

**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 kehadirat 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 pabrik bioetanol direncanakan berjumlah 180 orang untuk pengoperasian 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-Treatment</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