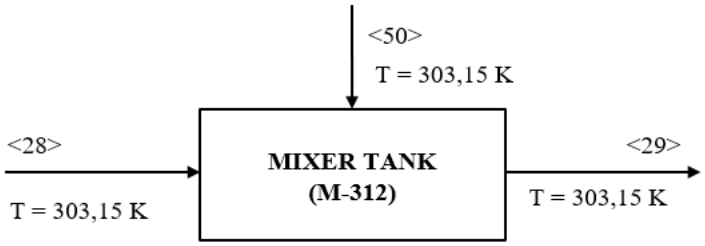
Fungsi : Untuk mengondensasikan uap yang keluar dari *evaporator*
Tekanan : 1 bar
Suhu : 393,15 K

Tabel 4.11 Neraca Massa dan Energi Reaktor Delignifikasi (R-310)

Neraca Aliran Masuk			Neraca Aliran Keluar		
Aliran <26> Selulosa Lignin dari *Screw Conveyor*			Aliran <32> Black liquor menuju Washing Tank		
Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**	**Komponen**	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**
Selulosa	0,47	1700	Selulosa	0,44264	1700
Hemiselulosa	0,00	0	Hemiselulosa	0	0
Lignin	0,52	1900	Lignin	0,40781	1566,227
Air	0,01	19,065	Air	0,05214	200,24
	0	0	Na-lignat	0,09742	374,15

Massa (kg)	**1**	**3619,06**	**Massa (kg)**	1	**3840,61**
T (K)	333,15		T (K)	394,15	
P (bar)	1		P (bar)	1	
Cp	1,324		Cp	1,379	
Q (kJ)	**1596096,248**		**Q (kJ)**	**2086824,625**	
Aliran <30> NaOH 17,5% dari Mixer Tank					
Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**			
NaOH	0,175	38,77			
Air	0,825	182,78			
Massa (kg)	**1**	**221,55**			
T (K)	303,15				
P (bar)	1				
Cp	4,107				
Q (kJ)	**275841,5574**				
$\Delta H_{394,15}$ (kJ)					
Q (kJ)	**-798135,402**				
Aliran <55> Q Steam Masuk (*Saturated*)			Aliran <57> Q Steam Keluar (*Saturated*)		
Massa (kg)	482,225		**Massa (kg)**	482,225	
hs	2199,45		hs	98,725	
T (K)	394,15		T (K)	394,15	
Q (kJ)	**1060630,053**		**Q (kJ)**	**47607,832**	
Total Massa	**4322,84**		**Total Massa**	**4322,84**	
Total Energi	**2134432,457**		**Total Energi**	**2134432,457**	

10. *Mixer Tank* (M-312)



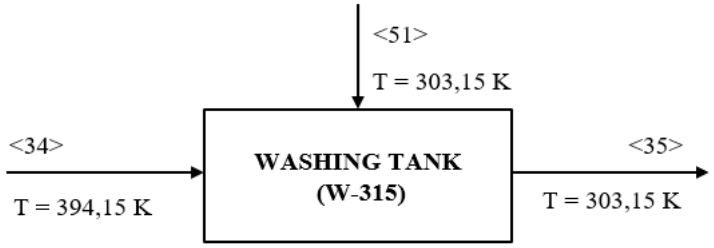
Fungsi : Proses pencampuran NaOH 48% menjadi NaOH 17,5%
Tekanan : 1 bar
Suhu : 358,15 K
Asumsi : Proses secara adiabatis, maka massa masuk aliran <28> di-trial hingga didapatkan nilai akumulasi Q sama dengan 0.

Tabel 4.12 Neraca Massa dan Energi Mixer Tank (M-312)

Neraca Aliran Masuk			Neraca Aliran Keluar		
Aliran <28> Larutan NaOH 48%			Aliran <29> NaOH 17,5% menuju *Delignification Tank*		
Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**	**Komponen**	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**

NaOH	0,48	38,771	NaOH	0,01009	38,771
Air	0,52	42,001	Air	0,04759	182,78
Massa (kg)	**1**	**80,77**	**Massa (kg)**	0,05769	**221,55**
T (K)	303,15		T (K)	303,150	
P (bar)	1		P (bar)	1,000	
Cp	3,898		Cp	4,107	
Q (kJ)	**95436,79657**		**Q (kJ)**	**275841,557**	
Aliran <50> Air dari Air Proses					
Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**			
Massa (kg)	**1**	**140,774**			
T (K)	300,15				
P (bar)	1				
Cp	4,200				
Q (kJ)	**177464,0722**				
ΔH pelarutan (kJ)					
Q (kJ)	**2940,689**				
Total Massa	**221,55**		**Total Massa**	**221,55**	
Total Energi	**275841,557**		**Total Energi**	**275841,557**	

11. *Washing Tank* (W-315)



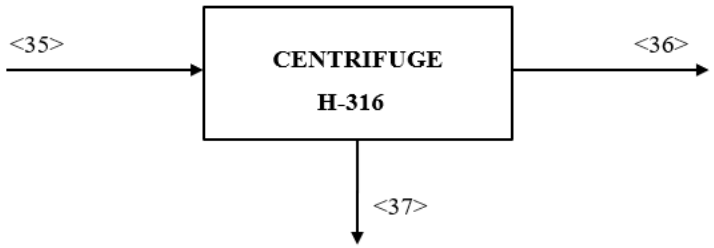
Fungsi : Pencucian seluosa agar menjadi white slurry dan memisahkan komponen lignin dan Na-lignan (namun masih dalam satu stream)
Tekanan : 1 bar
Suhu : 303,15 K

Tabel 4.13 Neraca Massa dan Energi *Washing Tank* (W-315)

Neraca Aliran Masuk			Neraca Aliran Keluar		
Aliran <34> *Black liquor* dari *Delignification Reactor*			Aliran <35> *Black Liquor* menuju *Centrifuge*		
Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**	**Komponen**	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**
Selulosa	0,44	1700	Selulosa	0,42194	1700
Hemiselulosa	0,00	0	Hemiselulosa	0	0

Lignin	0,41	1566,23	Lignin	0,38874	1566,227
Air	0,05	200,24	Air	0,09645	388,597
Na-lignat	0,10	374,147	Na-lignat	0,09286	374,147
Total	**1,00**	**3840,61**	**Total**	1	**4029**
T (K)	394,150		T (K)	303,150	
P (bar)	1		P (bar)	1	
Cp	1,379		Cp	1,511	
Q (kJ)	**2086824,625**		**Q (kJ)**	**1845993,695**	
Aliran <51> Air masuk					
Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**			
Air	1	188,360			
T (K)	303,150				
P (bar)	1				
Cp	4,220				
Q lost (kJ)	**-240968**				
Total Massa	**4028,971**		**Total Massa**	**4028,971**	
Total Energi	**1845856,644**		**Total Energi**	**1845993,695**	

12. *Centrifuge* (H-316)



Fungsi : Proses pemisahan antara Selulosa (fase padat) dengan Lignin (fase liquid)
Tekanan : 1 bar
Suhu : 303,15 K
Asumsi :

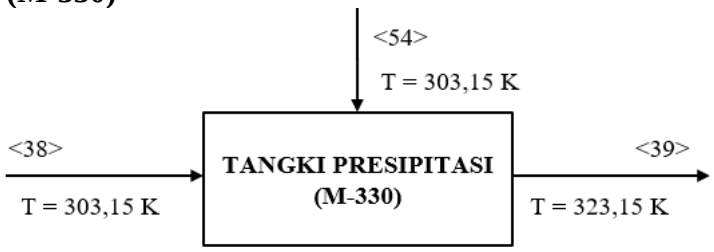
1. Terdapat 2% air dari Aliran <35> yang terikut pada Selulosa produk
2. Black liquor yang fase liquid terbawa seluruhnya pada Aliran <37>

Tabel 4.14 Neraca Massa *Centrifuge* (H-316)

Neraca Aliran Masuk			Neraca Aliran Keluar		
Aliran <35> Black liquor dari Washing Tank			Aliran <36> Selulosa sebagai produk		
Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**	**Komponen**	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**
Selulosa	0,42	1700	Selulosa	0,995	1700
Hemiselulosa	0	0	Hemiselulosa	0	0
Lignin	0,39	1565,9	Lignin	0	0
Air	0,10	389,0	Air	0,00456	7,78

Na-lignat	0,09	375	Na-lignat	0	0
Total	**1,00**	**4029,44**	**Total**	1	**1707,78**
			Aliran <37> *Black liquor* menuju *Storage Tank*		
			Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**
			Selulosa	0	0
			Hemiselulosa	0	0
			Lignin	0,67445	1565,85
			Air	0,16421	381,24
			Na-lignat	0,16134	374,57
			Total	**1**	**2322**
Total Massa	**4029**		**Total Massa**	**4029**	

13. *Precipitation Tank* (M-330)



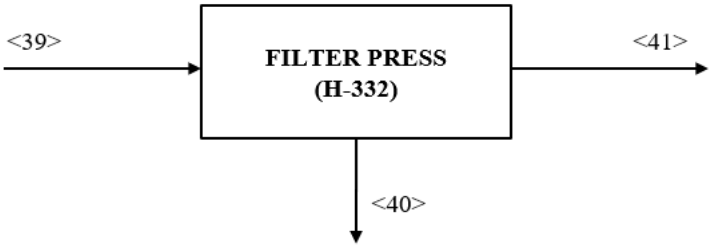
Fungsi : Proses pemisahan antara Selulosa (fase padat) dengan Lignin (fase liquid)
Tekanan : 1 bar
Suhu : 303,15 K

Tabel 4.15 Neraca Massa dan Energi *Precipitation Tank* (M-330)

Neraca Aliran Masuk			Neraca Aliran Keluar		
Aliran <38> *Black liquor* dari *Storage Tank*			Aliran <39> Lignin mneuju *Filter Press*		
Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**	**Komponen**	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**
Lignin	0,67	1566,23	Lignin	0,55516	1566,227
Air	0,16	380,83	Air	0,13853	391
Na-lignat	0,16	374,15	Na-lignat	0	0,000
			H_2SO_4	0,06853	193,346
			$NaHSO_3$	0,11159	314,816
			Lig(OH)	0,12618	355,985
Total	**1**	**2321,20**	**Total**	0,87382	**2821,20**
T (K)	303,150		T (K)	338,557	
P (bar)	1		P (bar)	1	
Cp	1,666		Cp	1,431	
Q (kJ)	**1172497,61**		**Q (kJ)**	**1366436,098**	
Aliran <54> H_2SO_4 98%					

Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**		
H_2SO_4	0,98	490		
Air	0,02	10		
Total	**1**	**500**		
T (K)	303,15			
P (bar)	1			
Cp	1,444			
Q (kJ)	**218910,678**			
ΔHr				
Q (kJ)	**-24972,191**			
Total Massa	**2821**		**Total Massa**	**2821**
Total Energi	**1366436,098**		**Total Energi**	**1366436,098**

14. *Filter Press* (H-332)



Fungsi : Proses pemisahan Lignin (fase padat) dengan Air Buangan (fase liquid)
Kondisi Operasi
Tekanan : 1 bar
Suhu : 303,15 K
Asumsi :

1. Tidak terjadi reaksi kimia (Konsumsi = Generasi = 0)
2. Komponen air yang terikut pada Lignin sebesar 2% dari Aliran <39>

Tabel 4.16 Neraca Massa *Filter Press* (H-332)

Neraca Aliran Masuk			Neraca Aliran Keluar		
Aliran <39> *Black Liquor* dari *Precipitation Tank*			Aliran <40> Lignin sebagai produk		
Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**	**Komponen**	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**
Lignin	0,635	1566,23	Lignin	0,99503	1566,23
Air	0,159	391	Air	0,00497	7,817
Na-lignat	0,000	0	Na-lignat	0	0
H_2SO_4	0,078	193	H_2SO_4	0	0
Na_2SO_4	0,128	315	Na_2SO_4	0	0

Total	1,000	2465,21	Total	1	1574,04
			Aliran <41> Air Buangan menuju WWTP		
			Komponen	**Fraksi massa**	**Massa (kg)**
			Lignin	0	0
			Air	0,42978	383
			Na-lignat	0	0
			H_2SO_4	0,21696	193
			Na_2SO_4	0,35326	315
			Total	**1**	**891,17**
Total Massa	**2465,21**		**Total Massa**	**2465,21**	

Nilai tingkat % moisture pada produk sebagai berikut :

1. Selulosa = ± 0,005%
2. Hemiselulosa = ± 0,06%
3. Lignin = ± 0,005%

IV.2 Kebutuhan Panas dan Power

Kebutuhan panas dan power pabrik fraksinasi lignoselulosa dari sabut kelapa dengan metode *Steam Explosion* disajikan pada **Tabel 4.17** dan **Tabel 4.18** Data ini diperoleh melalui perhitungan neraca energi dan spesifikasi alat pada Appendiks A dan Appendiks B.

Tabel 4.17 Kebutuhan Panas Pabrik Fraksinasi Lignoselulosa dari Sabut Kelapa dengan *Steam Explosion*.

Kode	Nama Alat	Kebutuhan Panas (kJ)
R-210	*Steam Explosion Reactor*	6.212.357,47
E-214	*Rotary Cooler*	18.560.908,76
V-220	*Vacuum Evaporator*	2.477.783,62
H-224	*Barometrcic Condenser*	3.099.981,58
G-225	*Steam Ejector*	6.298.238,11
D-229	*Crystallization*	722.698,83
R-310	*Delignification Reactor 1*	2.134.432,45
R-320	*Delignification Reactor 2*	2.134.432,45
M-312	*Mixer Tank*	275.841,55
W-315	*Washing Tank*	1.845.925,17
M-330	*Precipitation Tank*	1.366.369,26
Total Kebutuhan Panas		**45.128.969,24**

Tabel 4.18 Kebutuhan Power Pabrik Fraksinasi Lignoselulosa dari Sabut Kelapa dengan *Steam Explosion.*

Kode	Nama Alat	Power (hp)
J-112	*Screw Conveyor 1*	1

Kode	Nama Alat	Power (hp)
C-113	*Hammer Mill*	73,8
J-115	*Screw Conveyor 2*	1
E-214	*Rotary Cooler*	156
G-215	*Blower*	20
H-218	*Filter Press 1*	6
H-219	*Filter Press 2*	6
J-331	*Screw Conveyor 3*	1
J-321	*Screw Conveyor 4*	1
R-310	*Delignification Reactor 1*	3
R-320	*Delignification Reactor 2*	3
M-312	*Mixer Tank*	1
W-315	*Washing Tank*	2
H-316	*Centrifuge*	6
M-330	*Precipitation Tank*	1
H-332	*Filter Press 3*	6
P-223	*Pump 1*	1
P-228	*Pump 2*	1
Total Kebutuhan Power		**289,8**

BAB V
DAFTAR DAN HARGA PERALATAN

Spesifikasi peralatan yang digunakan dalam Pra-Desain Pabrik Lignoselulosa dari Sabut Kelapa dengan Steam Explosion sebagai berikut:

V.1. Daftar Peralatan

Tabel 5.1. Daftar Peralatan Pabrik

No	Code	Name	Qty	Type	Process Data				Sizing	Material
					Cap. (Kg/h)	Temp. (°C)	Density (kg/m^3)	Viscosity (cP)		
A	***Pre-treatment* Bahan Baku**									
1	F-111 F-114	Gudang Penyimpanan	2	*Housing*	5000	30	715	-	Volume 1.037.215 m^3 Waktu tinggal 24 minggu	Beton
2	C-112 C-115	*Screw Conveyor*	2	*Conveyor* dengan *solid screw* yang dilengkapi dengan *intermediate bearing*	6000	30	715	-	2 hp, Diameter 20 in, Panjang 320 in, *Speed* 21 rpm	*Carbon Steel*
3	C-113	*Hammer Mill*	1	*Crusher* Model SFSP 60’60	6000	30	715	-	Panjang 77 in, lebar 35 in, tinggi 40,6 in, 74 hp	*Stainless Steel*
B	**Tahap *Steam Explosion***									
4	R-201	*Steam Explosion Reactor*	1	Silinder dengan tutup atas *standard dished head*	5000	213	715	-	Volume 2365 ft^3, diameter nozzle 1 in, ID 153 in,	*Stainless Steel, SA-167 Grade 3 Tipe 304*

				dan yang dilengkapi dengan *nozzle*					tinggi silinder 229 in, tebal silinder 1.9 in	
5	T-212	*Blow Tank*	1	Bejana silinder dengan tutup atas dan tutup bawah *stardard dished*	9000	100	715	-	Volume 445 ft^3 , ID 28 in, tinggi 42 in , tebal 0,188 in	*Stainless Steel,* SA-167 Grade 3 Tipe 304
6	G-215	*Blower*	1	*Single stage blower discharge pressure*	4.369.171	30	995,7	-	39 hp	*Carbon steel*
7	E-214	*Rotary Cooler*	1	*Direct Cold Rotary Cooler*	8000	30	7817	-	156 hp, diameter 72 in, panjang 49 ft	*Stainless Steel,* SA-167 Grade 3 Tipe 304
8	H-218 H-219	*Filter Press*	2	Filter yang dilengkapi dengan plat-plat	5000	60	715	-	Panjang 123 in, lebar 31 in, tinggi 35 in, plate size 4x4, 6 hp	*Carbon steel*
9	ST-221	*Storage Tank* Hemiselulosa	1	Silinder dengan tutup atas dan tutup bawah standar *dished head*	2000	60	1520	-	Volume 57 ft^3, ID 48 in, tinggi silinder 72 in, tebal silinder 0,1875 in	*Carbon Steel,* SA-299, Grade C
10	P-223	Pompa	1	*Centrifugal Pump*	6 gpm	60	1520	0,601	1 hp	*Cast Iron*

11	V-220	*Vacuum Evaporator*	1	*Horizontal Tube Evaporator*	1935	48,9	1520	0,601	Luas perpindahan panas 88 ft^2 , ukuran tube 1 ½ in, ukuran pitch 1 7/8, jumlah tube 22 Steam economy 0,745	*Carbon Steel, SA-299, Grade C*
12	H-224	*Barometric Condensor*	1	*Counter-Current Dry Air Condenser*	758	60,91	995,7	-	Tinggi kolom 34 ft, diameter barometric 1 ft, diameter condensor 16 in	*Carbon Steel, SA 283, Grade B*
13	G-225	*Steam Jet Ejector*	1	*Single Stage Jet*	227	60,91	995,7	-	Panjang 4 in	*Carbon Steel, SA 283, Grade C*
14	F-226	*Hot Well*	1	Balok	1122	56,96	984,24	-	7x4x4 ft^3	Beton Bertulang
15	P-228	Pompa	1	*Centrifugal Pump*	4 gpm	60,91	1520	0,635	1 hp	*Cast Iron*
16	D-229	*Crystallizer*	1			45	1520	0,635	6 in sch. 40 standart IPS, tinggi 2 m, diameter 1 m	*Carbon Steel* SA 203 grade C (21/2 Ni)
C. Tahap Delignifikasi										

17		*Screw Conveyor*	2	Conveyor dengan solid screw yang dilengkapi den gan intermediate bearing	5000	60	1350	-	1 hp, Diameter 16 in, Panjang 192 in, *Speed* 16 rpm	*Carbon Steel*
18	R-310 R-320	Tangki Delignifkasi	2	Bejana silinder dengan tutup atas dan tutup bawah *stardard dished* dilengkapi dengan agitator	9000	121	1350	-	Volume 102 ft^3, ID 60 in, tinggi silinder 90 in, tebal silinder 0.1875 in, *Flat six blade turbine with disk,* 3 hp	*Stainless Steel SA-167, Grade 3 Tipe 304*
19	M-315	*Mixer Tank*	1	Bejana silinder dengan tutup atas dan tutup bawah *stardard dished* dilengkapi dengan agitator	1000	85	1500	0,5431	Volume 8 ft^3, ID 22 in, tinggi silinder 40 in, tebal silinder 0.1875 in, *Flat six blade turbine with disk,* 1 hp, kecepatan 90 rpm	Stainless Steel SA-167, Grade 3 Tipe 304
20	W-315	*Washing Tank*	1	Bejana silinder dengan tutup atas dan	5000	30	1500	0,5431	Volume 107 ft^3, ID 54 in, tinggi silinder 99 in, tebal	*Stainless Steel* SA-167,

				tutup bawah *stardard dished* dilengkapi dengan agitator					silinder 0,25 in, *Flat six blade turbine with disk*, 2 hp, kecepatan 90 rpm	Grade 3 Tipe 304
21	H-316	*Centrifuge*	1	*Discharge centrifuge*	5000	30	1500	0,5431	Tinggi 1,7 in, *diameter bowl* 13 in, *diameter disc* 4,1 in, 6 hp	*Carbon Steel*
22	ST-317	*Storage Tank*	1	Bejana silinder dengan tutup atas dan tutup bawah *standard dished*	3000	30	1500	0,5431	Volume 67 ft^3, ID 48 in, tiggi silinder 88 in, tebal silinder 0,25 in	*Carbon Steel* SA-212, Grade B
23	M-330	*Precipitation Tank*	1	Bejana silinder dengan tutup atas dan tutup bawah *standard dished* dilengkapi dengan agitator	3000	30	1500	0,5431	Volume 78 ft^3, ID 48 in, tinggi silinder 88 in, tebal silinder 0,25 in, *Flat six blade turbine with disk*, 1 hp, kecepatan 90 rpm	*Stainless Steel* SA-167, Grade 3 Tipe 304
24	H-332	*Filter Press*	2	Filter yang dilengkapi	3000	30	1500	0,5431	Panjang 123 in, lebar 3 in,	*Carbon Steel*

				dengan plat-plat					tinggi 35 in, plate size 4x4, 6 hp	

V.2. Daftar dan Harga Peralatan

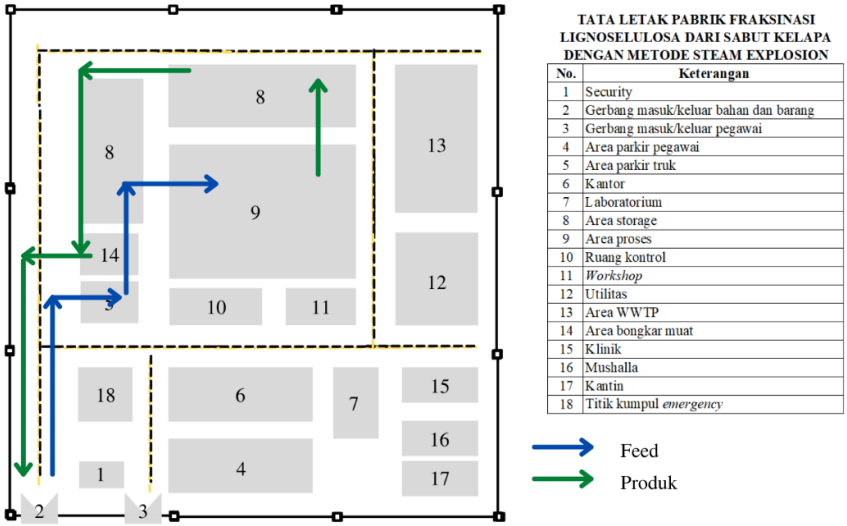
Perkiraan harga peralatan diperoleh dari website www.matche.com yang memberikan harga peralatan berdasarkan FOB (Free on Board) dari Gulf Coast USA. Harga peralatan Pabrik Fraksinasi Lignoselulosa dari Sabut Kelapa dengan Metode *Steam Explosion* disajikan pada **Tabel 5.2**. Berdasarkan website tersebut, data peralatan pada tahun 2014 sehingga dilakukan perhitungan harga peralatan pada tahun 2021 menggunakan perbandingan *cost index.*

Tabel 5.2 Daftar dan Harga Peralatan pada Tahun 2022

Kode	Nama Alat	Jumlah Alat (unit)	Total Harga (US$)
J-112	*Screw Conveyor 1*	1	12.889
C-113	*Hammer Mill*	1	61.084
J-115	*Screw Conveyor 2*	1	12.889
R-210	*Steam Explosion Reactor*	1	917.497
T-212	*Blow Tank*	1	120.151
E-214	*Rotary Cooler*	1	336.244
G-215	*Blower*	1	44.160
H-218	*Filter Press 1*	1	162.182
H-219	*Filter Press 2*	1	162.182
ST-221	*Storage Tank Hemiseulosa*	1	34.745
V-220	*Evaporator*	1	62.765
H-224	*Barometric condenser*	1	7.846
G-225	*Steam Ejector*	1	1.009
D-229	*Crystalizer*	1	85.182
F-226	*Hotwell*	1	6.725
J-331	*Screw Conveyor 3*	1	8.406
J-321	*Screw Conveyor 4*	1	8.406
R-310	*Delignification Reactor 1*	1	135.618
R-320	*Delignification Reactor 2*	1	135.618
M-312	*Mixer Tank*	1	112.081
W-315	*Washing Tank*	1	325.036
H-316	*Centrifuge*	1	41.470
ST-317	*Storage Tank*	1	101.882
M-330	*Precipitation Tank*	1	403.492
H-332	*Filter Press 3*	1	112.081
P-223	*Pump 1*	1	15.131
P-228	*Pump 2*	1	15.131
Total		**27**	**3.441.902**

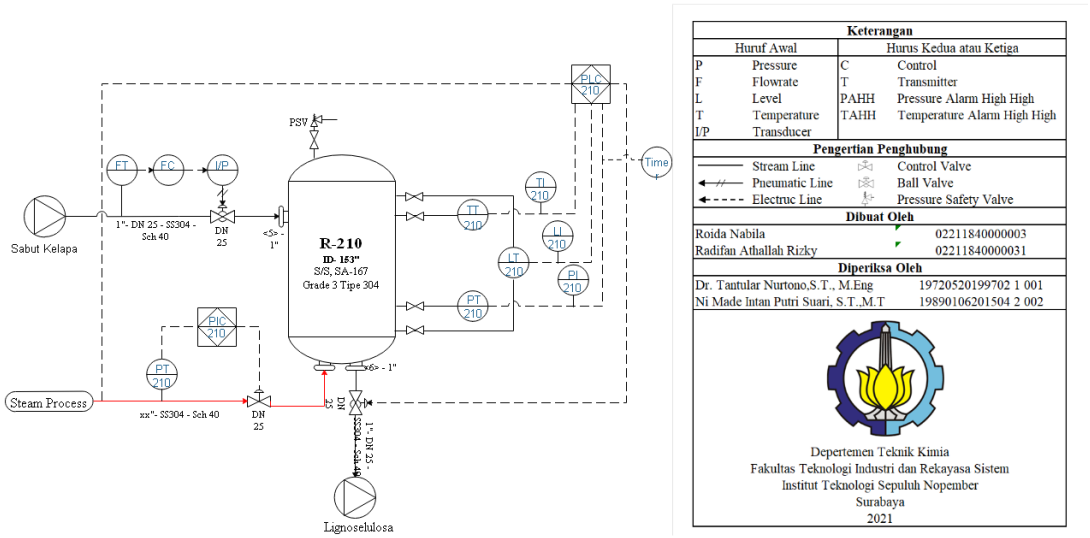
V.3. Tata Letak Pabrik Secara Garis Besar

Tata letak pabrik adalah pengaturan fasilitas-fasilitas produksi dalam sebuah pabrik agar proses berlangsung dengan lancar dalam aspek aliran material dari suatu proses ke proses berikutnya. Selain itu, tata letak pabrik juga dapat menentukan luas lahan yang diperlukan untuk mendirikan suatu pabrik. Tata letak Pabrik Fraksinasi Lignoselulosa dari Sabut Kelapa dengan Steam Explosion disajikan pada **Gambar V.1.**



Gambar 5.1 Tata Letak Pabrik

V.4. P&ID Alat Utama dan Preliminary HAZOP



Gambar 5.2 *Piping and Instrumentation Design Steam Explosion Reactor* (R-201)

Tabel 5.3 *Preliminary HAZOP Steam Explosion Reactor* (R-201)

Nama Alat	Parameter	Guidewords (Deviasi)	Kemungkinan Penyebab	Konsekuensi	Tindakan
Feed Lignoselulosa	Aliran	More	Valve terbuka terlalu besar, sistem control tidak berfungsi	Yield produk keluaran tidak tercapai	Kalibrasi ulang, penetapan set point, perbaikan atau penggantian valve, perbaikan sistem control
				Reaktor kelebihan kapasitas	
		Less	Valve terbuka terlalu kecil, valve tersumbat,	Kapasitas dan yield produk yang diinginkan tidak tercapai	

Nama Alat	Parameter	Guidewords (Deviasi)	Kemungkinan Penyebab	Konsekuensi	Tindakan
			sistem control tidak berfungsi		
		No	Valve tidak dapat terbuka	Tidak terjadi proses fraksinasi	Shutdown proses, dilakukan perbaikan atau penggantian valve
Steam Explosion Reactor	Flow	None	Circuit Breaker Trip, aliran pipa tersumbar, aktutator bermasalahan, valve tertutup	Proses produksi terhambat	Memasang ground-fault circuit interrupter outlet dan menggantinya dengan automated valve, PLC wajib bekerja dgn normal & tidak Trip
		Low	Valve terbuka sebagian / Aliran steam terlalu kecil	Pressurization terlalu lama	Seluruh instrumen flow measurement & control harus terintegrasi dgn baik
				Fraksinasi gagal	
		High	Aliran *steam* dari boiler terlalu besar	Timbul akumulasi tekanan dan berpotensi terjadi ledakan dalam skala besar	Melengkapi reaktor untuk menahan tekanan tinggi dan memasang katup Pelepas darurat
	Tekanan dan Suhu	Too low or Too high	*Transmitter / Controller* Tekanan dan Suhu rusak, alarm tidak bekerja	Fraksinasi gagal	Pengontrolan kondisi dan pengecekan suhu dan tekanan secara berkala dan terintegrasi. Kalibrasi seluruh safety
				Terjadi ledakan besar	

Nama Alat	Parameter	Guidewords (Deviasi)	Kemungkinan Penyebab	Konsekuensi	Tindakan
					system secara berkala
	Time	Short	Kesalahan pengaturan PLC	*Pipeline failure & rupture*, ledakan besar	Memastikan & memeriksa pengaturan monitoring & measurement secara berkala
		Long	Aktuator valve bermasalah	*Sudden Decompression* gagal = fraksinasi gagal	Kalibrasi rangkaian aktuator dan transmitter secara berkala
Discharge Lignoselulosa	Aliran	More	Valve terbuka terlalu besar	Peralatan selanjutnya dapat overload dan mengakibatkan kerusakan alat	Kalibrasi ulang, penetapan set point ulang. Perbaikan atau penggantian valve, perbaikan sistem kontrol
		Less	Valve terbuka terlalu kecil	Waktu pengosongan tank lebih lama, mengganggu proses selanjutnya	
		No	Valve tidak dapat terbuka	*Tidak terjadi proses fraksinasi*	Shutdown proses, dilakukan perbaikan atau penggantian valve

V.4.1 Layer of Protrection Anysis (LOPA)

LOPA merupakan suatu metode yang digunakan untuk menilai tingkat keamanan suatu *plant* (*safety*) terhadap suatu resiko bahaya dengan menganalisa lapisan-lapisan pelindung yang telah diterapkan pada sistem. Berikut ini langkah-langkah dalam Analisa LOPA yaitu :

1. Langkah pertama yang dilakukan adalah identifikasi konsekuensu dimana bisa diambil scenario dengan tingkat keparahan tertinggi dalam HAZOP. Dalam hal ini dipilih terjadi ledakan besar pada reaktor
2. Menentukan *tolerable frequency* (TF) dalam perusahaan, asumsi nilai dari TF pada reaktor *steam explosion* adalah 0,01%

3. Menetapkan *initiating event* (IE) yaitu hal hal yang menginisiasi yaitu hal hal yang menjadi *trigger* terjadinya konsekuensi. Dalam hal ini, *pressure indicator control valve* (PIC) tidak bekerja secara baik. Lalu menentukan probabilitas setiap 10 tahun terjadi kegagalan 1 kali atau 0,1
4. Identifikasi *Independent Layer Protection* (IPL) atau biasa diasosiasikan dengan *safeguard* yang merupakan Tindakan preventif dan sebagai pelinding atas identifikasi resiko yang mungkin terjadi, dalam hal ini hal yang perlu dilakukan adalah mengecek ulang *Pressure Safety Valve* (PSV) untuk mencegah konskuensi terjadi dengan asumsi nilai 0,1. Dalam hal ini adalah Pengontrolan kondisi dan pengecekan suhu dan tekanan
5. Mengkalkulasi ekspektasi frekuensi untuk konsekuensi dilihat dari probabilitas IE dan PSV yang bisa menyebabkan ledakan. Dalam ini nilai IE dikali dengan nilai PSV menghasikan frekuensi untuk konsekuensi adalah 0,01 atau 1%
6. Membuat skenario dimana pabrik harus menerima resiko yang dapat diterima berdasarkan nilai dari *tolerable frequency*. Dalam hal ini frekuensi terjadinya konsekuensi adalah 1% seperti nomor 5. Lalu asumsikan frekuensi yang dapat diterima adalah 0,01% seperti nomor 2. Hal ini menunjukkan frekuensi terjadinya resiko belum memenuhi TF sehingga perlu ditambahkan cara mengurangi sampe TF
7. Menentukan tambahan pada *safeguard* yang baru untuk mengurangi frekuensi terjadinya resiko, dalam hal ini adalah Kalibrasi seluruh safety system secara berkala. Hal ini termasuk dalam *Safety Instrument Function* yang bekerja secara otomatis

Berdasakan metode perhitungan diatas, maka merikut adalah table perhitungan LOPA berdasarkan frekuensi kegagalan mekanik yang menjelaskan beberapa frekuensi terjadi nya beserta konsekuensi yang terjadi.

Tabel 5.4 Frekuensi Kegagalan Mekanikal Berdasarkan Perhitungan LOPA

Alat	Konsekuensi yang terjadi	Rata Rata Gemetrik	Rentang Frekuensi	Sumber
Feed Lignoselulosa	Valve terbuka terlalu besar, sistem control tidak berfungsi	1×10^{-1} per tahun	1 sampai 1×10^{-2} per tahun	CCPS
Steam Explosion Reactor	Safety valve tidak berfungsi	1×10^{-3} per tahun	1×10^{-2} sampai 1×10^{-4} per tahun	CCPS
Discharge Lignoselulosa	Valve tidak dapat terbuka	3×10^{-1} per tahun	1 sampai 1×10^{-1} per tahun	CCPS

Analisa selanjutnya sebagai respon dari kegagalan mekanikal adalah adanya *safeguard* dengan IPL dan juga *probability of failure on demand* (PFD), dimana pada *safeguard* dibagi menjadi *active protection layer, passive protection layer,* dan *human independent protection layer*. Dalam penentuan *safeguard* digunakan nilai probabilitas, misalnya menentukan SIF yang tergolong *Safety Integrity Level* 2 (SIL 2) yang merupakan parameter keselamatan dimana disini harus berdasarkan pada LOPA sendiri. Nilai SIF pada golongan ini akan bernilai 0,01. Lalu dihitung perkiraan frekuensi baru dengan PSV dikasi PIC gagal beroperasi dikasi frekuensi SIF maka didapat 0,1 x 0,1 x 0,01 = 0,0001 per tahun atau 0,01%. Maka dapat dicantumkan *safeguard* seperti pada **Tabel 5.5**.

Tabel 5.5 Macam - Macam *Independent Layer Protection*

Independent Protection Layer	Rata Rata Gemetrik	PFD	Sumber

Active Independent Protective Layer			
Perbaikan dan pergantian dengan relief Valve	1×10^{-3}	1×10^{-1} sampai 1×10^{-5}	CCPS
Passive Independent Protective Layer			
Sistem kontrol suhu dan tekanan	1×10^{-2}	1×10^{-1} sampai 1×10^{-3}	CCPS
Human Independent Protective Layer			
Monitoring system pada alat dan juga kalibrasi dnegan respon 10 menit	3×10^{-1}	1 sampai 1×10^{-5}	CCPS

BAB VI
ANALISA EKONOMI DAN ANALISA DAMPAT TERHADAP LINGKUNGAN

Analisa ekonomi dapat dijadikan sebagai salah satu parameter apakah suatu pabrik tersebut dapat didirikan atau tidak. Untuk menentukan kelayakan suatu pabrik secara ekonomi, diperlukan perhitungan bahan baku yang dibutuhkan dan produk yang dihasilkan menurut neraca massa yang telah tercantum pada Appendik A. Harga peralatan untuk proses berdasarkan spesifikasi peralatan yang dibutuhkan seperti yang tercantum pada Appendiks B dihitung berdasarkan pada neraca massa dan neraca energi. Selain itu, diperlukan juga analisa biaya untuk operasi dan utilitas, jumlah dan gaji karyawan serta pengadaan lahan untuk pembangunan pabrik.

VI.1. Asumsi-Asumsi

Analisa ekonomi dilakukan dengan menggunakan metode *discounted cash flow*, yaitu *cash flow* yang nilainya diproyeksikan pada masa sekarang. Adapun asumsi – asumsi yang digunakan sebagai berikut:

1. Pabrik akan didirikan di Kabupaten Indragiri Hilir, Riau dengan perencanaan berdiri pada tahun 2022 dan mulai beroperasi pada tahun 2025.
2. Umur pabrik diperkirakan selama 20 tahun dengan depresiasi sebesar 10% per tahun.
3. Modal investasi terbagi menjadi dua yaitu modal sendiri (*equity*) sebesar 40% dan modal pinjaman bank (*loan*) sebesar 60%.
4. Pengembalian modal pinjaman bank sebesar 10% per tahun dengan lama waktu pengembalian selama 10 tahun.
5. Laju inflasi terhadap modal sebesar 1,75% per tahun dan bunga bank sebesar 8 % per tahun.
6. Massa konstruksi adalah dua tahun dengan rincian penggunaan modal sebagai berikut:
   a. Tahun pertama menggunakan 50% modal sendiri (*equity*) dan 30% modal pinjaman bank (*loan*).
   b. Tahun kedua menggunakan sisa modal sendiri (*equity*) dan modal pinjaman (*loan*).VI-2
7. Pembayaran modal pinjaman selama konstruksi dilakukan secara diskrit dengan cara sebagai berikut:
   a. Pada masa awal konstruksi (tahun pertama (-2)) dilakukan pembayaran sebesar 30% dari modal pinjaman bank (*loan*) untuk keperluan pembelian tanah dan yang muka.
   b. Pada akhir tahun kedua konstruksi (tahun kedua (-1)) dibayarkan sisa modal pinjaman bank (*loan*).
8. Kapasitas produksi pabrik pada tahun pertama operasi sebesar 60%, tahun kedua sebesar 80%, tahun ketiga dan seterusnya sebesar 100%.
9. Pajak pendapatan menurut Undang-Undang Perpajakan No.17 Tahun 2012 Pasal 17 Ayat 2 sebesar 30% untuk pendapatan lebih dari Rp. 500.000.000,-.

VI.2. CAPEX dan OPEX

Dalam analisas ekonomi, perlu dilakukan peninjauan terlebih dahulu terhadap Capital Expenditure (CAPEX) dan Operating Expenditure (OPEX) suatu pabrik yang akan didirikan.

VI.2.1 Capital Expenditure (CAPEX)

CAPEX biasanya juga dikenal dengan FCI (*Fixed Capital Investment*) merupakan modal yang diperlukan untuk fasilitas manufaktur atau peralatan proses dalam pabrik dengan

komponen yang ditentukan untuk proses operasi yang lengkap. Biaya yang termasuk dalam *Fixed Capital Investment* manufaktur seperti biaya untuk persiapan lokasi, peripaan, instrumen, insulasi, pondasi, dan fasilitas tambahan. Sedangkan *Fixed Capital Investment non-manufaktur* adalah modal yang dibutuhkan untuk *overhead* konstruksi dan untuk semua komponen pabrik yang tidak terkait langsung dengan proses operasi. Pabrik Fraksinasi Ligoselulosa dari Sabut Kelapa dengan Metode *Steam Explosion* merupakan *solid-fluid processing plant*, sehingga diperoleh :

a. *Direct Cost* (DC) atau Biaya Langsung

Tabel 6.1 Perhitungan Biaya Langsung (DC)
(Sumber : Timmerhaus 5th Ed. Tabel 6-6 page 253)

No	Komponen	Persentase		Nilai Harga
1	Harga Peralatan	E		Rp 80.583.277.500
2	Instalasi Peralatan	39%	E	Rp 31.427.478.225
3	Instrumentasi dan Kontrol	26%	E	Rp 20.951.652.150
4	Perpipaan (terpasang)	31%	E	Rp 24.980.816.025
5	Listrik (terpasang)	10%	E	Rp 8.058.327.750
6	Bangunan dan Perlengkapan	29%	E	Rp 23.369.150.475
7	*Facilities Service*	55%	E	Rp 44.320.802.625
8	Tanah	12%	E	Rp 9.669.993.300
Total Biaya Langsung (DC)				**Rp243.361.498.050,0**

b. Indirect Cost (IC) atau Biaya Tidak Langsung

Tabel 6.2 Perhitungan Biaya Tidak Langsung (IC)
(Sumber : Timmerhaus 5th Ed. Tabel 6-6 page 253)

No	Komponen	Persentase		Nilai Harga		
1	*Engineering & Supervision*	32%	E	Rp 25.786.648.800		
2	Biaya Konstruksi	34%	E	Rp 27.398.314.350		
3	Biaya Kontraktor	19%	FCI	19%	x	FCI
4	Biaya Tak Terduga	37%	FCI	37%	x	FCI
Total Biaya Tidak Langsung (IC)		**56%**	**FCI +**	**Rp 53.184.963.150**		

Berdasarkan **Tabel 6.1** dan **Tabel 6.2** dan perhitungan pada Appendiks C, maka diperoleh harga *Capital Expenditure* (CAPEX) sebesar Rp. 673.969.230.000,-

VI.2.2 *Operating Expenditure* (OPEX)

Biaya operasional yang dikeluarkan yang berkontribusi dalam pabrik yang meliputi pemulihan investasi modal, biaya penjualan dan administrasi, biaya iklan, biaya penyusutan, serta perbaikan dan pemeliharaan. OPEX biasanya dapat dikenal dengan TPC (*Total Production Cost*) Biaya ini terbagi menjadi 2 kategori yaitu biaya produksi/operasi dan pengeluaran umum. Biaya OPEX dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$OPEX = MC + GE \quad \text{.....(6.1)}$$
$$MC = DPC + FC + POC \quad \text{.....(6.2)}$$

Sehingga,

$$OPEX = DPC + FC + POC + GE \quad \text{.....(6.3)}$$

Keterangan :

DPC : *Direct Production Cost* atau Biaya Produksi Langsung
FC : *Fixed Charge* atau Biaya Tetap
POC : *Plant Overhead Cost*
GE : *General Expenses* atau Biaya Pengeluaran Umum

Berdasarkan perhitungan pada Appendiks C, maka diperoleh nilai *Operating Expenditure* (OPEX) sebesar Rp 418.714.134.988,-

VI.2.3 Hubungan antara OPEX atau TPC dengan WCI (*Working Capital Investment*)

WCI (*Working Capital Investement*) adalah modal yang harus dikeluarkan untuk menjalankan proses produksi pabrik dalam jangka waktu tertentu yaitu 1,3,6 bulan atau 1 tahun. Di Indonesia waktunya antara 3 sampai 12 bulan. Dalam WCI (*Working Capital Investment*) memiliki minimal biaya produksi di setiap 3 bulan,karena bahan baku produk dan hutang harus diselesaikan selama 3 bulan. Sehingga memiliki hubungan dengan OPEX atau TPC (Total Production Cost), sehingga biaya produksi pada 3 bulan memiliki nilai yang kecil dari atau sama dengan nilai WCI.

Biaya Produksi (TPC) : Rp. 418.714.134.988 / tahun
Biaya Produksi (TPC) : Rp. 104.678.533.747 / 3 bulan
Biaya WCI : Rp. 118.935.746.550

WCI merupakan modal yang harus dikeluarkan saat menjalankan proses, sehingga nilai WCI lebih besar dengan biaya produksi selama 3 bulan (WCI > TPC selama 3 bulan) , sehingga biaya produksi memadai.

VI.3. NPV, IRR, POT, *Cash Flow*, Sensitivitas terhadap IRR

VI.3.1 *Cash Flow*

Cash flow merupakan laporan keuangan yang berisi tentang informasi penerimaan dan pengeluaran kas dalam sebuah perusahaan pada periode waktu tertentu. Data *cash flow* dilakukan pada Appendiks C, data *cash flow* yang didapatkan digunakan dalam analisa ekonomi pabrik yang meliputi POT, IRR, NPV, dan BEP.

VI.3.2 Laju Pengembalian Modal (*Internal Rate of Return*, IRR)

Internal rate of return berdasarkan *discounted cash flow* adalah tingkat bunga tertentu, dimana seluruh penerimaan akan dapat menutup seluruh jumlah pengeluaran modal. Cara yang dilakukan adalah dengan *trial* "i (harga tingkat bunga)" hingga memenuhi persamaan berikut ini :

$$\sum_{n=1}^{10} \frac{CF_n}{(1+i)^n} = total\ modal\ akhir\ masa\ konstruksi \quad \text{.....(6-4)}$$

Keterangan :

n : Tahun
$1/(1+i)^n$: *Discount factor*
CF : *Net Cash Flow* pada tahun ke-n

Berdasarkan perhitungan pada Appendiks C, maka diperoleh nilai i sebesar 18%, dimana lebih besar dari harga i untuk bunga pinjaman yaitu sebesar 8% /tahun (Nilai IRR >

Nilai bunga bank). Hal ini membuktikan bahwa pabrik ini layak untuk didirikan dengan tingkat suku bunga sebesar 8%. Parameter lanjutan mengenai IRR dapat dilihat kelayakannya dari hubungan dengan *Weighted Average Cost of Capital* (WACC) yang merupakan rata rata perkiraan biaya dana masa depan dengan kalkulasi sebanding antara hutang (*debt)* dengan modal perusahaan (*equity*). Kelayakan pabrik dapat diukur jika IRR lebih besar dari WACC, yang menunjukkan tingkat pengembalian pabrik tersebut lebih besar dari biaya modal yang diinvestasikan dan harus diterima.

Berdasarkan perhitungan di Appendiks, diperoleh nilai WACC sebesar 10% dengan nilai IRR diatas sebesar 18% menunjukkan pabrik layak didirikan dengan nilai proyek investasi lebih besar daripada biaya rata rata tertimbang modal.

VI.3.3 *Net Present Value* (NPV)

Net Present Value merupakan selisih antara present value dari investasi dengan nilai sekarang dari penerimaan kas bersih di masa yang akan dating. Dalam menghitung nilai sekarang perlu ditentukan tingkat suku bunga yang relavan. NPV dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_T}{(1+i)^t} - CF_0 \quad \text{.....(6.5)}$$

Keterangan :

CFt : Aliran kas masuk pada periode t
CF0 : Nilai investasi saat ini
t : Tahun ke-
n : Waktu investasi
i : *Discount rate*

Dalam menghitung NPV, diperlukan nilai WACC dengan persamaan sebagai berikut :

$$WACC = \left(\frac{\%\ modal\ sendiri}{100\%}\ x\ \%\ bunga\ modal\ sendiri\right) + \left(\frac{\%\ pinjaman}{100\%}\ x\ \%\ bunga\ bank\right)$$

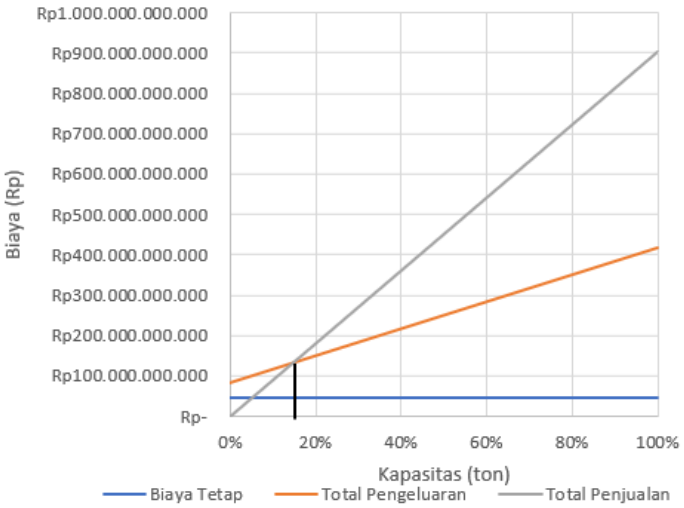
Berdasarkan perhitungan di Appendiks, diperoleh nilai WACC sebesar 10% dan nilai NPV sebesar Rp1.202.357.058,066,-. Nilai NPV lebih dari nol (NPV > 0) sehingga proyeksi pendapatan yang dihasilkan atau investasi melebihi dari proyeksi biaya yang dikeluarkan, maka pabrik layak untuk didirikan.

VI.3.4 Waktu Pengembalian Modal *(Pay Out Time,* POT*)*

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada Appendiks C, diperoleh bahwa waktu pengembalian modal minimum selama 3,9 tahun atau 3 tahun 11 bulan dengan perkiraan usia pabrik 20 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa pabrik ini layak untuk didirikan karena nilai POT yang diperoleh lebih kecil dari perkiraan umur pabrik.

VI.3.5 Analisa Titik Impas *(Break Event Point,* BEP*)*

Analisa BEP digunakan untuk mengetahui kapasitas produksi dimana nilai biaya total produksi sama dengan hasil penjualan. Biaya tetap (FC), biaya variable (VC), biaya semivariabel (SVC) dan biaya total tidak dipengaruhi oleh kapasitas produksi. Berdasarkan perhitungan pada Appendiks C, diperoleh nilai BEP sebesar 14,4% atau 15%.



Gambar 6.1 Grafik Analisa BEP

VI.3.6 Sensitivitas Terhadap IRR

Sensitivitas terhadap IRR digunakan untuk menganalisa nilai IRR terhadap perubahan-perubahan yang terjadi. Pada Pabrik Fraksinasi Lignoselulosa dari Sabut Kelapa dengan Metode *Steam Explosion* dilakukan Analisa sensitivitas nilai IRR terhadap tiga aspek yaitu perubahan harga bahan baku, perubahan harga jual produk dan perubahan TCI. Hasil perhitungan sensitivitas nilai IRR disajikan pada **Tabel 6.3**, **Tabel 6.4**, **Tabel 6.5** dan grafik analisa pada **Gambar 6.2**.

Tabel 6.3 Sensitivitas Nilai IRR Terhadap Perubahan Harga Bahan Baku

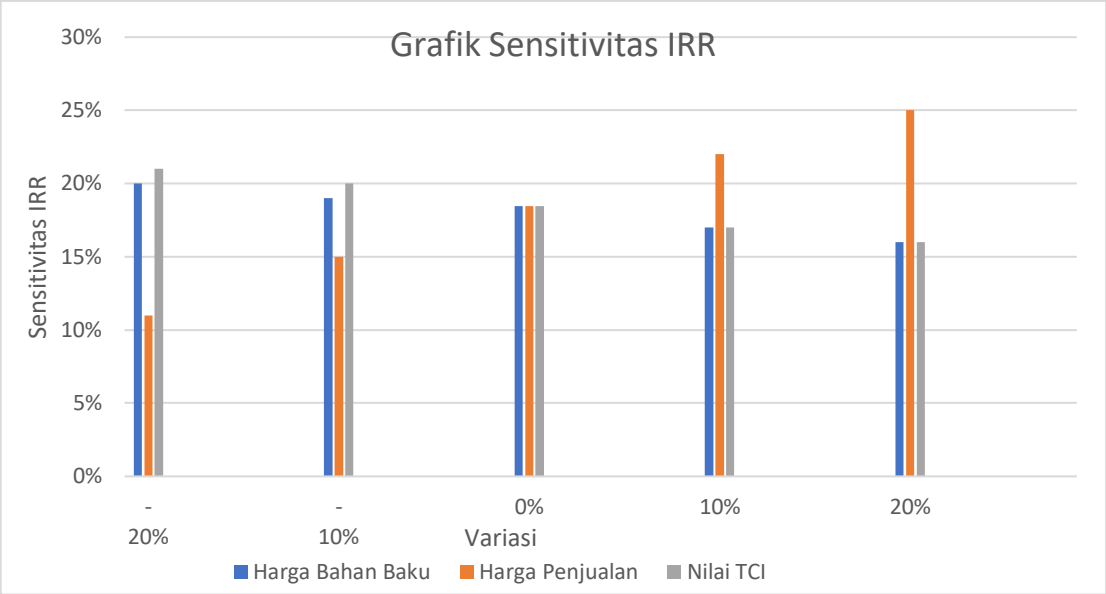
Variasi	-20%	-10%	0%	10%	20%
Biaya Bahan Baku/tahun (Miliyar Rupiah)	169,12	190,26	211,40	232,54	253,68
Project IRR	20%	19%	18%	17%	16%

Tabel 6.4 Sensitivitas Nilai IRR Terhadap Perubahan Harga Penjualan

Variasi	-20%	-10%	0%	10%	20%
Biaya Penjualan/tahun (Miliyar Rupiah)	723,15	813,55	903,94	994,34	1084,73
Project IRR	11%	15%	18%	22%	25%

Tabel 6.5 Sensitivitas Nilai IRR Terhadap Perubahan Nilai TCI

Variasi	-20%	-10%	0%	10%	20%
TCI /tahun (Miliyar Rupiah)	634,32	713,61	792,90	872,20	951,49
Project IRR	21%	20%	18%	17%	16%



Gambar 6.2 Grafik Analisa Sensitivitas IRR

VI.4 Aspek Sosial dan Lingkungan

Pembangunan pabrik garam industri dari garam rakyat tentunya akan memberikan dampak di aspek sosial dan lingkungan. Dampak ini dapat dirasakan oleh berbagai pihak, baik perusahaan, pemerintah maupun masyarakat luas.

VI.4.1 Aspek Sosial

Dalam aspek sosial, masyarakat dapat merasakan dampak sosial berupa peningkatan kesejahteraan, dimana perusahaan membeli bahan baku dari masyarakat sehingga akan meningkatkan pendapatan masyarakat maupun daerah. Selain itu, penyerapan tenaga kerja lokal yang dilakukan perusahaan dapat mengurangi jumlah pengangguran di daerah tersebut. Bagi pemerintah, dampak yang dapat dirasakan yaitu adanya pemasukan berupa pendapatan baik dari pemerintah daerah maupun pemerintah pusat dalam bentuk pajak. Program kesejahteraan masyarakat dari perusahaan dapat meningkatkan pendidikan, sosial budaya, dan ekonomi, dan sebagainya di daerah tersebut, sebagai contoh pembukaan beasiswa sekolah.

VI.4.2 Aspek Lingkungan

Dalam pembangunan Pabrik Fraksinasi Lignoselulosa dari Sabut Kelapa dengan Metode *Steam Explosion*, terdapat beberapa dampak yang ditimbulkan antara lain berkurangnya lahan pertanian dikarenakan beralih fungsi menjadi lahan industri, 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. Sedangkan pencemaran air dan tanah dapat disebabkan oleh limbah-limbah industri, seperti sampah non-organik dan zat-zat kimia sisa proses produksi.

Program *Corporate Social Responsibility (CSR)* dibentuk untuk mengatasi permasalahan lingkungan dengan melakukan kegiatan berupa penghijauan lingkungan di sekitar lokasi pendirian industri. Selain itu, perusahan dapat melakukan upaya untuk memperkecil jumlah limbah yang dihasilkan dengan melakukan pemilihan bahan baku dan peralatan yang ramah lingkungan serta melakukan pengolahan limbah secara bijak agar tidak merusak lingkungan serta mendaur ulang sampah dengan bijak di lingkungan.

BAB VII
KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Perencanaan Operasi : Semi kontinyu, 20 jam/hari, 330 hari
2. Kapasitas Bahan Baku : 33.000 ton/tahun
3. Bahan Baku
   - Sabut Kelapa : 33.000 ton/tahun
   - NaOH 48% : 356 ton/tahun
   - H_2SO_4 98% : 3.234 ton/tahun
4. Produk
   - Selulosa : 11.220 ton/tahun
   - Hemiselulosa : 6,092 ton/tahun
   - Lignin : 10.362 ton/tahun
5. Umur Pabrik : 20 Tahun
6. Masa Konstruksi : 3 Tahun
7. Analisa Ekonomi
   a) Pembiayaan
      - Modal Tetap (CAPEX) : Rp. 673.969.230.000
      - Modal Kerja (WCI) : Rp. 118.935.746.550
      - Investasi Total (TCI) : Rp. 792.904.976.550
      - Biaya Produksi Total : Rp. 459.809.819.744

   b) Penerimaan
      - Hasil Penjualan : Rp. 418.714.134.988 / tahun
   c) Rehabilitas Perusahaan
      - Laju Pengembalian Modal (IRR) : 18%
      - Waktu Pengembalian Modal (POT) : 3 tahun 11 bulan
      - *Break Event Point* (BEP) : 15%

Berdasarkan data-data perhitungan, dari segi teknis dan ekonomi dapat dilihat bahwa IRR sebesar 18% berada diatas bunga pinjaman bank yaitu sebesar 8% dengan jangka waktu pengembalian modal (POT) selama 3 tahun 11 bulan lebih kecil dibandingkan dengan waktu pengembalian modal dari pemberi pinjaman yaitu 20 tahun. Sehingga, Pabrik Fraksinasi Lignoselulosa dari Sabut Kelapa dengan Metode Steam Explosion layak untuk didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

(n.d) Retrieved Desember. (2021). from Tokopedia : https://www.tokopedia.com/.

(n.d) Retrieved Desember. (2021). from olx : https://www.olx.com/

(n.d) Retrieved Desember. (2021). from Matche : https://www.matche.com/

Akbar.(2011).PeranHarga Sebagai Indikator Kualitas Jasa Persepsi dan Pengaruh Terhadap Kemungkinan Membeli Konsumen. Fokus Manajerial, 2 (2), 101-120.

Ampulski dkk. (2013). United States Patent Application Publication. Sundrop Fuels. INC.. Longmont CO (US).

Avellar BK dan Glasser WG. (1998). Steamassisted Biomass Fractionation I: Process Considerations And Economic Evaluation. Biomass and Bioenergy, 14 (3), 205– 218.

B. C. Saha. (2004). Lignocellulose Biodegradation and Application in Biotechnology. US Gov. Work. Am. Chem. Soc., 2 (14).

Badan Pusat Stastistik Kabupaten Indragiri Hilir. (2020-2021), from https://gresikkab.bps.go.id/

Badan Pusat Statistik Kabupaten Gresik. (2020-2021). from https://inhilkab.bps.go.id/

Balat, M. (2008). Mechanisms of Thermochemical Biomass Conversion Processes. Part 1: Reactions of Pyrolysis. Energy Sources Part A, 30 (7), 620–635.

Basri, Hariadi. (2007). Grand Strategi. Dewan Kelapa Indonesia. Edisi Oktober 2011.

Bensah, Edem Cudjoe dan Moses Mensah. (2013). Review Article : Chemical Pretreatment Methods for the Production of Cellulosic Ethanol: Technologies and Innovations. International Journal of Chemical Engineering.

Brownell. (1959). Process Equipment Design. New York: John Wiley and Sons

Darojati, Harum Azizah., Sugili Putra, dan Fahril Putera Zulprasetya. (2018). Pengaruh Iradiasi Gamma pada Konversi Biomassa Lignoselulosa Sabut Kelapa Menjadi Bioetanol", Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan, X (X).

de Jong E., Jungmeier G. (2015). Biorefinery Concepts in Comparison to Petrochemical Refineries, Industrial Biorefineries and White Biotechnology. Available: http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-63453-5.00001-X

Dewanti, Dian Purwitasari, .(2018). Potensi Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Bahan Baku Biopl astik Ramah Lingkungan. Jurnal Teknologi Lingkungan, 19 (1)

Direktorat Jenderal Pengembangan Ekspor Nasional. (2020). Produk Olahan Kelapa. Warta Ekspor.

Dirgantoro,Muhammad Arief dan Robiatul Adawiyah. (2018). Nilai Ekonomi Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Menuju *Zero Waste Production*. Biowallacea, 5(2).

FAOSTAT. (2010). Top Production Coconut. Di akses tanggal 12 Febuari 2012. Pukul 11.14.

WITA.Oleh Ineke dalam Daya Saing Ekspor Komoditas Kelapa Indonesia Terhadap Negara P rodusen Kelapa di Dunia. Agrijurnal. 10 : 19 – 26

Geankoplis. (2003). *Transport Processes and Unit Operations*. USA: Prentice-Hall

Gustinenda, Beta Yogaswara dan Kautsar Cakrawala Margo. (2017). Sintesis Superabsorben Aerogol Selulosa Berbasis Sabut Kelapa. Skripsi, Departemen Teknik Kimia ITS.

International, Inc

Jedvert K, Saltberg A, Lindström ME, Theliander H. (2012). Mild Steam Explosion And Chemical Pretreatement of Norway Spruce. Bioresources, 7(2), 2051-2074

Kuila, Arindam dan Vinay Sharman. (2017). Lignocellulosic Biomass Production and Industrial Applications. Scrivener Publishing. USA.

Kusnarjo. (2010). Desain Bejana Bertekanan. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Lathifa, Lina. (2017). Pemanfaatan Biomassa Lignoselulosa Kulit Kacang Tanah (Arachis hypogaea L.) Untuk Produksi Bioetanol Melalui Hidrolisis Asam. Skripsi. Universitas Negeri Semarang.

Menon V dan Rao M. (2012). Trends In Bioconversion Of Lignocellulose: Biofuels, Platform Chemicals & Biorefinery Concept. Progress in Energy and Combustion Science, 8 (4), 522–550.

Mohar, Rahmat Setiawan. (2008). http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/125048-R040868-Pengaruh%20kadar-Literatur.pdf (diakses pada 11 September 2021).

Mulyawan, Mukti, Eny Setyowati, dan Arief Widjaja. (2015). Surfaktan Sodium Ligno Sulfonat (SLS) Dari Debu Sabut Kelapa. Jurnal Teknik ITS, 4 (1)

Novita, Dewi Ayu dan Tjioe Untung Lestianto. Review : Teknologi Ionic Liquid dalam Proses Pretreatment Biomassa Bebasis Lignoselulosa. Teknologi Energi Terbarukan, Universitas Diponegoro

Nuringtyas, Tri Rini. (2010). Karbohidrat. Yogyakarta : Gajah MadaUniversity Press.

Ortega, Juan Holgueras. (2015). Process Design of Lignocellulosic Biomass Fractionation Into Cellulose, Hemicellulose And Lignin By Prehydrolysis And Organosolv Process. Agrotechnology And Food Sciences. Wageningen University.

Perry. (2008). *Chemical Engineer's Handbook*. USA: McGraw-Hill

Pradipta, Yorgy Eka dan Bergas Kristiadi. (2015). Pembuatan Gula Reduksi Dari Sabtu Kelapa Dengan Metode *Pretreatment* Air Subkritis Menggunakan Gas Penekan N^2. Skripsi Teknik Kimia, ITS.

Prado, J. M., Forster-Carneiro, T., Rostagno, M.A., FollegattiRomero, L. A., Filho, F. M., Meireles M. A. A. (2014). Obtaining Sugars from Coconut Husk, Defatted Grape Seed, and Pressed Palm Fiber by Hydrolysis With Subcritical Water. The Journal of Supercritical Fluids, 89, 89-98.

Purwati, Dwi Ana Anggorowati dan Sulis Dwi D.P. (2015). Pengaruh Suhu dan Penambahan Nutrisi pada Proses Fermentasi Untuk Pembuatan Bioethanol dari Sabut Kelapa. Jurnal Media Informasi Teknik Sipil UNIJA, 3(1).

Ropiah, Dede. (2010). Pemanfaatan Hidrolisat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Untuk Produksi Etanol Dengan Pichia Stipitis. Skripsi. Program Studi Kimia. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.

Ruamsook, K., & Thomchick, E. (2014). Market Opportunity Lignocellulosic. Pennsylvania, USA: Department of Supply Chain and Information Systems, Smeal College of Business. Pennsylvania State University.

Spivakovsky. (1996). Conveyors and Related Equipment. Moscow: Don Danemanis

Steinbach, David, Dominik Wüst, Simon Zielonka, Johannes Krümpel, Simon Munder, Matthias Pagel, and Andrea Kruse. (2019). Steam Explosion Conditions Highly Influence the Biogas Yield of Rice Straw. *Molecules* 24 (19), 3492.

Sutini., Widihastuty, Yohanita Restu., dan Ramadhani, Aida Nur. (2019). Review : Hidrolisis Lignoselulosa dari Agricultural Waste Sebagai Optimasi Produksi Fermentable Sugar. Equalibrium, 3 (2).

Timmerhaus. (1991). Plant Design and Economics For Chemical Engineers 4th Edition. USA: McGraw-Hill, Inc.

Timmerhaus. (2003). Plant Design and Economics For Chemical Engineers 5th Edition. USA: McGraw-Hill, Inc.

Tomas-Pejo E, Alvira P, Ballesteros M, Negro MJ. 2011. “Pretreatment Technologies for Lignocellulose-to-Bioethanol Conversion”. Di dalam Pandey A (ed.), Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes, 149-176.

Tuhin, Md S.H. . (2014). “Cellulose and its properties”. https://www.slideshare.net/SajjadHossain11/cellulose-and-its-properties (diakses pada 11 September 2021).

Turn SQ, Kinoshita CM, Kaar WE, Ishiimura DM. (1998). Measurements of Gas Phase Carbon in Steam Explosion Biomass. Bioresource Technology, 64(1):71-75.

Varga E, Reczey K, Zacchi G. (2004). Optimization Of Steam Pretreatment Of Corn Stover To Enhance Enzymatic Digestibility. Appl Biochem Biotechnol,113,509–523. doi:10.1385/abab:114:1-3:509

Yang, Chenxian dan Xin Lu. (2021). Advances in 2nd Generation of Bioethanol Production. China. Woodhead Publishing Series in Energy.

Yani dkk. (2021).Studi Literatur Penentuan Jenis ILs serta Kondisi Operasi Optimum pada Fraksionasi TKKS. Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar.

Yanti,Rina Novia dan Ika Lestari.(2020).Potensi Limbah Padat Perkebunan Kelapa Sawit di P rovinsi Riau. Wahana Forestra : Jurnal Kehutanan, 15 (2).

BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Pekanbaru, 22 Mei 2000, merupakan anak ketiga dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan format yaitu di SDN 6 Pekanbaru, SMPN 4 Pekanbaru, dan SMAN 8 Pekanbaru. Setelah lulus dari SMAN tahun 2018, Penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Departemen Teknik Kimia FTIRS – ITS pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 02211840000003.

Di Departemen Teknik Kimia Penulis sempat aktif di beberapa organisasi di kampus maupun diluar kampus. Penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (HIMATEKK) dalam bidang sosial masyarakat (*Social Development Department*) dan GAMPI (Gerakan Anak Muda Produktif) dalam bidang *Boba Goes To Campus* ITS. Penulis aktif sebagai Asisten Pratikum Operasi Teknik Kimia II.

Ditetapkan di Surabaya
REKTOR INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER,

MOCHAMAD ASHARI
NIP 196510121990031003

BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Surabaya, 27 Oktober 1999, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan format yaitu di SDN Pucang IV Sidoarjo, SMPN 3 Sidoarjo, dan SMAN 1 Sidoarjo. Setelah lulus dari SMAN tahun 2018, Penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Departemen Teknik Kimia FTIRS – ITS pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 02211840000031.

Di Departemen Teknik Kimia Penulis sempat aktif di beberapa organisasi di kampus maupun diluar kampus. Penulis aktif di ITS *Model United Nation Club* dalam bidang lomba MUN dan internasionalisasi dan XL Axiata *Future Leaders* dalam bidang kepemimpinan. Penulis aktif sebagai Asisten Pratikum Kimia Fisika.

Ditetapkan di Surabaya
REKTOR INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER,

MOCHAMAD ASHARI
NIP 196510121990031003