

**DESAIN PROYEK PABRIK BIOETANOL BERBAHAN BAKU AMPAS
TEBU (*BAGASSE*) DENGAN PROSES SSF (*SIMULTANEOUS
SACCHARIFICATION AND FERMENTATION*) KAPASITAS 46.000
KL/TAHUN**



SKRIPSI

**Dibuat Untuk Memenuhi Persyaratan Kelulusan Mata Kuliah Skripsi dan
Seminar Skripsi pada Jurusan S-Tr Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Sekolah
Vokasi, Universitas Diponegoro**

Disusun Oleh:

DIAYU FARRAS PUTRI GUNAWAN

NIM. 40040118650076

**PRODI S-Tr TEKNOLOGI REKAYASA KIMIA INDUSTRI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2022

**DESAIN PROYEK PABRIK BIOETANOL BERBAHAN BAKU AMPAS
TEBU (*BAGASSE*) DENGAN PROSES SSF (*SIMULTANEOUS
SACCHARIFICATION AND FERMENTATION*) KAPASITAS 46.000
KL/TAHUN**



SKRIPSI

**Dibuat Untuk Memenuhi Persyaratan Kelulusan Mata Kuliah Skripsi dan
Seminar Skripsi pada Jurusan S-Tr Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Sekolah
Vokasi, Universitas Diponegoro**

Disusun Oleh:

DIAYU FARRAS PUTRI GUNAWAN

NIM. 40040118650076

**PRODI S-Tr TEKNOLOGI REKAYASA KIMIA INDUSTRI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2022



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI
TEKNOLOGI REKAYASA KIMIA INDUSTRI

Jalan Prof. Sudarto, S.H.
Tembalang, Semarang Kode Pos 50275
Tel/Faks (024) 7471379
www.trki.vokasi.undip.ac.id
email: trki@live.undip.ac.id

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

Judul :
Desain Proyek Pabrik Bioetanol Berbahan Baku Ampas Tebu (*Bagasse*) Dengan Proses
SSF (*Simultaneous Saccharification and Fermentation*) Kapasitas 46.000 KL/Tahun

Identitas Penulis :
Nama : Diayu Farras Putri Gunawan
NIM : 40040118650076
Fakultas/Jurusan : Sekolah Vokasi / S-Tr Teknologi Rekayasa Kimia Industri

Laporan Tugas Akhir/Skripsi ini telah disahkan dan disetujui pada:


Hari : Jumat
Tanggal : 30 Desember 2022


Semarang, 30 Desember 2022

Mengetahui,
Tim Penguji

Penguji I,

Penguji II,


Heny Kusumayanti S.T., M.T.
NIP. 197210291995122001


Hermawan Dwi Ariyanto S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP. H.7.199005152021021001

HALAMAN PENGESAHAN

**DESAIN PROYEK PABRIK BIOETANOL BERBAHAN BAKU AMPAS TEBU
(BAGASSE) DENGAN PROSES SSF (*SIMULTANEOUS SACCHARIFICATION AND
FERMENTATION*) KAPASITAS 46.000 KL/TAHUN**

SKRIPSI

**Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Terapan
Teknik**

Disusun Oleh:

DIAYU FARRAS PUTRI GUNAWAN

NIM. 40040118650076

Disetujui dan Disahkan Sebagai Laporan Tugas Akhir (Skripsi)
Semarang, 16 Desember 2022

Dosen Pembimbing,

Rizka Amalia S.T.,M.T.

NIP. H.7.199203122018072001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Diayu Farras Putri Gunawan
NIM : 40040118650076
Judul Tugas Akhir (Skripsi) : Desain Proyek Pabrik Bioetanol Berbahan Baku Ampas Tebu (*Bagasse*) Dengan Proses SSF (*Simultaneous Saccharification and Fermentation*) Kapasitas 46.000 KL/Tahun
Fakultas/Jurusan : Sekolah Vokasi/S-Tr Teknologi Rekayasa Kimia Industri

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner saya atas nama Dimas Perdana didampingi Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Diponegoro sesuai aturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Semarang, 16 Desember 2022

Diayu Farras Putri Gunawan

NIM. 40040118650076

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan anugerah-Nya sehingga tugas akhir prarancangan pabrik dengan judul “Desain Proyek Pabrik Bioetanol Berbahan Baku Ampas Tebu (*Bagasse*) Dengan Proses SSF (*Simultaneous Saccharification and Fermentation*) Kapasitas 46.000 KL/Tahun”, dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan berbagai pihak. Oleh karena itu, penyusun menyampaikan terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat Kesehatan sehingga penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
2. Bapak Mohamad Endy Julianto, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi S-Tr Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Universitas Diponegoro yang telah memberikan kesempatan bagi penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir.
3. Rizka Amalia S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing serta semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir prarancangan pabrik ini.
4. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Program Studi S-Tr Teknologi Rekayasa Kimia Industri Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
5. Teristimewa kedua orang tua tercinta papa dan mama yang selalu ada setiap saat yang tiada henti mendoakan dan memotivasi saya untuk senantiasa bersemangat. Terima kasih atas segala dukungan dan kasih sayangnya, baik secara material maupun spiritual hingga bisa terselesaikannya laporan ini.
6. Adik tersayang yang memberi dukungan mental dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
7. Dimas Perdana sebagai rekan skripsi yang berjuang bersama, memberikan semangat, meluangkan waktu, tenaga dan materi dalam kegiatan ini.
8. Teman – Teman Chelios 2018 yang telah membantu memberi semangat dan telah berproses bersama dengan penyusun dalam kehidupan selama perkuliahan.

Penyusun menyadari keterbatasan dan kemampuan dalam penyusunan skripsi ini, oleh karena itu penyusun mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun sehingga dapat bermanfaat bagi penyusun untuk menyempurnakan skripsi ini.

Semarang, 16 Desember 2022

Penyusun

INTISARI

Bioetanol adalah etanol yang bahan utamanya dari tumbuhan dan umumnya menggunakan proses fermentasi. Bioetanol (C_2H_5OH) merupakan bahan bakar nabati yang penggunaannya dapat dijadikan sebagai bahan bakar campuran bensin, pelarut dalam industry, sebagai antiseptik seperti handsanitizer, pembersih alat industri dan campuran yang digunakan dalam industri kosmetik dan farmasi. Permintaan bioetanol terus meningkat dari tahun ke tahun. Pada tahun 2020 mengalami peningkatan kebutuhan bioetanol karena kebutuhan konsumsi etanol non fuel grade sebagai produk antiseptik, obat-obatan dan pelarut kimia yang meningkat akibat pandemi covid-19. Pabrik bioetanol ini didirikan di Daerah Industri Ngoro, Mojokerto Jawa Timur.

Bioetanol dapat diperoleh melalui proses fermentasi gula dari biomassa yang mengandung karbohidrat (jagung, gandum), sukrosa (tebu) dan lignoselulosa (ampas tebu, tandan kosong kelapa sawit). Tahapan proses pembuatan bioetanol dengan bahan baku lignoselulosa melalui antara lain pretretmen (delignifikasi), hidrolisis, fermentasi dan pemurnian (destilasi). Metode fermentasi yang dapat digunakan adalah *Separate Hydrolysis and Fermentation* (SHF) dan *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF). Seluruh proses berlangsung di dalam reaktor semi batch berpengaduk dengan suhu $35^{\circ}C$ dengan konversi glukosa yang dihasilkan 90% dan etanol yang dihasilkan 95%. Dalam reaktor ini reaksi berlangsung eksotermis. Unit pendukung proses terdiri dari unit penyediaan dan pengolahan air, unit penyedia udara tekan, *steam*, listrik, dan bahan bakar. Selain itu dilengkapi dengan unit pengolahan limbah, pengendali pencemaran air dan laboratorium.

Bentuk perusahaan pabrik bioetanol adalah perseroan terbatas (PT) dengan *system* organisasi *line and staff*. System kerja karyawan berdasarkan pembagian menurut jam kerja yang terdiri dari karyawan shift dan non shift. Karyawan panrik bioetanol direncanakan berjumlah 180 orang untuk pengoprasian pabrik selama 24 jam/hari dalam 330 hari/tahun.

Dari hasil Analisa ekonomi diperoleh bahwa pabrik bioetanol ini memperoleh POS sebelum pajak dan setelah pajak masing-masing 5,61% dan 4,77%. ROI setelah pajak 30,17% POT 2,70 tahun (3tahun). BEP dan SDP masing-masing 46,97% dan 30,53%, IRR sebesar 14,24%. Berdasarkan analisa ekonomi, pabrik bioetanol dengan kapasitas 46.000 KL/Tahun layak untuk didirikan dan menguntungkan bagi investor untuk menanam sahamnya dalam pendirian pabrik ini.

DAFTAR ISI

JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
INTISARI.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Kapasitas Rancangan	2
1.2.1 Proyeksi Kebutuhan Pasar Bioetanol di Indonesia	2
1.2.2 Ketersediaan Bahan Baku	3
1.2.3 Kapasitas Minimum Pabrik Sejenis	6
1.2.4 Kapasitas yang digunakan	7
1.3. Penentuan Lokasi Pabrik	8
1.3.1 Ketersediaan Bahan Baku	9
1.3.2 Daerah Pemasaran.....	9
1.3.3 Sarana Transportasi.....	10
1.3.4 Utilitas	10
1.3.5 Ketersediaan Tenaga Kerja	10
1.3.6 Pembuangan Limbah.....	10
1.3.7 Kebijakan Pemerintah	10
1.4 Tinjauan Proses.....	11
1.4.1 Proses Pembuatan Bioetanol	11
BAB II DESKRIPSI PROSES.....	24
2.1. Spesifikasi Bahan Baku dan Produk	24
2.1.1. Spesifikasi Bahan Baku Utama	24
2.1.2. Spesifikasi Bahan Pendukung	25

2.1.3.	Spesifikasi Produk Utama	28
2.1.4.	Spesifikasi Produk Samping.....	28
2.2.	Konsep Proses.....	29
2.2.1.	Dasar Reaksi.....	29
2.2.2.	Mekanisme Proses	30
2.2.3.	Kondisi Operasi	31
2.3.	Tinjauan Kinetika dan Termodinamika	32
2.3.1.	Tinjauan Termodinamika	32
2.3.2.	Tinjauan Kinetika	35
2.4.	Langkah Proses.....	36
2.4.1.	Langkah Proses Produksi	36
2.5.	Diagram Alir.....	38
2.6.	Neraca Massa dan Neraca Panas	39
2.6.1.	Neraca Massa.....	39
2.6.2.	Neraca Panas	47
2.7.	Tata Letak Pabrik dan Pemetaan	53
2.7.1	Tata Letak Pabrik.....	53
2.7.2	Tata Letak Peralatan	56
BAB III SPESIFIKASI ALAT		60
3.1.	Unit Penyimpanan.....	60
3.2.	Unit Pemindahan.....	62
3.3.	Unit Penukar Panas	63
3.4.	Unit Reaktor Kimia.....	65
3.5.	Unit Pemisahan	66
BAB IV UNIT PENDUKUNG PROSES		68
4.1.	Unit Penyediaan dan Pengolahan Air	69
4.1.1.	Air proses	69
4.1.2.	<i>Chilled Water</i>	69
4.1.3.	Air Umpan <i>Boiler</i>	70
4.1.4.	Air Sanitasi.....	71

4.1.5.	Total Kebutuhan Air	73
4.2.	Unit Penyediaan Tenaga Listrik	77
4.2.1.	Kebutuhan Listrik	78
4.2.2.	Perancangan <i>Generator</i>	82
4.2.3.	Unit Pengadaan Bahan Bakar	82
4.3.	Unit Penyediaan <i>Steam</i>	83
4.4.	Unit Penyedia Udara Tekan.....	85
4.5.	Unit Laboratorium	87
4.5.1.	Program Kerja Laboratorium.....	87
4.5.2.	Metode Analisa.....	89
4.5.3.	Alat-alat Utama Laboratorium.....	89
4.6.	Unit Pengolahan Limbah.....	89
4.6.1.	Limbah Cair.....	90
4.6.2.	Limbah Gas	91
4.6.3.	Limbah Padat.....	91
4.7	Instrumentasi	92
BAB V MANAJEMEN PERUSAHAAN		93
5.1.	Bentuk Perusahaan.....	93
5.2.	Struktur Organisasi	95
5.3.	Tugas dan Wewenang	99
5.3.1.	Deskripsi Tugas	99
5.4.	Kebutuhan Karyawan dan Sistem Pengupahan	102
5.5.	Penggolongan Jabatan, Jumlah Karyawan, dan Gaji	104
5.5.1.	Penggolongan Jabatan	104
5.5.2.	Jumlah Karyawan dan Gaji	106
5.6.	Kesejahteraan Sosial Karyawan	109
5.6.1.	Tunjangan.....	109
5.6.2.	Pemberian Cuti Kerja.....	109
5.6.3.	Atribut Kerja.....	110
5.6.4.	Keselamatan Kerja (K3).....	110
5.6.5.	Fasilitas Kesehatan.....	111

5.6.6.	Fasilitas Peribadatan	111
5.6.7.	Fasilitas Kantin	111
5.6.8.	Fasilitas Pendidikan	111
5.6.9.	Fasilitas Transportasi	111
5.7.	<i>Corporate Social Responsibility (CSR)</i>	111
5.8.	Manajemen Produksi.....	113
5.8.1.	Perencanaan & Pengendalian Produksi.....	114
BAB VI TROUBLESHOOTING.....		115
6.1.	Unit Penyimpanan.....	117
6.2.	Unit Pemindahan.....	118
6.3.	Unit Penukar Panas	119
6.4.	Unit Reaksi	120
7.5.	Pemisahan.....	122
BAB VII ANALISA EKONOMI		127
7. 1	Penentuan Harga Peralatan.....	127
7. 2	Penetapan Dasar Perhitungan	130
7. 3	Perhitungan Biaya Produksi (<i>Production Cost</i>)	130
7. 3. 1	Penaksiran Modal Industri (<i>Total Capital Investment</i>).....	130
7. 3. 2	<i>Production Cost</i>	133
7. 4	Analisis Kelayakan	136
7. 4. 1	<i>Percent Profit on Sales (POS)</i>	136
7. 4. 2	<i>Percent Return on Investment (ROI)</i>	136
7. 4. 3	<i>Internal Rate of Return (IRR)</i>	137
7. 4. 4	<i>Pay Out Time (POT)</i>	137
7. 4. 5	<i>Break Even Point (BEP)</i>	137
7. 4. 6	<i>Shut Down Point (SDP)</i>	138
7. 5	Hasil Perhitungan.....	138
7. 5. 1	<i>Capital Investment</i>	Error! Bookmark not defined.
7. 5. 2	<i>Production Cost</i>	139
7. 5. 3	<i>General Expense</i>	140

7. 6	Analisa Kelayakan	141
	DAFTAR PUSTAKA	144
	LAMPIRAN A PERHITUNGAN NERACA MASSA	148
	LAMPIRAN B PERHITUNGAN NERACA PANAS	166
	LAMPIRAN C SPESIFIKASI ALAT	202
	LAMPIRAN D ANALISA EKONOMI.....	256

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data Impor dan Ekspor Bioetanol (USDA, 2022)	3
Tabel 1. 2 Data Produksi dan Konsumsi Bioetanol (USDA, 2022).....	3
Tabel 1. 3 Jumlah Produksi Gula di Indonesia Tahun 2017-2021.....	4
Tabel 1. 4 Data Produksi Tebu Giling per-Perusahaan di Jawa Timur Tahun 2020	5
Tabel 1. 5 Daftar Pabrik Produksi Bioetanol yang Telah Berdiri.....	6
Tabel 1. 6 Matriks Penentuan Lokasi Pabrik.....	8
Tabel 1. 7 Data Industri Berbahan Etanol	9
Tabel 1. 8 Seleksi Proses Teknologi Pre-Treatment	15
Tabel 1. 9 Perbandingan Proses Hidrolisis Katalis Asam dan Enzim	18
Tabel 1. 10 Seleksi Proses Fermentasi	21
Tabel 1. 11 Seleksi Bakteri untuk Fermentasi	22
Tabel 2. 1. Data Entalpi Reaksi Standard pada 298,15 K	32
Tabel 2. 2 Harga $\Delta G^\circ f$ komponen pada suhu 298 K	33
Tabel 2. 3. Data Entalpi Reaksi Standard pada 298,15 K	34
Tabel 2. 4 Harga $\Delta G^\circ f$ komponen pada suhu 298 K	34
Tabel 2. 6 Neraca Massa <i>Hammer Mill</i> (M-101).....	40
Tabel 2. 7 Neraca Massa <i>Vibrating Screen</i> (Vs-101)	40
Tabel 2. 8 Neraca Massa Unit <i>Pre-Treatment</i> (T-101).....	41
Tabel 2. 9 Neraca Massa <i>Filter Press</i> 1 (F-101).....	41
Tabel 2. 10 Neraca Massa Unit Pencucian (T-111).....	42
Tabel 2. 11 Neraca Massa <i>Filter Press</i> 2 (F-111).....	42
Tabel 2. 12 Neraca Massa Tangki Detoksifikasi (TS-101).....	42
Tabel 2. 13 Neraca Massa <i>Centrifuge</i> (CE-101).....	42
Tabel 2. 14 Neraca Massa Tangki Fermentator (SSF-101).....	43
Tabel 2. 15 Neraca Massa <i>Dicanter Centrifuge</i> (DC-101)	44
Tabel 2. 16 Neraca Massa Tangki Penyimpanan Sementara (T-112).....	44
Tabel 2. 17 Neraca Massa Destilasi 1 (D-101).....	44
Tabel 2. 18 Neraca Massa Destilasi 2 (D-102).....	45
Tabel 2. 19 Neraca Massa Total	46
Tabel 2. 20 Neraca Panas Unit <i>Pre-Treatmen</i> (T-101)	48
Tabel 2. 21 Neraca Panas <i>Filter Press</i> 1 (F-101)	48
Tabel 2. 22 Neraca Panas Tangki Pencucian (T-111).....	49
Tabel 2. 23 Neraca Panas Tangki Sterilisasi (TS-101)	49

Tabel 2. 24 Neraca Panas <i>Centrifuge</i> (CE-101)	49
Tabel 2. 25 Neraca Panas Tangki Fermentor (SSF-101)	50
Tabel 2. 26 Neraca Panas <i>Decanter Centrifuge</i> (DC-101).....	51
Tabel 2. 27 Neraca Panas Tangki Penampungan Sememntara (T-112).....	51
Tabel 2. 28 Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i> 1 (HE-101).....	51
Tabel 2. 29 Neraca Panas Destilasi 1 (D-101).....	52
Tabel 2. 30 Neraca Panas Destilasi 2 (D-102).....	52
Tabel 2. 31 Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i> 2 (HE-102).....	53
Tabel 3. 1 Spesifikasi Tangki Penyimpanan Produk (Ulrich, 1984)	60
Tabel 3. 2 Spesifikasi Pompa Produk Bioethanol (Brownell and Young,1979)	62
Tabel 3. 3 Bucket Elevator (Perry et al., 1997)	63
Tabel 3. 4 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> Produk Bioethanol (Kern,1950)	64
Tabel 3. 5 Spesifikasi Reaktor Sakarifikasi dan Fermentasi (Ulrich, 1984)	65
Tabel 3. 6 Spesifikasi Destilasi Produk Bioethanol (Brownell and Young,1959)	67
Tabel 4. 1 Kualitas Air Proses (Elshorbagy, dkk., 2013).....	69
Tabel 4. 2 Parameter Air Pendingin (Setiadi, 2007)	70
Tabel 4. 3 Syarat Air Umpan <i>Boiler</i>	71
Tabel 4. 4 Syarat Air Minum.....	72
Tabel 4. 5 Daya yang Dibutuhkan untuk Peralatan Proses	79
Tabel 4. 6 Total Daya yang Dibutuhkan untuk Pengolahan Air.....	79
Tabel 4. 7 Kebutuhan Listrik untuk Penerangan <i>Indoor</i>	80
Tabel 4. 8 Kebutuhan Listrik untuk Penerangan <i>Outdoor</i>	80
Tabel 4. 9 Bangunan yang Membutuhkan AC	81
Tabel 4. 10 Kebutuhan Listrik Pabrik	82
Tabel 4. 11 Baku Mutu Limbah Cair Etanol	90
Tabel 5. 1 Jadwal Shift Karyawan dalam satu bulan	104
Tabel 5. 2 Jabatan dan Pendidikan.....	105
Tabel 5. 3 Rincian Jumlah Karyawan Shift Produksi dan Teknik.....	106
Tabel 5. 4 Rincian Jumlah Karyawan	107
Tabel 6. 1 Troubleshooting Unit Penyimpanan	117
Tabel 6. 2 Troubleshooting Unit Pemindahan.....	118
Tabel 6. 3 Troubleshooting Unit Penukar Panas	119
Tabel 6. 4 Troubleshooting Unit Reaktor.....	120
Tabel 6. 5 Troubleshooting Unit Pemisahan	122

Tabel 6. 6 HAZOP Alat Utama	123
Tabel 7. 1 <i>Chemical Engineering Plant Cost Index</i> 2002-2020.....	128
Tabel 7. 2 Total Biaya <i>Physical Plant Cost</i> (PPC)	138
Tabel 7. 3 Total Biaya <i>Direct Plant Cost</i> (DPC).....	139
Tabel 7. 4 Total <i>Fixed Capital Investment</i> (FCI).....	139
Tabel 7. 5 Total <i>Working Capital Investment</i> (WCI).....	139
Tabel 7. 6 Total <i>Capital Investment</i> (TCI).....	139
Tabel 7. 7 <i>Direct Manufacturing Cost</i> (DMC).....	140
Tabel 7. 8 <i>InDirect Manufacturing Cost</i> (IMC)	140
Tabel 7. 9 Total <i>Fixed Manufacturing Cost</i> (FMC)	140
Tabel 7. 10 Total <i>Manufacturing Cost</i> (TMC)	140
Tabel 7. 11 Total Biaya <i>General Expense</i> (TGE).....	141
Tabel 7. 12 Total Biaya Produksi (<i>Production Cost</i>).....	141
Tabel A. 1 Komponen, Berat Molekul dan Densitas	149
Tabel A. 2 Neraca Massa <i>Hammer Mill</i> (M-101).....	150
Tabel A. 3 Neraca Massa <i>Vibrating Screen</i> (VS-101).....	151
Tabel A. 4 Neraca Massa <i>Pretreatmen</i> (T-101)	152
Tabel A. 5 Neraca Massa <i>Filter Press 1</i> (F-101).....	153
Tabel A. 6 Neraca Massa Unit Pencucian (T-111).....	154
Tabel A. 7 Neraca Massa <i>Filter Press 2</i> (F-111).....	154
Tabel A. 8 Neraca Massa Detoksifikasi (TS-101).....	155
Tabel A. 9 Neraca Massa <i>Centrifuge</i> (CE-101).....	156
Tabel A. 10 Neraca Massa Fermentor.....	159
Tabel A. 11 Neraca Massa <i>Dicanter Centrifuge</i> (DC-101).....	160
Tabel A. 12 Neraca Massa Tangki Penyimpanan Sementara (T-112).....	160
Tabel A. 13 Neraca Massa Kolom Destilasi I (D-101).....	162
Tabel A. 14 Neraca Massa Kolom Destilasi I (D-102)	164
Tabel A. 15 Neraca Massa <i>Overall</i>	165
Tabel B. 1 Neraca Panas Pre-treatmen.....	172
Tabel B. 2 Neraca Panas <i>Filter Press 1</i>	173
Tabel B. 3 Neraca Panas Tangki Pencucian	175
Tabel B. 4 Neraca Panas di Detoksifikasi	178
Tabel B. 5 Neraca Panas di <i>Centrifuge</i>	180

Tabel B. 6 Neraca Panas di Reaktor SFF	186
Tabel B. 7 Neraca Panas <i>Centrifuge (Decanter Centrifuge)</i> DC-101.....	188
Tabel B. 8 Neraca Panas Tangki Penampungan (T-112).....	189
Tabel B. 9 Neraca Panas <i>Heat Exchanger 2</i>	190
Tabel B. 10 Neraca Panas Destilasi I.....	195
Tabel B. 11 Neraca Panas Destilasi II.....	200
Tabel B. 12 Neraca Panas <i>Heat Exchanger</i>	201
Tabel C. 1 Perhitungan densitas campuran produk	203
Tabel C. 2 Perhitungan tebal dinding tangki dan panjang <i>couse shell</i>	208
Tabel C. 3 Rangkuman Spesifikasi Tangki Penyimpanan	211
Tabel C. 4 Perhitungan Densitas Bioethanol pada 32°C.....	213
Tabel C. 5 Perhitungan Viskositas <i>Feed</i>	213
Tabel C. 6 Ringkasan Spesifikasi Pompa.....	217
Tabel C. 7 Spesifikasi <i>Bucket Elevator (BE-101)</i>	218
Tabel C. 8 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i>	220
Tabel C. 9 Perhitungan pada <i>Shell and Tube</i>	222
Tabel C. 10 Perhitungan <i>Pressure Drop</i>	223
Tabel C. 11 Ringkasan <i>Heat Exchanger</i> Produk Bioetanol	224
Tabel C. 12 Tabel densitas campuran pada reaktor SSF.....	225
Tabel C. 13 Rangkuman spesifikasi <i>reactor</i>	237
Tabel C. 14 Kondisi Operasi D-102.....	239
Tabel C. 15 Data Komponen Kunci.....	239
Tabel C. 16 Data Konstanta Viskositas Tiap Komponen.....	241
Tabel C. 17 Data Viskositas Campuran	242
Tabel C. 18 Perhitungan Densitas Destilat Cair Pada suhu 352,15 °K.....	243
Tabel C. 19 Perhitungan BM Destilat	243
Tabel C. 20 Perhitungan Densitas Destilat Uap pada 352,15 K.....	244
Tabel C. 21 Perhitungan Tegangan Permukaan	245
Tabel C. 22 Perhitungan Densitas Residu Cair Pada suhu 351,75 °K.....	249
Tabel C. 23 Perhitungan BM Residu	249
Tabel C. 24 Perhitungan Densitas Residu Uap pada 351,75 K.....	250
Tabel C. 25 Perhitungan Tegangan Permukaan	251
Tabel C. 26 Rangkuman Spesifikasi Destilasi 2 (D-102)	255

Tabel D. 1 <i>Chemical Engineering Plant Cost Index 2001-2020</i>	257
Tabel D. 2 <i>Harga Alat Dalam Negeri (www.matche.com, 2022)</i>	259
Tabel D. 3 <i>Harga Alat Luar Negeri (www.matche,2022)</i>	260
Tabel D. 4 <i>Purchased Equipment Cost Luar Negeri</i>	260
Tabel D. 5 <i>Purchased Equipment Cost Dalam Negeri</i>	261
Tabel D. 6 <i>Total Instalation Cost</i>	261
Tabel D. 7 <i>Piping Cost</i>	261
Tabel D. 8 <i>Total Instrumentation</i>	262
Tabel D. 9 <i>Total Insulation Cost</i>	262
Tabel D. 10 <i>Electrical Cost</i>	262
Tabel D. 11 <i>Estimasi Luas Bangunan</i>	263
Tabel D. 12 <i>Estimasi Luas Tanah</i>	263
Tabel D. 13 <i>Physical Plant Cost</i>	264
Tabel D. 14 <i>Fixed Capital Investment (FCI)</i>	265
Tabel D. 15 <i>Raw Material Inventory</i>	265
Tabel D. 16 <i>Working Capital Investment (WCI)</i>	267
Tabel D. 17 <i>Total Capital Investment (TCI)</i>	267
Tabel D. 18 <i>Harga Bahan Baku</i>	268
Tabel D. 19 <i>Labor Cost</i>	268
Tabel D. 20 <i>Supervisi Cost</i>	269
Tabel D. 21 <i>Total Direct Manufacturing Cost</i>	270
Tabel D. 22 <i>Total Indirect Manufacturing</i>	271
Tabel D. 23 <i>Total Fixed Manufacturing Cost (FMC)</i>	272
Tabel D. 24 <i>Total Manufacturing Cost (TMC)</i>	272
Tabel D. 25 <i>Management Salary</i>	273
Tabel D. 26 <i>Total Biaya Administrasi</i>	274
Tabel D. 27 <i>Total General Expense</i>	275
Tabel D. 28 <i>Total Biaya Produksi</i>	275
Tabel D. 29 <i>Cash Flow</i>	277
Tabel D. 30 <i>Cummulative Cash Flow</i>	278
Tabel D. 31 <i>Internal Rate of Return</i>	279
Tabel D. 32 <i>Fixed Manufacturing Cost (FA)</i>	279
Tabel D. 33 <i>Variable Cost (VA)</i>	280
Tabel D. 34 <i>Regulation Cost (RA)</i>	280

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Rencana Lokasi Perancangan Pabrik	11
Gambar 1. 2 Tahapan Proses Bioetanol Lignoselulosa	12
Gambar 1. 3 Diagram Proses SHF	20
Gambar 1. 4 Diagram Proses SSF.....	21
Gambar 2. 1 Diagram Alir (Flowsheet)	38
Gambar 2. 2 Diagram Alir Naraca Massa Desain Proyek Pabrik Bioethanol dari Bagasse	39
Gambar 2. 3 Diagram Alir Naraca Panas Desain Proyek Pabrik Bioethanol dari Bagasse ...	47
Gambar 2. 4 Tata Letak Pabrik Ethanol.....	55
Gambar 2. 5 Tata Letak Peralatan Proses.....	58
Gambar 3. 1 Tangki Penyimpanan Produk Bioethanol.....	60
Gambar 3. 2 Pompa Produk Bioethanol.....	62
Gambar 3. 3 <i>Heat Exchanger</i> Produk Bioethanol	63
Gambar 3. 4 Reaktor Sakarifikasi dan Fermentasi (SSF-101)	65
Gambar 3. 5 Destilasi Produk Bioethanol	66
Gambar 4. 1 Diagram alir penyedia udara tekan	86
Gambar 4. 2 Pengolahan Limbah Cair	91
Gambar 5. 1 Struktur Organisasi perusahaan	98
Gambar 6. 1 <i>Overview Step Quantitative Risk Analysis Method</i> (Arendt & Lorenzo, 2010)	115
Gambar 7. 1 <i>Chemical Engineering Plant Cost Index 2002-2020</i>	128
Gambar 7. 2 Analisa Kelayakan Ekonomi	142
Gambar C. 1 Skema <i>Couse</i> pada tangki penyimpanan	206
Gambar C. 2 Sistematika perhitungan <i>head</i> bentuk <i>conical</i> pada tangki penyimpanan (T-113)	208
Gambar C. 3 Diagram <i>Gililand Correlation</i>	241
Gambar D. 1 <i>Chemical Engineering Plant Cost Index 2001-2020</i>	257
Gambar D. 2 Garfik Analisa Kelayakan	281

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri di Indonesia sangat berkembang pesat, terutama industri kimia. Perkembangan industri kimia baik yang memproduksi bahan kimia hulu maupun hasil olahannya, sangat berdampak positif bagi perekonomian negara termasuk dalam peningkatan devisa negara. Indonesia memiliki beragam kekayaan alam terbarukan yang sangat potensial sebagai penghasil bahan baku untuk pembuatan bahan kimia. Salah satu bahan kimia yang sangat dibutuhkan di berbagai sektor industri saat ini yaitu etanol. Pertumbuhan industri etanol di Indonesia khususnya yang berasal dari bahan terbarukan diperkirakan akan mengalami pertumbuhan yang sangat pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan etanol di industri maupun masyarakat. Maka perlu dibangunnya pabrik etanol berbahan baku limbah yang tidak mengganggu keseimbangan pangan, ramah lingkungan dan memiliki harga yang rendah seperti selulosa ampas tebu. Etanol yang terbuat dari bahan baku selulosa ampas tebu disebut bioetanol.

Bioetanol adalah etanol yang bahan utamanya dari tumbuhan dan umumnya menggunakan proses fermentasi. Menurut Khaidir & Ismadi (2016), bioetanol (C_2H_5OH) merupakan bahan bakar nabati yang penggunaannya dapat dijadikan sebagai bahan bakar campuran bensin, pelarut dalam industry, sebagai antiseptik seperti handsanitizer, pembersih alat industri dan campuran yang digunakan dalam industri kosmetik dan farmasi (Wright & Rahmanulloh, 2015). Penggunaan bioetanol beraneka ragam sehingga grade etanol yang dimanfaatkan harus berbeda sesuai dengan penggunaannya, kadar 90-94% netral etanol, 95-99,5% umumnya digunakan dalam industri, 99,5%-100% digunakan sebagai bahan bakar alternatif (Hendrawati et al., 2019).

Bioetanol dapat diperoleh melalui proses fermentasi gula dari biomassa yang mengandung karbohidrat (jagung, gandum), sukrosa (tebu) dan lignoselulosa (ampas tebu, tandan kosong kelapa sawit). Tahapan proses pembuatan bioetanol dengan bahan baku lignoselulosa melalui antara lain pretretmen (delignifikasi), hidrolisis, fermentasi dan pemurnian (destilasi). Metode fermentasi yang dapat digunakan adalah *Separate Hydrolysis and Fermentation* (SHF) dan *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF). SHF merupakan proses pembuatan etanol dimana biomassa lignoselulosa yang telah mengalami perlakuan awal difermentasi didalam reaktor yang berbeda. Proses ini sudah mulai di tinggalkan karena menghasilkan akumulasi glukosa dan selobiosa selama proses hidrolisis sehingga menghambat kerja selulase dan menurunkan efisiensi proses. SSF proses yang

paling diminati dalam dunia industri karena biaya produksi kecil, waktu proses produksi lebih singkat serta selama proses hidrolisis dan fermentasi dilakukan di satu reaktor yang sama dengan waktu operasi bersamaan. Proses SSF etanol yang terakumulasi tidak menghambat enzim selulase sehingga proses ini dapat mempercepat laju konversi selulosa menjadi etanol. Metode SSF dapat menghasilkan etanol 40% lebih banyak dari SHF (Burhani dkk,2019).

Ampas tebu merupakan subtract kompleks yang terdiri dari campuran polimer karbohidrat (selulosa dan hemiselulosa), lignin dan senyawa yang larut dalam air. Ampas tebu dihasilkan dari 32% tebu yang digiling dan rata-rata dari 50% dari ampas tebu tersebut dapat digunakan sebagai bahan bakar pabrik (Lavarack dkk., 2002). Ampas tebu mengandung air 48-52%, gula rata-rata 3,3%, dan serat rata-rata 47,7% dengan komposisi serat yaitu lignin 10-25%, selulosa 40-50% dan hemiselulosa 20-30% (Anwar et al., 2014). Ketersediaan ampas tebu di Jawa Timur sebesar 4.777.773,12 ton/tahun.

Kebutuhan bioetanol Indonesia pada tahun 2016-2020 terus mengalami peningkatan dengan rata-rata pertumbuhan impor 9,34% , ekspor 10%, konsumsi 5% dan produksi tidak mengalami pertumbuhan . Dengan didirikannya pabrik bioetanol ampas tebu dengan proses SSF diharapkan mampu memenuhi kebutuhan etanol didalam dan diluar negeri serta dapat menambah devisa negara dari sektor industri perkebunan.

1.2 Kapasitas Rancangan

Penentuan kapasitas produksi pabrik bioetanol didasarkan pada beberapa pertimbangan sebagai berikut:

1.2.1 Proyeksi Kebutuhan Pasar Bioetanol di Indonesia

Konsumsi bioetanol akan terus meningkat dalam beberapa tahun kedepan. Rencana jangka Panjang pemanfaatan bioetanol sebagai pelarut industry, handsanitaizer dan sebagai bahan tambahan dalam indutri kosmetik serta campuran bahan bakar. Kebutuhan bioetanol di Indonesia dapat diprediksi melalui nilai impor,nilai ekspor, produksi dan konsumsi.

Tabel 1. 1 Data Impor dan Ekspor Bioetanol (USDA, 2022)

Tahun	Perhitungan (Kl/Tahun)	
	Data Impor	Data Ekspor
2016	2000	71000
2017	5000	64000
2018	96000	158000
2019	1000	70000
2020	29000	47000

Tabel 1. 2 Data Produksi dan Konsumsi Bioetanol (USDA, 2022)

Tahun	Perhitungan (Kl/Tahun)	
	Produksi	Konsumsi
2016	205000	137000
2017	195000	137000
2018	200000	138000
2019	200000	139000
2020	193000	175000

Dapat dilihat dari datapada tahun 2016 hingga 2020 mengalami peningkatan kebutuhan impor bioetanol yang pesat dan mengalami penurunan sedikit drastis pada tahun 2019. Pada tahun 2020 mengalami peningkatan karena kebutuhan konsumsi non fuel grade etanol sebagai produk antiseptik, obat-obatan dan pelarut kimia yang meningkat akibat pandemi covid-19.

1.2.2 Ketersediaan Bahan Baku

Bioetanol dapat dibuat dari limbah gula (baggase, molase), padi, lontar, jagung, singkong. Dari beberapa jenis bahan baku ini yang cukup potensial dikembangkan di Indonesia adalah byggase (limbah pabrik gula). Hal ini sejalan dengan berkembangnya pabrik-pabrik produsen gula di Indonesia seperti yang terlihat pada tabel berikut : Jumlah Produksi Gula di Indonesia Tahun 2017-2021

Tabel 1. 3 Jumlah Produksi Gula di Indonesia Tahun 2017-2021 (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2021)

Provinsi	Tahun				
	2017	2018	2019	2020*)	2021**)
Sumatera Utara	9.582	17.023	15.883	14.317	16.581
Sumatera Selatan	89.010	101.135	90.422	91.807	92.305
Lampung	632.321	642.630	742.123	732.143	764.481
Jawa Barat	72.580	43.713	30.675	38.150	41.629
Jawa Tengah	173.857	201.037	182.733	154.603	192.034
DI. Yogyakarta	22.287	10.418	9.426	9.698	9.855
Jawa Timur	1.023.514	1.065.965	1.052.026	978.998	1.132.963
Nusa Tenggara Barat	3.622	1.348	2.487	1.636	4.033
Gorontalo	52.791	44.663	54.059	50.668	51.578
Sulawesi Selatan	42.108	43.016	47.192	58.700	58.862
Total	1.947.815	1.969.911	2.044.313	1.976.117	2.172.287

*) Angka sementara

***) Angka Estimasi

Berdasarkan data produksi tersebut dapat dilihat bahwa produksi gula khususnya di daerah Jawa Timur merupakan yang tertinggi dengan perkiraan total produksi mencapai 1.132.963 ton pada tahun 2021. Pemanfaatan bagasse tebu menjadi *pulp* selulosa merupakan salah satu potensi yang besar mengingat produksi ampas tebu yang dihasilkan dari tebu giling terus berkembang. Berikut data produksi tebu giling di daerah Jawa Timur tahun 2020 tertera pada tabel berikut :

Tabel 1. 4 Data Produksi Tebu Giling per-Perusahaan di Jawa Timur Tahun 2020 (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2020)

Perusahaan	Jumlah Tebu giling (Ton)
PTP Nusantara X	3.550.219
PTP Nusantara XI	3.986.972
PT RNI	
- PT Rajawali 1	2.250.000
- PT Rajawali 2	746.605
- PT Candi Baru	407.425
PTP Nusantara XII (PG Glenmore)	767.541
PT. Madubaru	386.682
PT. Kebon Agung	2.211.038
PT. Gendhis Multi Manis	498,05
PT. Kebun Tebu Mas	624.059
Jumlah	14.930.541

Dari data produksi tebu giling di atas, total produksi tebu giling di Jawa Timur pada tahun 2021 sebesar 14.930.541 ton/tahun. Potensi ampas tebu yang dapat dihasilkan adalah sebesar 32% dari total tebu yang digiling (Maria Natalia, Wirananditami Hazrifawati & Program, 2019) sehingga diperoleh jumlah bagasse/ampas tebu yang dapat dihasilkan sebesar 4.777.773,12 ton/tahun. Hal ini menandakan bahwa ketersediaan bagasse tebu di Jawa Timur cukup melimpah dan cukup untuk produksi bioetanol dengan kapasitas 46.000 kL/tahun dimana pada kapasitas tersebut membutuhkan bahan baku bagasse sebanyak 771.260,9971 kg/hari dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Konversi bagasse} = 14,26\% \quad (\text{Putri}, 2018)$$

$$\text{Bagasse yang dibutuhkan} = \text{Kapasitas Produksi} : \text{Konversi bagasse jadi etanol}$$

$$\text{Kapasitas produksi} = 46.000 \quad \text{kL}$$

$$\text{Densitas etanol} = 789 \quad \text{kg/m}^3$$

$$\text{Kapasitas Produksi} = 36.294.000 \quad \text{kg}$$

$$= 36.294 \quad \text{ton}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bagasse yang dibutuhkan} &= 36.294 \text{ ton} : 14,26\% \\
 &= 254.516,129 \text{ ton/tahun} \\
 &= 771,2609971 \text{ ton/hari} \\
 &= 771.260,9971 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

1.2.3 Kapasitas Minimum Pabrik Sejenis

Kapasitas pabrik yang didirikan harus diatas kapasitas minimum pabrik, atau minimal sama dengan pabrik yang sedang berjalan. Berikut merupakan daftar perusahaan yang telah memproduksi bioetanol di Indonesia:

Tabel 1. 5 Daftar Pabrik Produksi Bioetanol yang Telah Berdiri (Soerawidjaja,2013)

Nama Perusahaan	Lokasi	Kapasitas Produksi (kL/tahun)	Bahan Baku
PT. Aneka Kimia Nusantara	Mojokerto	7.000	<i>Molasses</i>
PT. Basis Indah	Sulawesi	1.600	<i>Molasses</i>
PT. Bukit Manikam Subur Persada	Lampung	50.000	<i>Molasses</i>
PT. Indoacidatama Chemical	Surakarta	60.282	<i>Molasses</i>
PT. Madu Baru	Yogyakarta	6.720	<i>Molasses</i>
PT. Molindo Raya Industrial	Malang	45.000	<i>Molasses</i>
PT. Indo Lampung Distilleri	Lampung	70.000	<i>Molasses</i>
PT. Basis Indah	Makassar	1.600	<i>Molasses</i>
PT. Perkebunan Nusantara XI	Surabaya	10.000	<i>Molasses</i>
PT. Rajawali Nusantara Indonesia	Jawa Timur	100.000	<i>Molasses</i>
PT. Rhodiah Manyar	Surabaya	15.000	<i>Molasses</i>
Agro Nusantara	Mojokerto	23.700	<i>Molasses</i>
PT Indonesia Etanol Industri	Lampung	63.300	<i>Molasses</i>

Dari tabel 1.5 dapat dilihat kapasitas produksi bioetanol yang sudah beroperasi berkisar antara 1.600 – 100.000 kL per tahun yang masing-masing dioperasikan oleh Indoaciditama Chemical, Molindo Raya Industrial, PT Indo Lampung Distillery, dan PT Rajawali Nusantara Indonesia.

Dengan mempertimbangkan kebutuhan dalam negeri yang semakin meningkat dan kapasitas pabrik minimal yang sudah ada maka dalam perancangan dipilih kapasitas 46.000 kL/tahun dengan pertimbangan:

- a. Dapat ikut serta memenuhi kebutuhan bioetanol dalam negeri yang diperkirakan pada tahun 2026 mencapai 46.000 kL/tahun dan terus meningkat setiap tahunnya.

- b. Mengurangi impor sehingga kebutuhan bioetanol tidak bergantung pada negara lain.
- c. Dapat memberikan keuntungan karena kapasitas yang dirancang telah melampaui kapasitas minimum pabrik yang telah beroperasi.
- d. Dapat meningkatkan nilai guna dan nilai jual sumber daya alam Indonesia.

1.2.4 Kapasitas yang digunakan

Penentuan kapasitas pabrik bioetanol dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas rata-rata pabrik bioetanol di Indonesia. Dari data-data diatas, dapat dihitung data ekspor, impor, produksi dan konsumsi pabrik bioetanol yang akan mulai beroperasi pada tahun 2026 dengan menggunakan metode disconted, sebagai berikut:

$$U_n = U_1 (1 + r)^n$$

dimana:

U_n	= jumlah komoditas tahun ke-n
U_1	= jumlah komoditas tahun ke-1 pada data
r	= laju pertumbuhan
n	= selang tahun ke-n dari tahun pertama
U_n Ekspor	= 81.876,54 kL
U_n Impor	= 66600 kL
U_n Produksi	= 179.920,3 kL
U_n Konsumsi	= 240.896,6303 kL

Sehingga kapasitas produksi pabrik yang masih dibutuhkan dapat ditentukan dengan rumus:

$$\begin{aligned}
 &= (\text{Konsumsi} + \text{Ekspor}) - (\text{Produksi} + \text{Impor}) \\
 &= (240.896,6303 + 81.876,54) - (179.920,3 + 66.600) \\
 &= 76.252,86 \text{ kL/tahun}
 \end{aligned}$$

Kapasitas produksi pabrik baru (Pb) pada tahun 2026:

$$\begin{aligned}
 \text{Pb} &= 60\% \times 76.252,86 \text{ kL/tahun} \\
 &= 45.751,71 \text{ kL/tahun}
 \end{aligned}$$

Prediksi kebutuhan bioetanol di Indonesia pada tahun 2026 sekitar 76.252,86 kL/tahun. Pabrik yang baru didirikan tidak bisa memenuhi 100% kebutuhan pasar hanya dapat memenuhi 50 - 60% prediksi kebutuhan pasar. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka dapat di tentukan kapasitas pabrik bioetanol yang akan didirikan pada tahun 2026 adalah 60% dari 76.252,86 kL/tahun, yaitu 45.751,71 kL/tahun atau dapat dipertimbangkan kapasitas pabrik 46.000 kL/tahun.

1.3. Penentuan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi merupakan hal yang sangat penting, dalam menentukan lokasi pabrik perlu ditinjau apakah proses yang berlangsung bersifat *weight gain* atau *weight loss*. Pada proses bersifat *weight gain* produk yang dihasilkan lebih berat dari pada reaktan misalnya reaksi yang memakai air atau udara, maka akan lebih menguntungkan bila lokasi berdirinya pabrik dekat dengan pasar karena ongkos angkut menjadi lebih murah. Jika proses bersifat *weight loss* produk lebih ringan seperti reaksi dengan produk samping air, gas yang bisa dibuang ke udara akan lebih menguntungkan bila dekat dengan sumber bahan baku. Proses produksi bioetanol bersifat *weight loss* karena produk yang dihasilkan lebih ringan dari pada bahan bakunya. Penentuan lokasi pabrik harus dipertimbangkan melalui beberapa faktor. Hal tersebut agar mendapatkan lokasi yang tepat dan biaya yang minimum untuk pembangunan pabrik dan transportasi. Beberapa kota yang memungkinkan untuk dipilih sebagai lokasi pendirian pabrik bioetanol antara lain Jombang, Surabaya, Malang. Lokasi pendirian pabrik ditentukan berdasarkan perbandingan aspek-aspek dalam matriks berikut:

Tabel 1. 6 Matriks Penentuan Lokasi Pabrik

Aspek	Mojokerto	Surabaya	Malang
Harga tanah	3	1	2
Sumber bahan baku	3	2	2
Transportasi	2	2	3
Tenaga listrik	3	3	3
Air	3	3	3
Persediaan tenaga kerja	3	3	2
Lokasi pasar	2	3	2
Limbah	2	2	1
Fasilitas perumahan	3	3	3
Fasilitas umum	3	3	3
Kebijakan pemerintah daerah	3	3	3
Sistem pengupahan dan UMK	3	2	2
Total	33	30	29

*keterangan : skala 1-3

Table 1.6 menjelaskan mengenai perbandingan beberapa lokasi yang potensial untuk pendirian pabrik bioetanol. Berdasarkan ketiga lokasi diatas, Mojokerto memperoleh total

skor tertinggi sehingga dipilih sebagai lokasi pendirian pabrik bioetanol. Penentuan Mojokerto sebagai lokasi pendirian pabrik didukung oleh faktor-faktor berikut:

1.3.1 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku utama dalam pembangunan pabrik bioetanol yaitu bagasse atau limbah yang dihasilkan dari pabrik gula. Penentuan lokasi pabrik yang dekat dengan bahan baku dapat meminimalkan waktu dan biaya produksi. Bahan baku bagasse didapat dari hasil penggilingan pabrik gula di Jawa Timur khususnya di Mojokerto dengan jumlah produksi gula 3.550.219 ton/tahun. Bahan baku *Ammonia* (NH_3) diperoleh dari PT Petrokimia Gresik dengan kapasitas 445.000 ton/tahun dengan kebutuhan 14% dari total bagasse yang akan digunakan pada proses delignifikasi.

1.3.2 Daerah Pemasaran

Daerah pemasaran menjadi salah satu pertimbangan dalam menentukan lokasi pabrik agar hasil produk bioetanol dapat dipasarkan dengan mudah dan meminimalkan biaya transportasi. Pada umumnya bioetanol digunakan pada berbagai industri seperti sebagai industri kosmetik, industri pelastik, industri tinta dan pada industri Farmasi seperti pembuatan *hand sanitizer* dan etanol juga sering digunakan dalam industri sebagai bahan untuk membersihkan beberapa peralatan seperti *valve*. Bioetanol juga dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil.

Tabel 1. 7 Data Industri Berbahan Etanol Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, (2022)

Nama Industri	Komoditi	Lokasi
PT Asma Asri Lestari	Kosmetik	Surabaya, Jawa Timur
PT. Bintang Jaya	Kemasan plastik	Surabaya, Jawa Timur
PT. Damik Lestari Indonesia	Kosmetik	Malang, Jawa Timur
PT. Citra Mas Plastic Industri	Plastik	Mojokerto, Jawa Timur
PT. Imfarmind Farmasi Industri	Farmasi	Sidoarjo, Jawa Timur
PT. Kitoshindo Internasional Biotech	Komestik	Mojokerto, Jawa Timur
PT. Kimia Farma	Farmasi (handsanitaizer)	Jombang, Jawa Timur
PT. HI Tech Ink Indonesia	Tinta	Sidoarjo, Jawa Timur
PT. Arisu Graphic Prima	Kemasan Plastik	Surabaya, Jawa Timur
PT Sejahtera Inti Prima	Cetak dos obat, kosmetik	Sidoarjo, Jawa Timur

1.3.3 Sarana Transportasi

Sarana transportasi sangat penting sebagai penunjang utama untuk penyediaan bahan baku dan pemasaran produk. Fasilitas transportasi meliputi: darat (jalan raya), laut dan udara. Daerah Mojokerto memiliki transportasi darat dan laut yang baik dan mudah dicapai sehingga proses transportasi dapat berjalan optimal. Sarana perhubungan darat di Mojokerto sebagai berikut:

- a. Jalan negara : 35.000 km
- b. Jalan provinsi : 73.110 km
- c. Jalan kabupaten : 1.041 km

Sarana perhubungan udara di Mojokerto sebagai berikut:

- a. Bandara Juanda yang berlokasi di jalan H.Juanda, Betro, Kecamatan Sedate, Kabupaten Sidoarjo Jawa Timur

1.3.4 Utilitas

Lokasi ini cukup dekat dengan laut sehingga pabrik ini memiliki penyediaan air yang cukup baik. Selain itu lokasi tersebut tersedia energi listrik yang didapatkan dari PT. PLN dan juga dari pembangkit listrik tenaga mikrohidro untuk memenuhi unit utilitas pabrik.

1.3.5 Ketersediaan Tenaga Kerja

Pendirian suatu pabrik harus mempertimbangkan tenaga kerja yang meliputi tenaga kerja lokal maupun tenaga kerja ahli yang berpengalaman di bidangnya. Tenaga kerja dapat berasal dari berbagai jenjang pendidikan. Selain itu Mojokerto memiliki jumlah penduduk 1.119.209 jiwa. Lokasi pabrik tidak terlalu jauh dari pemukiman penduduk sehingga dapat mencukupi persediaan tenaga kerja yang akan di rekrut.

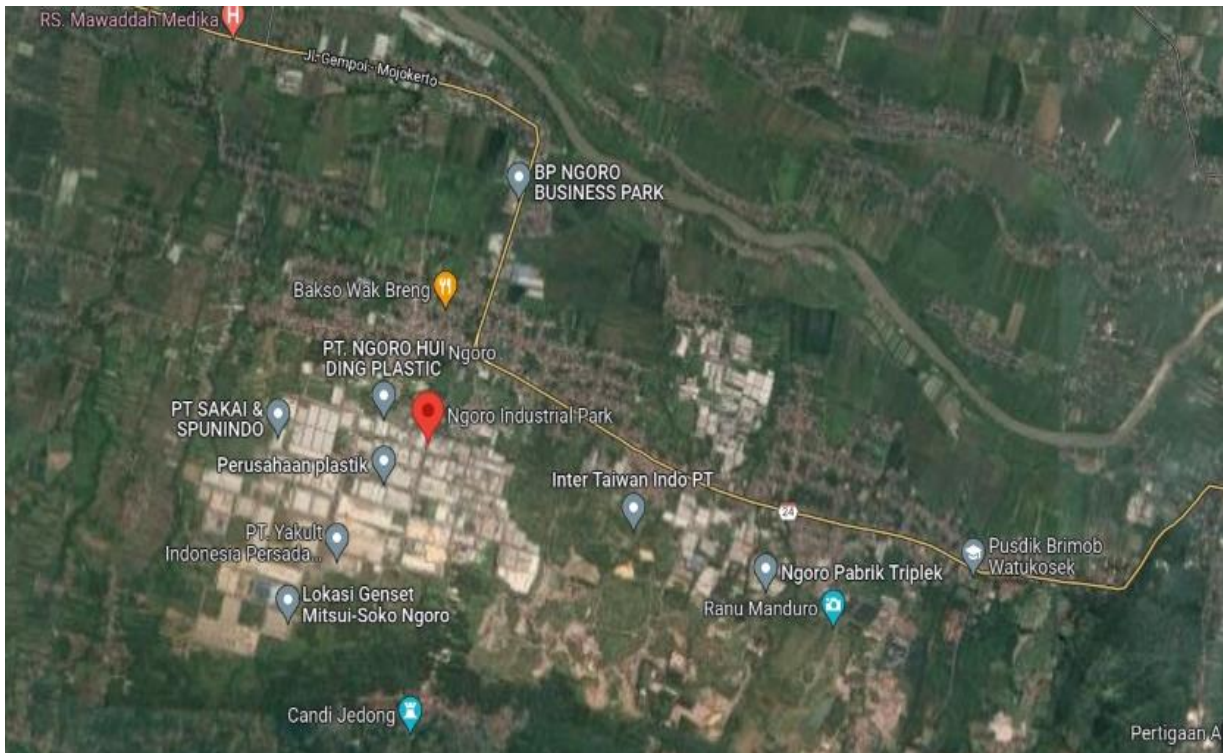
1.3.6 Pembuangan Limbah

Pembangunan pabrik dekat dengan kali curah panggul, kali poleman dan kali porong yang merupakan aliran sungai berantas sehingga pembuangan limbah dapat dilakukan ke sungai ataupun ke laut. Namun, limbah yang dibuang adalah limbah yang sudah sesuai dengan persyaratan pembuangan air limbah agar tidak mencemari lingkungan.

1.3.7 Kebijakan Pemerintah

menurut peraturan pemerintah yang sudah ditetapkan pada Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomer 32 Tahun 2008 tentang Penyediaan, Pemanfaatan dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (*Biofuel*) sebagai Bahan Bakar Lain di Pasal 6 yang berbunyi “ terhadap badan usaha pemegang izin usaha niaga dan bahan bakar minyak dan pengguna langsung bahan bakar minyak yang melaksanakan pemanfaatan penggunaan bahan bakar

nabati (*Biofuel*) sebagai bahan bakar lain secara berkesinambungan dan badan usaha yang melaksanakan kegiatan niaga bahan bakar nabati (*Biofuel*) sebagai bahan bakar lain dapat diberikan insentif baik fisik dan atau non fisik sesuai dengan ketentuan peraturan undang-undang” (Kementrian ESDM,2008) sehingga sudah dipastikan sebagai produsen bioetanol tentunya pabrik ini diberikan kemudahan oleh pemerintah baik pusat maupun daerah.



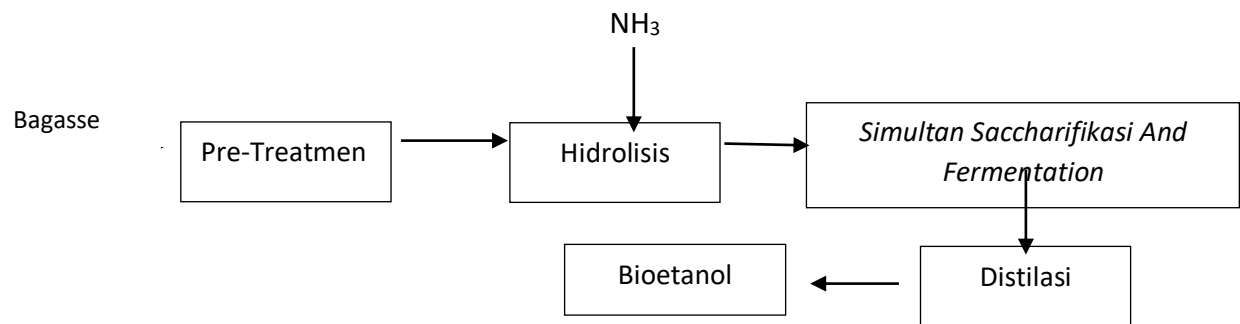
Gambar 1. 1 Rencana Lokasi Perancangan Pabrik

1.4 Tinjauan Proses

Bioetanol merupakan salah satu produk yang dapat diperoleh melalui proses *biorefinery* menggunakan *bio-based resources*. Bioetanol adalah salah satu biofuel yang paling menarik. Karena dapat dengan mudah diproduksi dalam jumlah besar dan dapat dicampur dengan bensin atau digunakan murni sebagai bahan bakar “ramah lingkungan”. karena kandungan oksigen yang dihasilkan lebih tinggi. Pada proses produksi bioetanol dapat dilakukan dengan beberapa proses, proses yang biasa digunakan adalah Fermentasi dan sintesis etilen (Hidayati dan Puspita, 2017).

1.4.1 Proses Pembuatan Bioetanol

Secara garis besar proses pembuatan bioetanol menggunakan bahan lignosellulosa menggunakan proses fermentasi. Pada proses pembuatan bioetanol ini memiliki beberapa tahap tahap paling utama pre-treatment bahan lignosellulosa, proses hidrolisis, proses fermentasi, pemurnian.



Gambar 1. 2 Tahapan Proses Bioetanol Lignoselulosa

a. Pre-Treatment

Teknologi *pre-treatment* meliputi pemisahan komponen lignin pada biomassa lignoselulosa untuk memperoleh komponen selulosa dan hemiselulosa (holoselulosa) agar proses hidrolisis secara enzimatik maupun kimiawi. Untuk mengolah *bagasse* bermacam-macam, perlu dilakukan pemilihan terhadap proses yang paling efisien sehingga didapatkan hasil yang maksimal. Berikut beberapa teknologi *Pre-Treatment* untuk memecah ikatan lignoselulosa dibagi menjadi fisika, kimia, biologi.

- Fisika

Proses fisika bertujuan untuk merombak struktur fisik biomassa lignoselulosa dan memecah matriks penyusunnya. perlakuan awal fisik meliputi milling, grinding, chipping dan size reduction yang berfungsi untuk meningkatkan luas permukaan spesifik dan ukuran pori dan untuk menurunkan derajat polimerisasi dan kristalinitas.

Chipping adalah memotong-motong bahan dalam bentuk bongkahan menjadi bagian lebih kecil. Grinding adalah proses menggerus bahan yang sudah dipotong kecil-kecil sehingga menjadi lebih halus dengan bantuan friksi antara dua benda keras. Milling (Penggilingan) adalah proses penghalusan dengan cara penggilingan bahan menggunakan beberapa cara.

- Kimia

- *Alkaline Pretreatment*

Alkaline Pretreatment merupakan metode yang sering digunakan karena dapat menghilangkan lignin dari biomassa sehingga dapat meningkatkan reaktivitas polisakarida yang tersisa dan menghilangkan gugus asetil dan berbagai substitusi asam pada hemiselulosa (Chen dkk.2011). Pada proses alkaline pre-treatment kandungan lignin akan mengalami proses penguraian dengan menggunakan ammonia hidroxide. *Alkaline Pretreatment* dapat meningkatkan kandungan selulosa dan efektif dalam proses penghilangan lignin.

Menurut US Patent 0330638A1,(2010) *Pretreatment* menggunakan metode alkaline pada bagasse menyebabkan kandungan lignin berkurang 4% dan 75,91% dalam waktu 1 jam dengan penambahan ammonia 28-30%. Proses ini biasanya menggunakan suhu 120°C. Selain itu proses ini sangat efektif untuk proses delignifikasi. Proses alkali ini tidak membutuhkan suhu dan tekanan tinggi sehingga sangat ekonomis dalam pembuatan bioetanol.

- *Steam Explosion*

Metode ini merupakan gabungan dari kekuatan mekanik dan kimia. Pada metode ini biomassa diberi tekanan uap tinggi, selanjutnya tekanan dikurangi secara tiba-tiba, yang menyebabkan biomassa mengalami dekompresi eksplosif. Tekanan yang dikurangi secara tiba-tiba, yang menyebabkan biomassa mengalami dekompresi eksplosif. Ledakan dekompresi mengakibatkan serat-serat biomassa terpisah. Pada metode ini juga terjadi hidrolisis (autohidrolis) dari gugus asetil pada hemiselulosa. Auto hidrolisis gugus asetil pada suhu tinggi menghasilkan asam asetat. Selain itu, air pada suhu tinggi juga dapat bersifat seperti asam.

Proses ini biasanya menggunakan suhu 160 – 260 °C dengan tekanan 0,69 – 4,83 mPa selama beberapa detik hingga beberapa menit sebelum biomassa dipapar pada tekanan atmosfer. Proses ini dapat menyebabkan degradasi hemiselulosa dan perubahan lignin sehingga meningkatkan laju hidrolisis selulosa (Hidayat, 2013).

Sejauh ini *steam explosion* merupakan proses paling umum yang digunakan dalam industry, namun masih belum ada standar teknologi untuk *steam explosion*. Ada banyak teknologi yang menawarkan konfigurasi *reactor* yang berbeda-beda serta dapat dikombinasikan dengan *Pretreatment* asam maupun basa (Harmsen et al., 2013).

- *Ammonia Fibre Explosion (AFEX)*

Ammonia fibre explosion adalah proses *Pretreatment* fisika-kimia yang menggunakan ammonia cair dan tekanan uap. Biomassa lignoselulosa direndam pada cairan ammonia pada suhu dan tekanan tinggi pada waktu tertentu, dan kemudian tekanan dikurangi secara tiba-tiba. Proses AFEX ini dapat menyebabkan dekrystalisasi selulosa, depolimerisasi sebagian hemiselulosa, pembelahan matriks ikatan lignin-karbahidrat, pembelahan ikatan C-O-C pada lignin, dan peningkatan akses selulase yang diakibatkan oleh rusaknya matriks ini.

Metode ini secara umum menggunakan dosis cairan ammonia sebanyak 1-2 kg/kg biomassa kering, suhu yang digunakan 90 °C, dan waktu 30 menit. Salah satu kelebihan proses ini adalah ammonia yang digunakan dapat di recycle dan dipakai Kembali. Selain itu, proses di bagian hilir nya pun tidak serumit metode *pre-treatment* lain. Efektifitas *pre-treatment* ini sangat baik diaplikasikan pada limbah pertanian dan rerumputan atau bahan lain

yang memiliki kadar lignin rendah. *Pre-treatment* rumput bermuda (*Cynodon dactylon*) menggunakan metode ini dapat menghasilkan lebih dari 90% hidrolisis selulosa dan hemiselulosa. Sebaliknya, metode ini kurang efektif jika menggunakan bahan baku yang memiliki kadar lignin tinggi seperti kayu dan cangkang biji-bijian. Permasalahan utama pada metode ini adalah proses *recycle ammonia* masih kurang efektif dan efisien sehingga mengakibatkan biaya tinggi (Hidayat, 2013)

- *Dilute Acid*

Pretreatment asam menggunakan larutan asam sebagai katalisnya, Asam memiliki pengaruh yang kuat pada hemiselulosa dan lignin dibandingkan pada struktur kristalin selulosa. Tujuan utama metode ini adalah melarutkan sebagian hemiselulosa agar enzim selulase dapat menjangkau struktur selulosa.

Metode ini dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu asam pekat dan asam encer. Perlakuan dengan asam pekat jarang digunakan karena dapat meningkatkan pembentukan senyawa inhibitor, menyebabkan korosi pada peralatan, dan sulit *me-recovery* asam yang digunakan. Sedangkan, perlakuan dengan asam encer lebih sering digunakan walaupun menghasilkan produk degradasi yang lebih rendah dari asam pekat. Kelebihan metode ini yaitu

- Metode ini dapat dilakukan pada suhu tinggi dan kontinyu ($T > 160\text{ }^{\circ}\text{C}$, 5-10 wt% substrat) dalam waktu singkat atau menggunakan suhu yang lebih rendah dan batch ($T \geq 160\text{ }^{\circ}\text{C}$, 10-40 wt% substrat) tetapi dalam waktu yang lebih lama (30-90 menit)
- Asam yang digunakan bukan hanya dapat melarutkan hemiselulosa tetapi juga dapat mengkonversi hemiselulosa yang terlarut menjadi gula
- Metode ini dapat mengurangi pemakaian hemiselulase selama proses hidrolisis enzimatik.

Berbagai larutan asam yang dapat digunakan antara lain asam sulfat (H_2SO_4), asam klorida (HCl), asam nitrat (HNO_3) dan asam fosfat (H_3PO_4). Berdasarkan hasil hidrolisis enzimatik, larutan asam paling bagus untuk *Pretreatment* lignoselulosa adalah asam sulfat (Hidayat, 2013)

- *Liquid Hot Water*

Liquid Hot Water adalah *pre-treatment* hidrotermal dimana diberikan tekanan untuk menjaga air tetap dalam keadaan cair pada suhu tinggi. Biasanya digunakan suhu dalam kisaran $170 - 230\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan tekanan lebih dari 5 MPa. Fluida subkritis ini menyajikan sifat-sifat tertentu dalam kaitannya dengan air di kondisi sekitar, yaitu, kekuatan dielektrik dan produk

ionic dan sifat-sifat ini dapat dengan mudah dikendalikan sebagai fungsi tekanan dan suhu. Perlakuan ini memberikan *yield* yang tinggi dan sedikit produk samping (Karp et al., 2013)

40% hingga 60% biomassa akan larut dalam proses ini yaitu 4-22% selulosa, 35%-60% lignin dan seluruh hemiselulosa dipisahkan. Lebih dari 90% hemiselulosa akan ter- *recovery* sebagai monomernya saat asam digunakan untuk menghidrolisis hasil liquid-nya, Selama proses terbentuk asam asetat yang dapat menjadi katalis proses hidrolisis polisakarida sehingga mengakibatkan dekomposisi gula monomer menjadi furfural. Untuk jenis biomassa lignoselulosa dengan kadar lignin tinggi akan menghalangi *recovery* hemiselulosa (Harmsen et al., 2013)

- *Wet Oxidation*

Wet oxidation adalah *Pretreatment* hidrotermal dimana bahan lignoselulosa diberikan perlakuan dengan air dan udara, atau oksigen pada suhu tinggi (150 – 350 °C) dan tekanan tinggi (5-20 MPa). Terjadi 2 jenis reaksi yaitu reaksi hidrolitik suhu rendah dan reaksi oksidatif suhu tinggi. *Acid wet oxidation* pada suhu 195 °C selama 15 menit dapat memberikan hasil pemisahan ampas tebu dengan baik namun banyak polisakarida yang hilang dan hidrolisis enzimatis yang didapatkan kurang baik (Karp et al., 2013)

Terdapat dua proses utama dalam pemilihan teknologi produksi dan seleksi proses, yaitu pemilihan Teknologi *Pre-Treatment* dan pemilihan proses pembuatan bioetanol. Berikut ini adalah tabel perbandingan proses pemisahan hemiselulosa untuk untuk *Alkaline Pretreatment, Steam Explosion, Ammonia Fibre Explosion, Dilute Acid, Liquid Hot Water,* dan *Wet Oxidation*.

Tabel 1. 8 Seleksi Proses Teknologi Pre-Treatment

Metode	Kelebihan	Kekurangan
Alkaline <i>Pretreatment</i>	1. Metode ini lebih efektif dalam solubilisasi lignin 2. Dampak lingkungan rendah 3. Dapat meningkatkan efektifitas metode selanjutnya yaitu hidrolisis menghasilkan hingga 90% glukosa. 4. Pemecahan lignin maksimal hingga 4%	Hemiselulosa yang dapat terdegradasi kurang maksimal

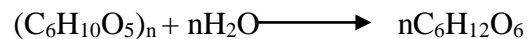
	5. Ekonomis karena tidak memerlukan suhu maupun tekanan yang terlalu tinggi.	
<i>Steam Explosion</i> (SE)	1) Dampak lingkungan yang rendah; 2) Modal investasi yang diperlukan kecil; 3) Dapat menggunakan bahan berukuran besar; 5) Hasil hidrolisis enzimatisnya baik	terbentuknya inhibitor selama degradasi gula yang dapat menghambat tahap hidrolisis dan <i>fermentasi</i> lebih lanjut. Biaya produksi mahal
<i>Ammonia Fibre Explosion</i> (AFEX)	Efektif untuk biomassa lignoselulosa dengan kadar lignin rendah. ammonia yang digunakan dapat di- <i>recovery</i> .	Tidak efektif untuk biomassa lignoselulosa dengan kadar lignin tinggi. <i>Recovery</i> ammonia masih kurang efektif dan efisien sehingga menyebabkan biaya tinggi.
<i>Dilute Acid</i> (DA)	Salah satu metode paling efektif dalam <i>Pretreatment</i> biomassa lignoselulosa dan menghasilkan <i>recovery</i> hemiselulosa yang tinggi.	Hemiselulosa dapat terdegradasi menjadi furfural dan hydroxymethyl furfural (inhibitor). Penggunaan asam dapat menyebabkan korosi sehingga modal investasi lebih besar. Selain itu, netralisasi dengan alkali akan menghasilkan limbah padatan.
<i>Liquid Hot Water</i> (LHW)	Tidak membutuhkan tambahan bahan kimia sehingga tentunya tidak butuh material anti korosi. Menghasilkan sedikit inhibitor dibanding <i>Pretreatment</i> asam atau basa.	Tekanan lebih tinggi dari <i>steam explosion</i> dan kurang efektif untuk biomassa dengan kadar lignin tinggi.
<i>Wet Oxidation</i>	Inhibitor berupa furfural dan HMF lebih sedikit dari <i>steam</i>	Walaupun inhibitor lebih sedikit namun menghasilkan produk

(WO)	explosion dengan yield selulosa yang lebih tinggi dari <i>steam explosion</i> .	samping lain yaitu asam karbosilat, CO ₂ dan H ₂ O dari degradasi lignin dan hemiselulosa. Modal investasi lebih besar dibandingkan <i>steam explosion</i> karena tekanan yang tinggi serta sulit dioperasikan secara kontinyu.
------	---	---

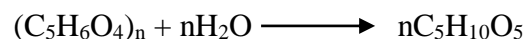
Pada tahap ini digunakan *Pretreatment* fisika dan kimia dengan melakukan penggilingan yang bertujuan untuk mengurangi ukuran partikel yang dapat meningkatkan kinerja enzim selulase. Namun, pada proses ini tidak mampu menghilangkan kandungan lignin, oleh sebab itu proses *Pretreatment* dilanjutkan secara kimia *alkaline Pretreatment* dengan menggunakan larutan alkali. Alkali yang digunakan yaitu amonia yang dapat mengurai kandungan lignin, dan meningkatkan kandungan selulosanya (US Patent 0330638A1,2010).

b. Proses Hidrolisis

Hidrolisis holoselulosa (hemiselulosa dan selulosa) menjadi gula monomer adalah tahap kedua setelah perlakuan awal dalam proses produksi bioetanol berbahan baku lignoselulosa. Pada tahap ini selulosa dan hemiselulosa diubah menjadi gula sederhana reaksi yang terjadi sebagai berikut :



Pada reaksi hidrolisis persamaan pertama memperlihatkan bahawa setiap unit glukosa dalam rantai Panjang bergabung dengan molekul air, 162 unit massa selulosa dan 18 unit massa air akan melepas 180 unit glukosa. Dari persamaan pertama didapatkan konversi selulosa menjadi glukosa adalah 1,111. Oligomer yang terdiri atas beberapa glukosa dapat dihasilkan sebagai produk antara dalam hidrolisis selulosa. Oligomer yang sering terbentuk adalah selobiosa yang mengandung 2 unit glukosa (Wyman et al, 2005).



Hemiselulosa juga dapat dihidrolisis dengan penambahan air untuk melepaskan gula monomer. Gula monomer yang terbentuk yaitu silosa (pentose) atau n arabinosa. Pada persamaan dua dapat kita simpulkan bahwa 132 unit massa hemiselulosa dan 18 unit air akan melepas 150 unit massa gula pentose (Wyman et al, 2005). Factor konversi hemiselulosa gula pentosa (silosa) adalah 1,136 (Kang et al, 2014). Proses hidrolisis biomassa lignoselulosa dapat dilakukan menggunakan bahan kimia atau enzim.

- Hidrolisis Kimia

Menurut Taherzadeh & Karimi (2008) hidrolisis kimia merupakan perlakuan biomassa lignoselulosa dengan bahan kimia dengan waktu dan temperatur tertentu yang memecah polimer selulosa dan hemiselulosa menjadi monomer gulanya (glukosa dan xilosa). Bahan kimia yang dominan digunakan dalam proses hidrolisis adalah asam seperti asam sulfat, asam klorida, asam fluorida, asam fosfat, asam nitrat dan asam format (Galbe & Zacchi,2002). Metode hidrolisi kimia dibagi menjadi asam pekat dan asam encer.

Asam pekat atau Konsentrasi asam tinggi yang digunakan untuk proses hidrolisis adalah antara 10-30%. Penggunaan asam dengan kondentrasi tinggi pada kondisi temperatur operasi rendah akan memperoleh selulosa yang tinggi (90% perolehan glukosa teoritis) tetapi memerlukan waktu lama. Asam encer atau konsentrasi asam rendah berfungsi Untuk mendapatkan konsentrasi selulosa tinggi, penggunaan asam dengan konsentrasi rendah (antara 2 – 5 %), harus dibarengi dengan temperature yang tinggi (Verardi et al, 2012).

- Hidrolisis dengan Enzim

Hidrolisis enzimatis adalah proses hidrolisis yang dilakukan menggunakan enzim. Enzim bekerja sebagai katalis untuk mempercepat reaksi (Irawati,2016). Pada umumnya enzim yang digunakan untuk memecah selulosa adalah enzim selulase. Hidrolisis enzimatis dengan menggunakan enzim selulase sebagai katalisnya akan menjanjikan proses yang lebih ramah lingkungan, kondisi operasi yang lebih lunak (suhu rendah,pH netral), dan berpotensi untuk memberikan hasil yang lebih tinggi dan efektif jika dibandingkan katalis asam (Setyoko,2016).

Enzim selulase mempunyai sifat spesifikasi untuk menghidrolisis ikatan β -(1-4) glukosida dari selulosa menghasilkan selobiosa kemudian diubah menjadi monomer glukosa. Enzim selulase umumnya terdiri dari 3 unit enzim utama, antara lain Endo β -(1-4) glucanase (Cx) yang berperan terutama pada bagian amorf rantai selulosa.

Tabel 1. 9 Perbandingan Proses Hidrolisis Katalis Asam dan Enzim (Burhani dkk,2019)

Metode	Kelebihan	Kekurangan	Keterangan
Hidrolisis			
Hidrolisis Asam Kuat	<ul style="list-style-type: none"> • Kondisi proses pada temperature rendah • Perolehan monomer gula tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> • Konsumsi asam tinggi • Terjadi korosi pada peralatan • Konsumsi energi tinggi 	Konsentrasi asam 10-30%

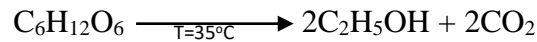
		untuk pengambilan	
		Kembali asam	
		<ul style="list-style-type: none"> • Waktu lama • Memerlukan biaya yang lebih besar dari asam encer 	
Hidrolisis Asam Lemah	<ul style="list-style-type: none"> • Konsumsi asam rendah • Waktu yang dibutuhkan singkat 	<ul style="list-style-type: none"> • Kondisi proses pada temperatur tinggi • Perolehan konsentrasi selulosa tinggi. • Terjadi korosi pada peralatan • Terbentuk produk samping yang tidak diinginkan seperti furfural dan 5-hidroksimetil-furfural (HMF) 	Konsentrasi asam 2-5%
Hidrolisis Enzimatis	<ul style="list-style-type: none"> • Menurunkan resiko korosi pada alat proses • Mengurangi kehilangan energi pada bahan bakar produksi. • Gula yang dihasilkan seragam dan tidak mengandung produk lain sabagai hasil degradasi glukosa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Kurangnya laju hidrolisis yang disebabkan oleh inhibisi enzim. • Biaya perawatan alat murah 	Enzim selulase

Berdasarkan Tabel 1.9. menunjukkan bahwa katalis asam memiliki biaya operasi yang lebih mahal dibandingkan dengan katalis enzim, karena menggunakan katalis asam akan sering terjadi korosi pada alat proses dan pembentian bahan baku asam. Hal ini akan menambah biaya produksi dan biaya perawatan. Selain itu hidrolisis enzimatis lebih

menguntungkan karena prosesnya lebih selektif, glukosa yang dihasilkan relative lebih banyak, tidak beracun dan biaya murah.

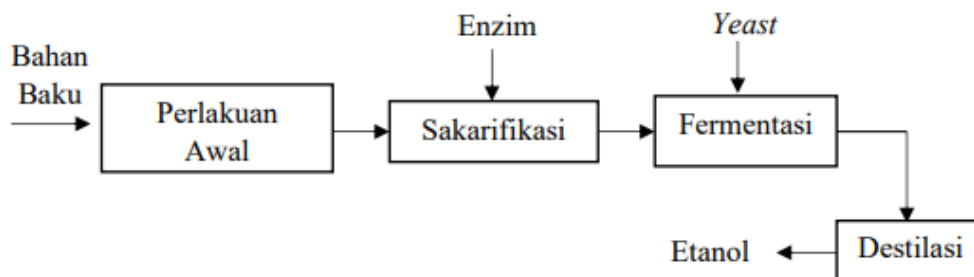
c. Metode Fermentasi

Tahap inti produksi bioetanol adalah fermentasi gula, baik yang berupa glukosa, sukrosa, maupun fruktosa oleh ragi terutama *Saccharomyces sp* atau bakteri *Zymomonas mobilis*. Pada proses ini, gula akan dikonversi menjadi bioetanol dan gas karbondioksida.



Fermentasi adalah proses pemecahan senyawa organik (khususnya gula, lemak) oleh mikroorganisme dalam kondisi anaerob. Dalam pembuatan etanol dengan menggunakan metode fermentasi dibutuhkan mikroorganisme untuk mengubah bahan organik menjadi komponen sederhana. Selama proses fermentasi mikroorganisme memproduksi enzim untuk menghidrolisis substrat menjadi komponen sederhana (gula) selanjutnya mengubahnya menjadi etanol (Lin & Tanaka, 2006). Proses fermentasi yang sering digunakan adalah sebagai berikut:

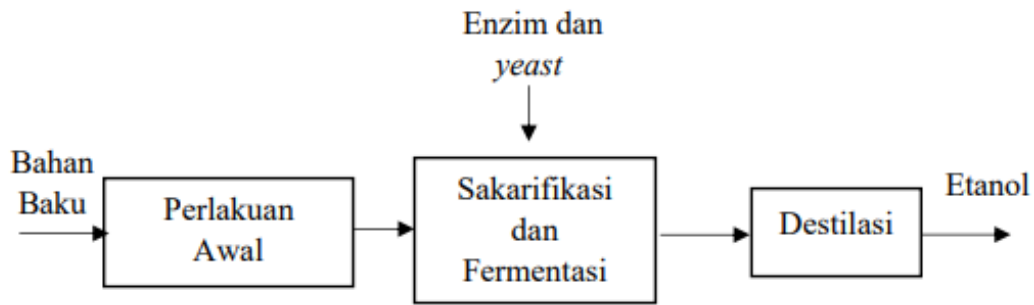
- Hidrolisi dan Fermentasi Terpisah (*Separate Hydrolysis And Fermentation*) SHF



Gambar 1. 3 Diagram Proses SHF

Proses ini dimana biomassa lignoselulosa yang telah mengalami perlakuan awal dihidrolisis menjadi glukosa dan dilanjutkan dengan fermentasi menjadi etanol pada *reactor* yang berbeda. Kelebihan metode ini adalah proses hidrolisis dan fermentasi dapat dilakukan pada kondisi optimum. Pada proses hidrolisis dan fermentasi dapat dilakukan pada kondisi optimum. Proses ini menghasilkan akumulasi glukosa dan selobiosa selama proses hidrolisis dapat menghambat kinerja selulase dan menurunkan efisiensi proses (Burhani et.al, 2019).

- Sakarifikasi dan Fermentasi Serentak (*Simultan Saccharifikasi And Fermentation*) SSF



Gambar 1. 4 Diagram Proses SSF

Proses ini lebih diminati karena dapat mengurangi biaya produksi. Dalam proses ini polisakarida yang dihidrolisis menjadi monosakarida langsung difermentasi menjadi etanol. Etanol yang terakumulasi tidak menghambat enzim selulase sehingga proses ini merupakan strategi yang cocok untuk mempercepat laju konversi selulosa menjadi etanol. Sebagai perbandingan metode SSF mampu menghasilkan etanol hingga 40% lebih banyak dari pada metode SHF.

Proses ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan proses hidrolisis dan fermentasi bertahap, seperti proses yang dihasilkan ramah lingkungan, dapat meningkatkan rendemen produk, dapat mengurangi kebutuhan kondisi steril karena glukosa langsung dikonversi menjadi etanol, waktu proses lebih singkat, biaya investasi lebih rendah karena menggunakan satu reaktor satu, berkurang risiko kontaminasi sebab tingginya *temperature* proses, kehadiran etanol dalam medium reaksi, dan kondisi anaerob (Lin & Tanaka, 2006).

Tabel 1. 10 Seleksi Proses Fermentasi

Dasar Seleksi	SHF (Ainul, 2018)	SSF (Samsuri, 2007)
<i>% Yield</i>	76	97
<i>Waktu</i>	96 jam proses <i>fermentasi</i>	72 jam proses <i>fermentasi</i>
<i>Harga</i>	++	+

Berdasarkan Tabel 1.10 maka dipilih proses *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF) karena yield yang dihasilkan lebih besar dan jangka waktu yang dibutuhkan juga lebih singkat. Selain itu juga lebih hemat biaya dari pada SHF. *Fermentasi* merupakan proses biokimia dan tahap paling kritis dalam produksi etanol, di mana mikroorganisme yang berperan dalam fermentasi akan menghasilkan enzim yang mampu mengkonversi substrat menjadi etanol. Substrat yang digunakan adalah bahan bergula dengan enam atom C. Faktor utama yang berpengaruh terhadap *yield* produk dan efisiensi fermentasi meliputi kondisi fisik *inoculum*, faktor lingkungan selama fermentasi, dan mutu substrat. Kondisi fisik *inoculum* sesuai dengan kondisi pertumbuhan optimal mikroba spesifik yang

digunakan. Kondisi lingkungan yang banyak berpengaruh adalah pH, suhu, kapasitas buffer, kontaminan, konsentrasi substrat, kandungan alkohol, jenis khamir, suplai oksigen dan agitasi.

Tabel 1. 11 Seleksi Bakteri untuk Fermentasi

Jenis Mikroorganisme	Yield	Suhu	pH	Harga
<i>Zymomonas mobilis</i>	95% (Jeffries, 2005)	30 – 37°C (Tangri, 2009)	3,5 – 7,5 (Kusumaningati et al., 2013)	Kurang ekonomis
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	90-93% (Jeffries, 2005)	30 – 40°C (Bhadana & Chauhan, 2016)	4 – 5 (Bhadana & Chauhan, 2016)	Ekonomis

Dengan pertimbangan besarnya *yield* dan karakteristik bakteri yang dihasilkan, range pH serta temperatur, maka dipilihlah bakteri *Saccharomyces Cerivisiae* sebagai mikroorganisme fermentasi. *Saccharomyces Cerivisiae* lebih dipilih karena memiliki karekteristik:

1. *Saccharomyces Cerivisiae* bersifat toleran terhadap etanol dan tahan terhadap zat beracun dibandingkan dengan bakteri lain.
2. Mampu memfermentasi gula pada ph rendah sehingga risiko kontaminan sangat diminimalkan
3. Mampu meghasilkan etanol dengan konsentrasi tinggi.

d. Proses Destilasi

Proses distilasi merupakan metode pemisahan komponen dari suatu campuran berdasarkan perbedaan titik didih masing-masing komponen penyusun dan distribusi fase gas serta fase cair tergantung pada konsentrasi komponen dalam campuran. Proses destilasi yang dipilah yaitu proses destilasi dua tingkat karena agar mendapatkan konsentrasi etanol yang maksimal 95%, karena proses destilasi hanya mampu menghasilkan etanol dengan persentase 95% (Onuki,2006). Menurut Hidayat (2003), titik didih etanol murni 78°C sedangkan air 100°C (kondisi standar). Pada suhu 78°C etanol lebih dulu menguap dari pada air. Uap etanol dialirkan melalui pipa yang terendam air sehingga terkondensasi Kembali menjadi etanol cair. Kondensasi atau proses pengembunan uap menjadi cairan, dan penguapan suatu cairan menjadi uap melibatkan perubahan fase cairan dengan koefisien

pindah panas yang besar. Kondensasi terjadi jika uap jenuh bersentuhan dengan padatan yang temperaturnya dibawah suhu jenuh sehingga membentuk cairan seperti air (Geankoplis, 1983).

Proses destilasi pada perancangan pabrik ini yaitu setelah proses SSF, hasil yang keluar dari fermentor berupa slurry perlu dipisahkan fraksi padat dan cairnya menggunakan *Filter Press*. Hasil padatan akan dikirim ke unit pengolahan limbah untuk diolah menjadi kompos sedangkan hasil cairan akan masuk ke tangki sterilisasi guna menghentikan proses fermentasi. Etanol yang dihasilkan dari proses SSF memiliki kadar 12-15%(w/w) (Edwards dkk, 2012). Cairan hasil SSF yang telah disterilisasi masuk ke kolom distilasi 1 (beer column) menghasilkan etanol sebagai top produk dengan kemurnian 60% sedangkan stillage berupa vinase keluar dari bottom kolom distilasi pertama (Griend dkk., 2007). Larutan etanol hasil top column distilasi tahap pertama dimurnikan pada kolom distilasi tahap dua hingga kemurnian 95% (Griend dkk., 2007).