

**PRARANCANGAN PABRIK BIOETANOL DARI
MOLASE DENGAN KAPASITAS 22.000 TON/TAHUN
(Perancangan Menara Distilasi (MD-301))**

(Skripsi)

Oleh:

Refardo Taufani Patria

1615041040



JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2023

**PRARANCANGAN PABRIK BIOETANOL DARI
MOLASE DENGAN KAPASITAS 22.000 TON/TAHUN
(Perancangan Menara Distilasi (MD-301))**

Oleh

**REFARDO TAUFANI PATRIA
1615041040**

(Skripsi)

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
Sarjana Teknik

Pada
Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK BIOETANOL DARI MOLASE DENGAN KAPASITAS 22.000 TON/TAHUN (Perancangan Menara Distilasi (MD-302))

Oleh

REFARDO TAUFANI PATRIA

Pabrik bioetanol dari molase, akan didirikan di Kabupaten Bunga Mayang, Lampung Barat. Pabrik ini berdiri dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, sarana transportasi yang memadai, tenaga kerja yang mudah didapatkan dan kondisi lingkungan.

Pabrik ini direncanakan memproduksi bioetanol sebanyak 22.000 ton/tahun, dengan waktu operasi 24 jam/hari, 330 hari/tahun. Bahan baku yang digunakan adalah molase sebanyak 10.280,3533 kg/jam.

Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik bioetanol terdiri dari unit penyedia dan pengolahan air, unit penyedia *steam*, unit pembangkit listrik, unit penyediaan bahan bakar, unit penyediaan udara *instrument* dan unit pengolahan limbah. Bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) menggunakan struktur organisasi *line* dan *staff* dengan jumlah karyawan sebanyak 174 orang.

Dari analisis ekonomi diperoleh :

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 778.984.954,495
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 138.623.366.784,98
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 924.155.778.566,51
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 40,9 %
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 22,46 %
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) _b	= 4,05 years
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a	= 3,08 years
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) _b	= 19,13 %
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a	= 26,97 %
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 29,93 %

Mempertimbangkan paparan di atas, sudah selayaknya pendirian pabrik Bioetanol ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dan mempunyai masa depan yang lebih baik.

ABSTRACT

PREDESIGN OF BIOETHANOL PLANT FROM MOLASSES WITH CAPACITY 22.000 TONS/YEAR (Design of Distillation Column (MD-302))

By

Refardo Taufani Patria

A bioethanol plant from molasses will be built in Kecamatan Bunga Mayang, Lampung Barat. This plant will be established by considering the availability of raw materials, adequate transportation facilities, easily available labor and environmental conditions.

The plant is planned to produce 22,000 tons/year of bioethanol, with an operating time of 24 hours/day, 330 days/year. The raw material used is molasses as much as 10,280.3533 kg/hour.

Supplying the utility needs of the bioethanol plant consists of water supply and treatment units, steam supply units, power generation units, fuel supply units, instrument air supply unit and waste treatment unit. The form of the company is a Limited Liability Company (PT) using a line and staff organizational structure with a total of 174 employees.

From the economic analysis is obtained:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 789.434.782.660
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 139.312.020.469
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 928.746.803.128
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 41,47 %
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 28 %
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) _b	= 2,16 years
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a	= 2,39 years
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) _b	= 30,95 %
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a	= 27,08 %
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 29,93 %

Considering the explanation above, it is appropriate that the establishment of this Bioethanol factory be studied further, because it is a profitable factory and has a better future.

Judul Skripsi

: **PRARANCANGAN PABRIK BIOETANOL DARI
MOLASE DENGAN KAPASITAS 22.000 TON/TAHUN
(Perancangan Menara Distilasi (MD-301))**

Nama Mahasiswa

: Refardo Taufani Patria

No. Pokok Mahasiswa : 1615041040

Jurusan

: Teknik Kimia

Fakultas

: Teknik



Panca Nugrahini F, S.T., M.T.
NIP. 197302032000032001

Yuli Darni, S.T., M.T.
NIP. 197407122000032001

Ketua Jurusan Teknik Kimia

Yuli Darni, S.T., M.T.
NIP. 197407122000032001

MENGESAHKAN

Tim Penguji

Ketua : Panca Nugrahini F, S.T., M.T.


Sekretaris : Yuli Darni, S.T., M.T.

Penguji
Bukan Pembimbing : Lia Lismeri, S.T., M.T.

Muhammad Haviz, S.T., M.T.



Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung


Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.)
NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 20 Juni 2023

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atas pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana diterbitkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pada skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 21 Juni 2023



Retardo Taufani Patria
NPM. 1615041040

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Metro, 02 November 1998, sebagai putra dari pasangan Bapak Sigit Rahmanto dan Ibu Dra. Dewi Ningsih.

Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-kanak di TK Dewi Sartika pada tahun 2005, Sekolah Dasar di SD Muhammadiyah Metro Pusat pada tahun 2011, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 7 Metro pada tahun 2014 dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 4 Metro pada tahun 2016.

Pada tahun 2016, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN Universitas Lampung 2016

Pada tahun 2019, penulis melakukan Kerja Praktek di PT Pindo Deli *Pulp and Paper Mills II*, Karawang, Jawa Barat dengan Tugas Khusus “Evaluasi Kinerja *Clarifier TH-501* pada Unit *Brine Treatment*”. Selain itu, penulis melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Penambahan Bawang Putih pada Pembuatan Cangkang Kapsul Berbasis Karagenan dari Rumput Laut”.

Selama masa perkuliahan penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan, yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (HIMATEMIA) Unila pada periode 2017/2018 sebagai Staff Divisi *Chemical Engineering English Club (CEEC)*, Departemen Edukasi dan pada periode 2018/2019 sebagai Staff Departement Kaderisasi.

MOTTO

“Laa Haula Walaq Quwwata Illa Billah”

“Tidak ada daya dan upaya kecuali dengan pertolongan Allah”

(HR. Al-Bukhari)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Qs. Al-Baqarah : 286)

“Hatiku tenang karena mengetahui bahwa apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirku, dan apa yang ditakdirkan untukku tidak akan pernah melewatkanmu”

(Ummar bin Khattab)

“Berpikir tenang membuat hidup lebih santai, keep calm mates”

(Refardo Taufani Patria)

Sebuah Karya

Kupersembahkan Tugas Akhir ini dengan sepenuh hati untuk :

Allah SWT, berkat Rahmat dan Ridho-Nya aku dapat menyelesaikan karya ini

Orang Tuaku, terima kasih atas do'a, kasih sayang, darah dan keringat yang telah kau korbankan hanya untuk anak-anakmu, terima kasih selalu menemani dalam setiap langkah hidupku

Kakak dan adikku, terima kasih atas do'a, harapan, dukungan dan motivasi yang telah kalian berikan selama ini

Teknik Kimia Angkatan 2016 dan Sahabat-Sahabat Tercintaku, Terima kasih telah menjadi bagian dari corak perjalanan kisah hidupku.

Guru-guruku, terima kasih kuucapkan atas segala ilmu yang telah diberikan

Keluarga Besar Teknik Kimia Universitas Lampung, terima kasih atas semuanya, terima kasih atas kesempatan untuk melukis cerita ini disini

SANWACANA

Puja dan puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Prarancangan Pabrik Bioetanol dari Molase dengan Kapasitas 22.000 Ton/Tahun” dengan baik.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan program pendidikan Sarjana (S-1) di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Penulisan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan moral maupun spiritual dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang Maha Esa dan Maha Pengasih, karena-Nya penulis masih diberikan nikmat iman dan sehat sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ibu kandung penulis, Dra. Dewi Ningsih yang tak lelah memanjatkan doa dan juga meneteskan darah dan keringatnya agar penulis dapat menyelesaikan perkuliahan ini yang mana semua pengorbanan tersebut tidak dapat penulis balas seutuhnya.
3. Ketiga kakak saya, Pramudya Tungga Persada, S.H., (Alm) Bayu Tegar Perkasa, S.E., M.E., Rachde Tyas Prastika, S.Pd. dan adik saya, Wantaka Trah Pandawa yang telah memberikan dukungan, semangat, doa dan bantuan kepada penulis dalam penyelesaian perkuliahan.

4. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T., sebagai Ketua Jurusan Teknik Kimia sekaligus Dosen Pembimbing Pendamping penulis, yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis selama pengerjaan tugas akhir dan juga bantuan yang telah diberikan selama proses penyelesaian perkuliahan penulis.
5. Ibu Lilis Hermida, S.T., M.Sc., sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan semangat dan dukungan kepada penulis selama berada di kampus.
6. Ibu Panca Nugrahini F, S.T. M.T., sebagai Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan kasih sayang, ilmu, saran, dan kritiknya dalam pengerjaan tugas akhir.
7. Ibu Lia Lismeri, S.T. M.T., sebagai Dosen Penguji Utama, atas segala ilmu, kesabaran, saran, dan kritiknya dalam pengerjaan tugas akhir.
8. Bapak Muhammad Haviz, S.T. M.T., sebagai Dosen Penguji Pendamping, atas segala ilmu, kesabaran, saran, dan kritiknya dalam pengerjaan tugas akhir.
9. Seluruh Dosen dan Staf Teknik Kimia yang telah banyak memberikan ilmu yang sangat bermanfaat dan membantu kelancaran dalam pengerjaan.
10. Partner spesial bagi penulis, Apriliana, S.T., yang telah menjadi tempat berkeluh kesah dan sumber pembangkit semangat penulis serta senantiasa membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Rizky Widi Utomo, sebagai partner tugas akhir, yang menjadi teman diskusi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
12. Sahabat terbaik penulis, Ali Sakti Nasution, Yoga Riyanto, Naufal Pangestu Utomo, S.T., yang telah memberikan bantuan, semangat, dalam menyelesaikan tugas akhir ini dan memberikan corak yang sangat indah dalam kehidupan penulis.
13. Teman-teman seperjuangan angkatan 2016, Terimakasih yang sebanyak-banyaknya untuk kalian semua yang telah memberikan bantuan dan semangat dalam segala hal. Kalianlah keluarga terbaik yang pernah saya punya di kampus. Sukses untuk kita semua dan semoga kita dapat dipertemukan kembali dalam keadaan yang lebih baik suatu saat nanti.

14. Sigit Permadi, S.T., Jeri Parsad Akrami, S.T., Heru Ismanto, S.T., Restu Damaru, S.T., Neo Kurniawan, dan Rian Adi Prayoga selaku anggota kontrakan ‘koboy’ yang telah memberikan dukungan dan bantuannya selama penulis mengerjakan tugas akhir ini.
15. Ikhsan Muttaqin, Muhammad Akbar Pambudi, Nico Afriano, dan lainnya dari angkatan 2019 yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
16. Farel Gaffar Pahlapa, Rezza Sheva Ramadhan, Muhamad Muslim Irfan, Fatullah dan lainnya dari Angkatan 2020 yang telah membantu dalam pengerjaan tugas akhir dan tak lupa selalu memberikan semangat dan hiburan dalam pelaksanaan penelitian ini
17. Kakak-kakak adik-adik tingkat di Jurusan Teknik Kimia, yang banyak memberikan warna-warni selama berada di kampus.
18. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Bandar Lampung, 21 Juni 2023

Penulis

Refardo Taufani Patria

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
SURAT PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
SANWACANA	x
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Kegunaan Produk	2
1.2.1 Produk Utama	2
1.2.2 Produk Samping	2
1.3 Ketersediaan Bahan Baku	3
1.4 Analisis Pasar	5
1.5 Kapasitas Parbrik	10
1.6 Lokasi Pabrik	11
BAB II URAIAN PROSES	
2.1 Jenis Pembuatan Etanol	14
2.1.1 Bioetanol dari Proses Sintesa dari Etilen	14
2.1.2 Proses Fermentasi	16
2.2 Jenis Bahan Baku Bioetanol	18
2.2.1 Bioetanol dari Bahan Baku Gua (Molase)	18

2.2.2	Bioetanol dari Bahan Baku Pati	19
2.2.3	Bioetanol dari Bahan Baku Selulosa	19
2.3	Pemilihan Mikroba pada Proses Fermentasi Bioetanol.....	20
2.3.1	<i>Saccharomyces Cerevisae</i>	20
2.3.2	<i>Zymomonas Mobilis</i>	20
2.3.4	<i>Pichia Stipites</i>	21
2.4	Uraian Proses Terpilih	22
2.4.1	Tahap Propagasi	22
2.4.2	Tahap Fermentasi	22
2.4.3	Tahap Pemurnian.....	23
BAB III	SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK	
3.1	Bahan Baku	26
3.2	Produk.....	28
BAB IV	NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	
4.1	Neraca Massa	30
4.2	Neraca Energi.....	34
BAB V	SPESIFIKASI ALAT	
5.1.	Spesifikasi Peralatan Utama.....	44
5.2.	Spesifikasi Peralatan Utilitas	77
BAB VI	UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH	
6.1	Unit Penyedia dan Pengolahan Air	90
6.1.1	Air untuk Penyediaan Sarana Umum dan Sanitasi.....	91
6.1.2	Air Pendingin	92
6.1.3	Air Umpan <i>Boiler</i>	95
6.1.4	Air Proses.....	97
6.2	Unit Penyedia <i>Steam</i>	103
6.3	Unit Pembangkit Listrik.....	105
6.4	Unit Penyediaan Bahan Bakar	105
6.5	Unit Penyediaan Udara <i>Instrument</i>	105
6.6	Unit Pengolahan Limbah	106
6.6.1	Hasil Limbah	106
6.6.2	Penggolongan Limbah	107

6.7	Pengolahan Limbah Cair	109
6.8	Laboratorium.....	112

BAB VII LOKASI DAN TATA LETAK

7.1	Lokasi Pabrik	117
7.2	Tata Letak Pabrik	118
7.3	Tata Letak Peralatan Proses	141

BAB VIII SISTEM MANAJEMEN DAN ORGANISASI PERUSAHAAN

8.1	<i>Project Master Schedule</i>	124
8.2	Bentuk Perusahaan	126
8.3	Stuktur Organisasi Perusahaan.....	128
8.4	Tugas dan Wewenang.....	131
8.5	Status Karyawan dan Sistem Penggajian.....	137
8.6	Pembagian Jam Kerja Karyawan	138
8.7	Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan	140
8.8	Kesejahteraan Karyawan	145
8.9	Manajemen Produksi	149

BAB IX ANALISIS EKONOMI

9.1	<i>Total Capital Investment</i>	152
9.2	Biaya Produksi (<i>Total Production Cost</i>)	153
9.3	Harga Jual (<i>Total Sales</i>).....	154
9.4	Tinjauan Kelayakan Pabrik.....	154

BAB X SIMPULAN DAN SARAN

10.1	Kesimpulan	156
10.2	Saran	156

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

LAMPIRAN C

LAMPIRAN D

LAMPIRAN E

LAMPIRAN F

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Data Impor Bioetanol di Indonesia.....	5
Gambar 1.2 Grafik Data Ekspor Bioetanol di Indonesia	7
Gambar 1.3 Grafik Data Konsumsi Bioetanol di Indonesia	9
Gambar 5.1 <i>Storage Tank</i>	44
Gambar 5.2 <i>Filter Press</i> (FP-101)	12
Gambar 5.3 Reaktor Hidrolisis (R-201).....	47
Gambar 5.4 Fermentor (F-201).....	49
Gambar 5.5 <i>Filter Press</i> (FP-301)	50
Gambar 5.6 <i>Heater</i> (H-301).....	52
Gambar 5.7 Menara Distilasi 1 (MD-301).....	53
Gambar 5.8 Kondensor 1 (K-301)	54
Gambar 5.9 <i>Reboiler</i> 1 (RB-301).....	56
Gambar 5.10 Menara Distilasi 2 (MD-302).....	57
Gambar 5.11 Kondensor 2 (K-302)	58
Gambar 5.12 <i>Reboiler</i> 2 (RB-302).....	60
Gambar 5.13 Adsorber (AD-301).....	61
Gambar 5.14 Tangki Produk (ST-301)	63
Gambar 5.15 Tangki Penyimpanan H ₂ SO ₄ (S-101).....	64
Gambar 5.16 Tangki Penyimpanan <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> (S-102)	65
Gambar 5.17 Tangki Penyimpanan Ammonium Sulfat (S-103).....	66
Gambar 5.18 Tangki Penyimpanan <i>Antifoam</i> (S-104).....	67
Gambar 5.19 Pompa (PP-101)	67

Gambar 5.20 Pompa (PP-102)	69
Gambar 5.21 Pompa (PP-201)	70
Gambar 5.22 Pompa (PP-301)	71
Gambar 5.23 Pompa (PP-302)	72
Gambar 5.24 Pompa (PP-303)	73
Gambar 5.25 Pompa (PP-304)	74
Gambar 5.26 Pompa (PP-305)	75
Gambar 5.27 Bak Penampung Air Sungai (BP-401)	77
Gambar 5.28 Tangki Pelarutan Alum ($Al_2(SO_4)_3$) (TP-401)	78
Gambar 5.29 Tangki Pelarutan Soda <i>Ash</i> (Na_2CO_3) (TP-402)	79
Gambar 5.30 <i>Clarifier</i> (CL-401).....	80
Gambar 5.31 Bak Penampung setelah <i>Clarifier</i> (BP-402)	81
Gambar 5.32 <i>Sand Filter</i> (SF-401)	82
Gambar 3.33 Menara Air (MA-401).....	83
Gambar 5.34 <i>Softener Tank</i> (ST-401).....	84
Gambar 5.35 <i>Feed Water Tank</i> (FW-401)	85
Gambar 5.36 <i>Cooling Tower</i> (CT-401)	86
Gambar 5.37 <i>Boiler</i> (B-401).....	87
Gambar 5.38 <i>Deaerator</i> (DE-401).....	88
Gambar 5.39 Pompa Air Sungai ke Bak Penampung (PU-401).....	88
Gambar 6.1 Diagram <i>Cooling Water System</i>	95
Gambar 6.2 <i>Deaerator</i>	104
Gambar 6.3 Diagram Pengolahan Limbah.....	109
Gambar 7.1 Pra Rencana Lokasi Pabrik Bioetanol.....	118
Gambar 7.2 Tata Letak Pabrik Bioetanol.....	122
Gambar 8.1 Struktur Organisasi Perusahaan	130
Gambar 9.1 Kurva <i>Break Event Point</i>	155

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Kapasitas Produksi Pabrik Gula Tebu di Indonesia.....	3
Tabel 1.2 Kapasitas Produksi Molase di Indonesia	4
Tabel 1.3 Data Impor Bioetanol di Indonesia.....	5
Tabel 1.4 Data Ekspor Bioetanol di Indonesia	7
Tabel 1.5 Data Konsumsi Bioetanol di Indonesia	8
Tabel 1.6 Pabrik Bioetanol yang Beroperasi di Indonesia.....	10
Tabel 4.1 Neraca massa <i>Filter Press</i> (FP-101).....	31
Tabel 4.2 Neraca Massa Reaktor (R-201).....	31
Tabel 4.3 Neraca Massa Fermentor (F-201).....	32
Tabel 4.4 Neraca Massa <i>Filter Press</i> (FP-301)	33
Tabel 4.5 Neraca Massa Menara Distilasi 1 (MD-301).....	33
Tabel 4.6 Neraca Massa Menara Distilasi 2 (MD-302).....	34
Tabel 4.7 Neraca Massa Adsorber (AD-301)	34
Tabel 4.8 <i>Heat of Formation</i>	37
Tabel 4.9 Konstanta Entalpi Penguapan	38
Tabel 4.10 Konstanta <i>Heat Capacity</i>	38
Tabel 4.11 Neraca Energi Reaktor (R-201).....	39
Tabel 4.12 Neraca Energi Fermentor (F-201).....	39
Tabel 4.13 Neraca Energi <i>Heater</i> (H-301)	40
Tabel 4.14 Neraca Energi Menara Distilasi 1 (MD-301)	40
Tabel 4.15 Neraca Energi Kondensor 1 (K-301).....	41
Tabel 4.16 Neraca Energi <i>Reboiler</i> 1 (RB-301)	41

Tabel 4.17 Neraca Energi Menara Distilasi 2 (MD-302)	42
Tabel 4.18 Neraca Energi Kondensor 2 (K-302)	42
Tabel 4.19 Neraca Energi <i>Reboiler</i> 2 (RB-302)	43
Tabel 4.20 Neraca Energi <i>Cooler</i> (C-301).....	43
Tabel 6.1 Kebutuhan Air Umum dan Sanitasi	91
Tabel 6.2 Kebutuhan Air Pendingin	93
Tabel 6.3 Kebutuhan Air untuk Pembangkit <i>Steam</i>	95
Tabel 6.4 Kebutuhan Air Proses	97
Tabel 6.5 Baku Mutu Air Limbah Untuk Usaha/Kegiatan Industri Etanol	107
Tabel 6.6 Spesifikasi Bioetanol	113
Tabel 6.7 Bak Penampung Air Sungai (BP-401).....	47
Tabel 7.1 Distribusi penggunaan lahan industri	47
Tabel 8.1 <i>Project Master Schedule of Bioethanol Plant</i>	126
Tabel 8.2 Jadwal Kerja Regu Shift	140
Tabel 8.3 Perincian Tingkat Pendidikan.....	141
Tabel 8.4 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat.....	143
Tabel 8.5 Penggolongan Tenaga Kerja.....	144
Tabel 9.1 Biaya Komponen <i>Total Capital Investment</i>	153
Tabel 9.2 Perhitungan Laba Kotor dan Laba Bersih.....	154

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara berkembang yang sedang membangun berbagai sektor, salah satunya indikatornya adalah pembangunan di bidang industri. Perkembangan di sektor industri dunia saat ini sangat bergantung pada minyak bumi ditambah lagi penggunaan kendaraan bermotor yang semakin hari semakin meningkat. Jadi tidak heran apabila kebutuhan minyak bumi di dunia, termasuk di Indonesia sangat besar. Sayangnya, meningkatnya kebutuhan BBM untuk kendaraan bermotor tidak diimbangi dengan cadangan minyak bumi sebagai BBM di Indonesia, akibatnya jumlah produksi minyak nasional mulai turun demi ketahanan energi. Bahan bakar di Indonesia lebih banyak menggunakan bahan bakar fosil yang menimbulkan emisi gas rumah kaca yang dapat merusak lingkungan sebanyak 90% pada tahun 2000. Sedangkan tidak lama lagi bahan bakar fosil akan habis. Pemanfaatan energi terbarukan masih belum terlalu banyak. Bioetanol menjadi solusi sebagai bahan bakar alternatif. Untuk memenuhi kebutuhan bioetanol di Indonesia, pemerintah masih melakukan impor kebutuhan bioetanol.

Bioetanol merupakan salah satu sumber energi yang sedang dikembangkan secara pesat di Indonesia, mengacu pada Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, Instruksi Presiden No. 1 Tahun 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati, dan Keputusan Presiden No. 10 Tahun 2006 tentang Tim Nasional Pengembangan

Bahan Bakar Nabati untuk Percepatan Pengurangan Kemiskinan dan Pengangguran, merupakan upaya pemerintah dalam mendukung pengembangan energi alternatif khususnya Bahan Bakar Nabati (BBN).

Mempertimbangkan kebutuhan bioetanol yang meningkat setiap tahunnya, maka pabrik bioetanol di Indonesia sangat mungkin untuk didirikan di Indonesia. Tujuannya untuk mengurangi ketergantungan terhadap Bahan Bakar Minyak (BBM). Selain itu, PT Pertamina Persero, Tbk. ingin membuat program A20 dimana berguna untuk pengganti BBM diolah menjadi 80% bensin, 15% methanol, 5% bioetanol (makhluk hidup). Membuat bensin dari oktan rendah menjadi oktan tinggi dari metanol dan bioetanol dari oktan rendah (50-60) menjadi oktan 90 (setara *pertalite*).

1.2 Kegunaan Produk

1.2.1 Produk utama

Produk bioetanol telah digunakan di berbagai industri, yaitu:

- Sebagai energi alternatif pengganti bahan bakar minyak.
- Sebagai bahan minuman keras.
- Sebagai bahan pelarut pembuatan kosmetik.
- Sebagai bahan antiseptik.

1.2.2 Produk samping

Produk samping dari bioetanol adalah karbondioksida. Karbondioksida ini telah digunakan di berbagai industri yaitu:

- Untuk industri kimia seperti bahan baku dalam pembuatan urea dan metanol.
- Untuk membuat minuman berkarbonasi.
- Untuk membuat *dry ice*.
- Untuk ekstraksi minyak dalam sumur.

1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan bioetanol adalah molase. Bahan baku molase diambil dari PT Bunga Mayang di Lampung Utara dan PT Gunung Madu Plantation di Lampung Tengah. Dengan mengadakan kontrak kerjasama dengan kedua pabrik tersebut maka diharapkan kebutuhan molase sebagai bahan baku pembuatan bioetanol dapat terpenuhi.

Tabel 1.1. Kapasitas Produksi Pabrik Gula Tebu di Indonesia

Nama Pabrik Gula	Lokasi Pabrik	Kapasitas (Ton/hari)
PG. Gunung Madu	Lampung Tengah	16.000
PG. Gula Putih Mataram	Lampung Tengah	12.000
PG. Sweet Indo Lampung	Tulang Bawang	10.000
PG. Indo Lampung Perkasa	Tulang Bawang	10.000
PG. Bunga Mayang	Lampung Utara	10.000
PG. Jatiroto	Lumajang	10.000
PG. Tolangohula	Gorontalo	8.000
PG. Semboro	Jember	7.000
PG. Krebbe Baru 1	Malang	6.500
PG. Gempolkrep	Mojokerto	6.500
PG. Pesantren Baru	Kediri	6.250
PG. Ngadirejo	Kediri	6.200

Tabel 1.2. Kapasitas Produksi Molase di Indonesia

Nama Pabrik Gula	Lokasi Pabrik	Kapasitas (Ton/hari)
PG. Gunung Madu	Lampung Tengah	800
PG. Gula Putih Mataram	Lampung Tengah	600
PG. Sweet Indo Lampung	Tulang Bawang	500
PG. Indo Lampung Perkasa	Tulang Bawang	500
PG. Bunga Mayang	Lampung Utara	500
PG. Jatiroto	Lumajang	500
PG. Tolangohula	Gorontalo	400
PG. Semboro	Jember	350
PG. Krebbe Baru 1	Malang	325
PG. Gempolkrep	Mojokerto	325
PG. Pesantren Baru	Kediri	312.5
PG. Ngadirejo	Kediri	310

Berdasarkan tabel 1.2, diketahui bahwa produksi molase di Lampung mencapai 2.900 ton/hari. Kandungan gula yang ada di dalam molase sebesar 10%. *Yield* teoritis bioetanol dari glukosanya sebanyak 51,4%. Maka dari itu, potensi bioetanol yang dapat dihasilkan sebanyak 122,4 ton/hari atau 40.392 ton/tahun.

1.4 Analisis Pasar

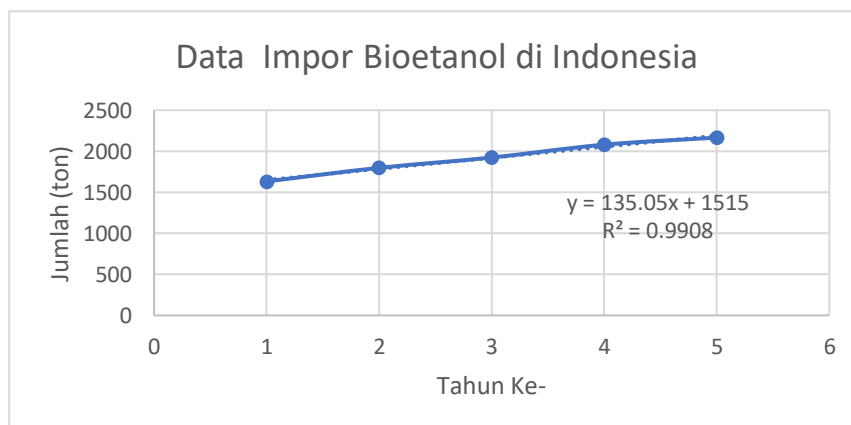
Bioetanol merupakan produk *biofuel* yang sangat penting dalam industri kegunaannya sebagai murni bahan bakar yang ramah lingkungan atau dicampur dengan bensin. Sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan, bioethanol berkontribusi untuk mengurangi gas CO dan emisi partikulat, selain itu pembakaran yang dihasilkan memiliki emisi Nox yang lebih rendah, dan bebas sulfur dioksida.

Tabel 1.6. Data Impor Bioetanol di Indonesia

Tahun	Jumlah (ton/tahun)
2016	1632,4
2017	1797,83
2018	1923,67
2019	2080,5
2020	2166,3

(Sumber: Badan Pusat Statistik, 2022)

Maka, diperoleh persamaan laju kenaikan impor bioetanol di Indonesia seperti yang terlihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Grafik Data Impor Bioetanol di Indonesia

Dari Gambar 1.1 dapat dilihat bahwa kebutuhan impor bioetanol di Indonesia semakin meningkat dari tahun ke tahun. Berdasarkan data diatas, dimana:

Tahun 2016 = Tahun ke-1

Tahun 2017 = Tahun ke-2

Tahun 2018 = Tahun ke-3

Dan seterusnya sampai tahun ke-n.

Melalui metode regresi linear dengan menggunakan persamaan garis lurus:

$$y = ax + b$$

dimana y = Kebutuhan impor bioetanol (ton/tahun)

x = Tahun

a = *Slope*

b = *Intercept*

Dengan menggunakan persamaan regresi linear pada Grafik 1.2 maka dapat diperoleh proyeksi kebutuhan impor bioetanol di Indonesia pada 2027 (tahun ke-12), yaitu:

$$y = 135,05x + 1515$$

$$y = 135,05(12) + 1515$$

$$y = 1.620,6 + 1515$$

$$y = 3.135,6 \text{ ton/tahun}$$

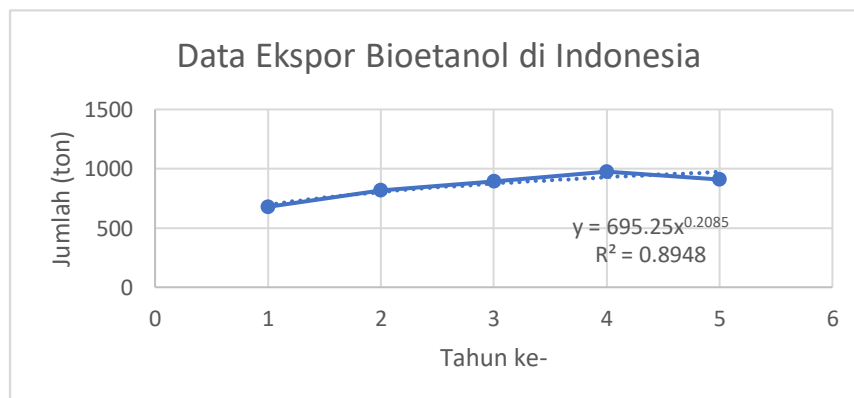
Dari persamaan diatas diperkirakan bahwa kebutuhan impor bioetanol pada 2027 sebesar 3.135,6 ton/tahun. Berikut data ekspor bioetanol di Indonesia.

Tabel 1.7. Data Ekspor Bioetanol di Indonesia

Tahun	Jumlah (ton/tahun)
2016	678,253
2017	818,93
2018	893,65
2019	975,44
2020	910,5

(Sumber: Badan Pusat Statistik, 2019)

Maka, diperoleh persamaan laju ekspor bioetanol di Indonesia seperti yang terlihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2. Grafik Data Ekspor Bioetanol di Indonesia

Berdasarkan data diatas, melalui metode regresi *power series* diperoleh persamaan:

$$y = 695,25x^{0,2085}$$

dimana y = Kebutuhan ekspor bioetanol (ton/tahun)

x = Tahun ke-n

Dengan menggunakan persamaan di atas maka dapat diperoleh proyeksi kebutuhan ekspor bioetanol di Indonesia pada 2027 (tahun ke-12), yaitu:

$$y = 695,25x^{0,2085}$$

$$y = 695,25(12)^{0,2085}$$

$$y = 1.167,214 \text{ ton/tahun}$$

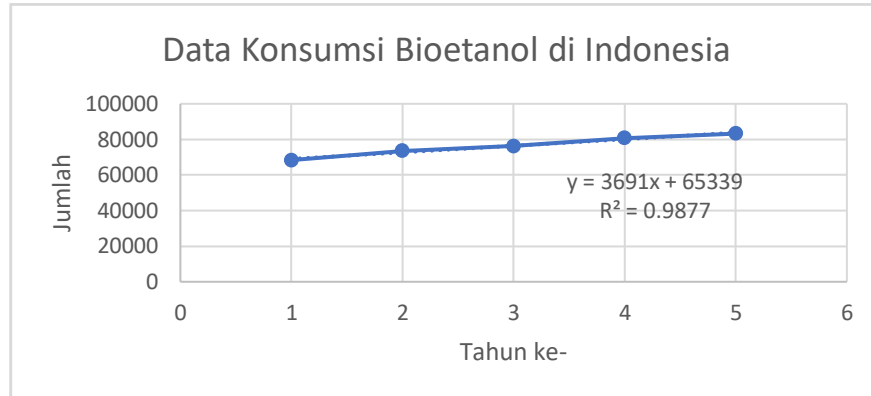
Dari persamaan diatas dapat diperkirakan bahwa kebutuhan ekspor bioetanol di Indonesia pada 2027 sebesar 1.167,214 ton/tahun. Berikut data konsumsi bioetanol di Indonesia:

Tabel 1.8. Data Konsumsi Bioetanol di Indonesia

Tahun	Jumlah (ton/tahun)
2014	68.380
2015	73.510
2016	76.240
2017	80.680
2018	83.250

(Sumber : <https://indexmundi.com>, 2019)

Maka, diperoleh persamaan laju kenaikan konsumsi bioetanol di Indonesia seperti yang terlihat pada Gambar 1.3 dibawah ini:



Gambar 1.3. Grafik Data Konsumsi Bioetanol di Indonesia

Berdasarkan data diatas, melalui metode regresi linear dengan menggunakan persamaan garis lurus:

$$y = ax + b$$

dimana y = Konsumsi bioetanol (ton/tahun)

x = Tahun ke- n

a = *Slope*

b = *Intercept*

Dengan menggunakan persamaan regresi linear pada Gambar 1.3 maka dapat diperoleh proyeksi konsumsi bioetanol di Indonesia pada 2027 (tahun ke-14), yaitu:

$$y = ax + b$$

$$y = 3.691x + 65.339$$

$$y = 3.691(14) + 65.339$$

$$y = 44.292 + 65.339$$

$$y = 117.013 \text{ ton/tahun}$$

Dari persamaan diatas dapat diperkirakan bahwa konsumsi bioetanol di Indonesia pada 2027 sebesar 117.013 ton/tahun

Tabel 1.9. Pabrik Bioetanol yang Beroperasi di Indonesia

Nama Pabrik	Kapasitas (ton/tahun)
PT. Molindo Raya	40.500
PT. Indo Acidatama	40.000
Indo Lampung Distillery	16.000
Total	96.500

(Sumber: BPPT, 2015)

1.5 Kapasitas Pabrik

Penentuan kapasitas rancangan pabrik dibuat berdasarkan analisis pasar dan ketersediaan bahan baku, Prarancangan pabrik bioethanol ini akan berdiri di tahun 2027.

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah kebutuhan} &= \text{Konsumsi} - \text{Produksi} + \text{Impor} - \text{Ekspor} \\
 &= (117.013 - 96.500 + 3.135,6 - 1.167,214) \text{ ton/tahun} \\
 &= 22.481,387 \text{ ton/tahun.}
 \end{aligned}$$

Dari persamaan diatas diketahui bahwa kebutuhan Bioetanol di Indonesia pada tahun 2027 berdasarkan pertimbangan diatas, ketersediaan bahan baku molase di Provinsi Lampung, dan persaingan yang akan tumbuh pada tahun 2027 mendatang maka diputuskan untuk membuat pabrik bioetanol dengan kapasitas 22.000 ton/tahun.

Dengan kapasitas produksi bioetanol sebesar 22.000 ton per tahun diharapkan dapat:

- Memenuhi kebutuhan bioetanol di Indonesia sehingga dapat mengurangi kegiatan impor dari luar negeri
- Menjadikan bahan bakar alternatif yang dapat dicampur dengan *gasoline*/bensin sehingga bakar bakarnya menjadi lebih ramah lingkungan.
- Memenuhi kebutuhan industri untuk dapat mengembangkan produknya dan dapat memperolehnya dengan harga lebih murah tanpa harus mengimpor.

1.6 Lokasi Pabrik

Untuk menentukan lokasi pendirian pabrik, perlu adanya pertimbangan supaya kelangsungan kegiatan industri dapat berjalan dengan baik. Baik dalam produksi maupun distribusi di pabrik tersebut. Oleh karena itu pembangunan pabrik harus mempertimbangkan biaya produksi dan biaya distribusi seminim mungkin supaya bisa meraih keuntungan yang maksimal. Adapun faktor lain yang harus dipertimbangkan antara lain ketersediaan bahan baku, transportasi, unit pendukung, karakterisasi lokasi, dan ketersediaan tenaga kerja. Berdasarkan pertimbangan diatas, maka pabrik bioetanol akan didirikan di daerah Bunga Mayang, Lampung Utara, Provinsi Lampung dengan pertimbangan sebagai berikut:

a. Penyediaan bahan baku

Penyediaan bahan baku merupakan faktor paling penting dari semua aspek yang ada. Semakin dekat lokasi pabrik dengan bahan baku, semakin murah biaya transportasi yang dikeluarkan. Lokasi pabrik yang dekat dengan bahan baku juga membuat keberlangsungan bahan baku menjadi lebih stabil, karena tidak terganggu dengan transportasi untuk

mencapai ke bahan baku. Lokasi Bunga Mayang juga dipilih karena lokasinya yang berdekatan dengan penyuplai bahan baku, yaitu PT Bunga Mayang.

b. Fasilitas transportasi

Fasilitas transportasi yang dipilih juga berpengaruh sangat besar terhadap perekonomian pabrik, salah satunya adalah pengiriman bahan baku dan pendistribusian produk. Untuk mempermudah pendistribusian bahan baku, maka bahan baku dan produknya harus yang mudah dijangkau dengan kendaraan besar, penentuan lokasi di Bunga Mayang, Lampung Utara, Provinsi Lampung memenuhi persyaratan tersebut dikarenakan lokasinya berdekatan dengan Lintas Tengah Sumatera yang memudahkan jalur distribusi ke bagian Selatan Sumatera, maupun ke Pulau Jawa.

c. Unit pendukung

Karena lokasi pabrik dekat dengan Kawasan industri, maka untuk unit pendukung seperti listrik dari PLN maupun bahan bakar sudah tersedia. Untuk memenuhi kebutuhan air proses dapat diambil dari Sungai Sungkai yang jaraknya tidak jauh dari pabrik.

d. Tenaga Kerja

Pada tahun 2027 diperkirakan program Masyarakat Ekonomi ASEAN (MEA) sudah berkembang pesat. Pencarian tenaga kerja yang terampil akan lebih mudah, baik dari masyarakat daerah maupun dari luar daerah. Pada tahun 2022, jumlah penduduk Kecamatan Bunga Mayang mencapai 652.623 jiwa (<https://lampungutarakab.bps.go.id>). Dengan jumlah tersebut, lokasi Bunga Mayang akan memberikan kemudahan ketersediaan tenaga kerja.

e. Pemasaran Produk

Kemudahan pemasaran hingga ke pembeli akan memengaruhi harga produk. Secara umum, pembeli akan membeli produk tersebut termasuk biaya transport hingga sampai ke tangan pembeli. Lokasi Bunga Mayang mudah menjangkau pemasaran ke Sumatera Selatan dan beberapa Kawasan Industri di Pulau Jawa karena masih dekat ke Pelabuhan Panjang di Bandarlampung.

f. Karakterisasi lokasi

Karakterisasi lokasi berpengaruh pada iklim di daerah tersebut, salah satu aspeknya adalah tidak rawan banjir. Di sekitar lokasi penentuan sudah ada industri gula, dan lainnya. Oleh karena itu, daerah Bunga Mayang, Lampung Utara digunakan sebagai lokasi pendirian pabrik bioetanol.

Pemilihan lokasi pendirian pabrik merupakan kawasan industri, harapannya pendirian pabrik di kawasan ini tidak menimbulkan masalah lingkungan karena dari segi pembuangan limbah dan sampah sudah dipertimbangkan sejak awal.

BAB II

URAIAN PROSES

Bioetanol telah ditemukan sejak 300 SM. Proses pembuatan etanol bisa diambil dari proses sintesa dari etilen dan proses fermentasi dari bahan yang mengandung selulosa yaitu gula, pati, dan lain-lain.

2.1 Jenis Pembuatan Etanol

Ada beberapa proses yang digunakan untuk menghasilkan bioetanol, antara lain:

2.1.1 Bioetanol dari Proses Sintesa dari Etilen

Untuk sintesa dari etilen ada dua proses yaitu sintesa langsung dan sintesa tidak langsung

a. Proses Sintesa Secara Langsung

Sintesis antara etanol dan air dilakukan dengan menggunakan katalis, tekanan dan temperatur tinggi. Proses hidrasi dengan etilen secara langsung menjadi etilen merupakan reaksi dapat balik. Pada kondisi reaktor 200-3000°C dan 300 atm, equimolar etilen dan air menghasilkan konversi 22% pada kesetimbangan. Katalis yang digunakan adalah asam, lebih tepatnya adalah asam fosfat. Caranya adalah dengan mengontakkan padatan liquid dengan reaktan gas.

Reaksi yang terjadi adalah

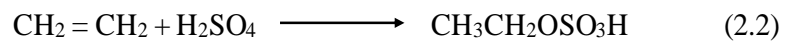


(Wade, 1987)

b. Proses Sintesa Secara Tidak Langsung

Proses ini terdiri dari tiga tahap, yaitu:

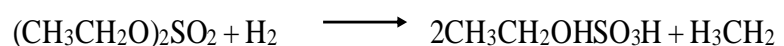
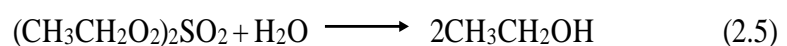
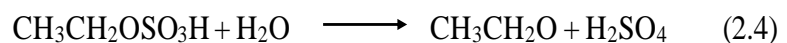
- Absorb dietil dengan H_2SO_4 untuk membentuk monodietil sulfat dan dietil sulfat. Reaksinya sebagai berikut:



Monoetil Sulfat

- Hidrolisis etil sulfat menjadi etanol

Reaksi yang terjadi pada proses hidrolisis etil sulfat menjadi etanol sebagai berikut:



(Kirk and Othmer, 2006)

- Pembakaran kembali asam sulfat encer.

Dietil eter merupakan hasil samping dari reaksi etanol dan dietil sulfat. Asam sulfat 95% – 98% yang dipertemukan secara berlawanan arah (*counter current*). Campuran yang terhidrolisa dipisahkan pada kolom stripper dan menghasilkan

H₂SO₄ encer pada bagian bawah dan campuran etanol air dan NaOH lalu dimurnikan dengan distilasi. Namun pada proses pemekatan kembali H₂SO₄ encer merupakan operasi yang paling banyak membutuhkan biaya (Kirk and Othmer, 2006).

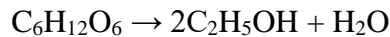
2.1.2 Proses Fermentasi

Fermentasi adalah proses produksi energi di dalam sel dengan keadaan anaerobik (tanpa oksigen) tanpa akseptor elektron eksternal (Muljono, 2002). Gula adalah bahan yang sangat umum dalam proses fermentasi. Contoh dari hasil fermentasi adalah etanol, asam laktat, dan oksigen. Tetapi ada beberapa komponen lain yang juga dihasilkan dari proses fermentasi, yaitu asam butirat dan aseton.

Fermentasi bioetanol adalah proses penguraian gula menjadi bioetanol dan karbondioksida yang dihasilkan oleh sel mikroba. Perubahan yang terjadi selama proses fermentasi adalah glukosa menjadi bioetanol oleh sel-sel ragi tape dan ragi roti (Prescott and Dumn, 1959). Kapasitas mikroba untuk mengoksidasi pada saat fermentasi tergantung pada jumlah akseptor elektron terakhir yang bisa dipakai. Sel-sel melakukan fermentasi menggunakan enzim yang akan mengubah hasil reaksi oksidasi, yaitu asam menjadi senyawa yang memiliki muatan positif untuk menangkap elektron terakhir dan dapat menghasilkan energi.

Ada dua jenis proses fermentasi, yaitu fermentasi klasik dan fermentasi modern. Fermentasi klasik adalah proses penguraian senyawa-senyawa organik kompleks dengan bantuan mikroorganisme pada kondisi anaerob untuk menghasilkan produk. Sedangkan fermentasi modern adalah proses perubahan substrat dengan bantuan mikroorganisme dalam kondisi terkontrol sehingga menghasilkan bahan/produk yang berguna dalam kehidupan sehari-hari (Pujaningsih, 2005). Produksi etanol dengan fermentasi memiliki

selektivitas tinggi (kecilnya akumulasi produk samping), tingginya *yield* etanol sebesar 51% dan laju fermentasi yang tinggi (Widjaja, 2007; Kitani dan Hall, 2008). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut



Hal-hal yang perlu diperhatikan untuk mendapatkan hasil fermentasi yang optimal menurut Budiyono (2003) adalah:

- a. Semakin tinggi kadar gula, semakin terhambat aktivitas khamir. Konsentrasi gula yang optimum adalah 14%-28%
- b. Suhu optimal untuk fermentasi adalah 32°C. Semakin rendah suhunya, maka semakin tinggi kadar alkoholnya. Hal ini terjadi karena pada suhu rendah, CO₂ nya lebih sedikit terbentuk.
- c. Derajat kesamaan (pH) akan memengaruhi kecepatan fermentasi. pH optimum untuk pembentukan khamir adalah 4-5%. Cara mengatur naik turunnya pH adalah dengan menggunakan asam dan basa. Basa untuk menaikkan pH sedangkan asam untuk menurunkan pH.

Metode yang digunakan untuk perancangan pabrik bioetanol ini adalah metode fermentasi, karena metode fermentasi merupakan proses yang paling optimal menurut segi kondisi operasi. Pertimbangan bahan baku juga mengarah pada proses fermentasi, yaitu gula. Proses produksi etanol dari gas sintetis ataupun etilen masih berasal dari turunan produk *petroleum*, yang ketersediaanya semakin terbatas seiring waktu.

Fermentasi merupakan proses mikrobiologi yang dikendalikan oleh manusia untuk memperoleh produk yang berguna, dimana terjadi pemecahan sukrosa menjadi glukosa. Penguraian dari senyawa kompleks menjadi sederhana dengan bantuan mikroorganisme sehingga menghasilkan energi. Salah satu mikroorganisme yang sering digunakan adalah *Saccharomyces cerevisiae*. *Saccharomyces cerevisiae* merupakan organisme yang berasal dari kingdom fungi dengan genus *Saccharomyces* dan *S. cerevisiae* sebagai spesiesnya.

2.2 Jenis bahan baku bioetanol

2.2.1 Bioetanol dari Bahan Baku Gula (Molase)

Proses pembuatan etanol dari fermentasi gula dengan bahan baku tetes tebu (molase). Tetes tebu dimasukkan ke *mixing tank* dan dicampur dengan air supaya mendapatkan konsentrasi 10 – 15%. Lalu tambahkan Asam Sulfat (H_2SO_4) dan Ammonium Sulfat untuk mengatur dan mempertahankan pH. Kemudian masuk ke mesin ragi hingga mendapatkan jumlah ragi yang sudah ditetapkan sesuai standar. Setelah dicampur didalam *mixing tank* masukkan ke fermentor untuk difermentasi dengan menambahkan ragi, pastikan tangki fermentor tetap pada suhu 70-88°F (21-33°C). proses fermentasi membutuhkan waktu 28 – 72 jam untuk mendapatkan konsentrasi alkohol 8-10%. Proses fermentasi menghasilkan alkohol dan CO_2 . Masukkan CO_2 ke *scrubber* dan tambahkan air untuk menghilangkan 0,5 - 1% alkohol dari jumlah keseluruhan, lalu murnikan dengan karbon aktif. Setelah fermentasinya selesai, masukkan alkohol ke *Beer Still* untuk membuang air kotor melalui *Heat Exchanger*. Selanjutnya masuk ke *Aldehyde Column* dan kemudian masuk ke *rectifying column*, sehingga menghasilkan produk akhir (bioetanol) dengan kemurnian 90-99,5%.

2.2.2 Bioetanol dari bahan baku pati

Proses pembuatan etanol dari pati terbuat dari jagung, biji-bijian, gandum, sorgum, gandum hitam, beras, ubi jalar, dan kentang. Tetapi yang paling sering digunakan adalah gandum dan jagung. Secara umum, prosesnya sama dengan pembuatan bioetanol dari molase hanya yang membedakan ada di proses disposisi dengan slop dari jumlah *by product* yang diperoleh.

2.2.3 Bioetanol dari bahan baku selulosa

Proses pembuatan etanol dari selulosa terbuat dari kayu, limbah pertanian, limbah pabrik pulp, dan kertas. Untuk membuat bioetanol, selulosa harus dikonversi menjadi gula dengan bantuan asam mineral, lalu dihidrolisis menjadi gula sebelum menjadi etanol. Keuntungan menggunakan bahan selulosa adalah tidak menyangkut dengan ketahanan pangan dan banyaknya limbah kayu terbuang sia-sia (Lin dan Tanaka, 2006).

Pada pendirian pabrik bioetanol dari molase dipilih proses fermentasi dari bahan baku gula dengan pertimbangan sebagai berikut:

- a. Bahan baku yang digunakan (molase) sesuai dengan proses yang digunakan yaitu fermentasi dari gula.
- b. Prosesnya sederhana dan tidak perlu penambahan pretreatment.
- c. Hasil dari kemurnian bioetanolnya cukup tinggi.
- d. Biaya yang relatif murah dapat memberikan keuntungan yang besar.
- e. Proses fermentasi dari gula tidak memerlukan temperatur dan tekanan yang tinggi.

2.3 Pemilihan Mikroba pada Proses Fermentasi Bioetanol

Beberapa jenis mikroba yang digunakan dalam proses pembuatan bioetanol adalah sebagai berikut:

2.3.1 *Saccaromyces cerevisiae*

Kelebihan:

- a. Kemampuan fermentasinya baik.
- b. Merupakan jenis mikroorganisme yang aman.
- c. Laju pertumbuhannya cepat dan produktivitasnya tinggi.
- d. Yield etanolnya yang tinggi.
- e. Dapat memfermentasi glukosa, sukrosa, rafinosa secara langsung. Dan dapat memetabolis glukosa, sukrosa, rafinosa, maltose, dan etanol.
- f. Mudah didapat.
- g. Mudah beradaptasi dengan lingkungan.

Kekurangan

- a. Tidak dapat memfermentasi pentose (seperti arabinosa).
- b. Toleransi rendah saat kadar gulanya tinggi.

2.3.2 *Zymomonas mobilis*

Kelebihan

- a. Laju pertumbuhannya tinggi.
- b. Yield etanolnya tinggi.
- c. Tingkat toleransi terhadap etanolnya tinggi (16%).
- d. Waktu fermentasinya 30%-40% lebih cepat daripada menggunakan *yeast*/ragi.

Kekurangan

- a. Hanya mampu bertahan di suhu 25-32°C.
- b. Sulit diperoleh.

(Barrati and Bulock, 1996; Gunasekaran and Chandra, 1999; Nguyen and Glassner, 2001).

2.3.3 *Saccaromyces cerevisiae*

Kelebihan:

- a. Merupakan jenis mikroorganisme yang aman.
- b. Laju pertumbuhannya cepat.
- c. Toleransi pada kadar gula yang tinggi.
- d. Toleransi pada saat tingkat etanolnya tinggi (15%).

Kekurangan:

- c. Toleransi terhadap asam sedang.
- d. Masa hidupnya yang singkat.

(Teoh et al, 2004).

Berdasarkan uraian diatas maka dipilih mikroba *Saccaromyces cerevisiae* dengan beberapa pertimbangan antara lain:

- a. Memiliki yield etanol yang tinggi antara 90-99%.
- b. Mudah beradaptasi dengan lingkungan.
- c. Mudah didapat.
- d. Laju pertumbuhannya yang cepat serta produktivitasnya tinggi.

2.4 Uraian Proses Terpilih

Proses pembuatan bioetanol dari bahan baku molase dibagi menjadi tiga tahap, yaitu:

2.4.1 Tahap Propagasi

Tahap propagasi atau tahap perkembangbiakan *yeast* bertujuan agar *yeast* dapat beradaptasi dengan lingkungan sehingga *yeast*nya dapat berkembangbiak. Selain itu, tahap propagasi juga dapat mempersiapkan bibit agar mampu melakukan proses perubahan gula menjadi alkohol.

Salah satu *yeast* yang dapat digunakan adalah *Saccharomyces Cerevisiae* yang diperoleh dari China, cara pengembangbiakan *Yeast* diawali dengan sterilisasi tangki propagasi selama 10-15 menit menggunakan *hot water sterilized* dengan suhu 85°C, lalu molasesnya dimasukkan, kemudian ammonium sulfat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ sebagai nutrient yang berperan untuk memenuhi kebutuhan unsur nitrogen yang merupakan sumber unsur N untuk pertumbuhan *yeast*. Proses selanjutnya adalah sterilisasi bahan, dimana suhunya ditingkatkan hingga 60°C dan *steam* \pm 1bar lalu diamkan selama \pm 1 jam, lalu masukkan *yeast* ke tangka propagasi, turunkan suhu hingga 30°C menggunakan *cooling water* lalu dilakukan aerasi hingga propagasi selesai. Setelah tahap propagasi selesai, alirkan *molasses yeast* ke tangki fermentor.

2.4.2 Tahap Fermentasi

Fermentasi bioetanol dapat didefinisikan sebagai proses penguraian gula menjadi bioetanol dan karbondioksida yang disebabkan oleh enzim yang dihasilkan oleh sel mikroba. Perubahan yang terjadi selama proses fermentasi adalah glukosa menjadi bioetanol oleh sel-sel ragi tapi dan tape roti. Pada tahap ini dilakukan selama 10 *batch*

yang terdiri dari, *batch 1* selama 48 jam dimana 12 jam pertama kondisi fermentornya aerob agar *yeast* dapat menghasilkan etanol dengan baik, 36 jam selanjutnya kondisi fermentornya anaerob supaya *yeast* dapat mengonversi gula menjadi etanol. Batch 2-10 berjalan selama 24 jam dimana 6 jam pertama kondisi fermentornya aerob dan 18 jam pertama kondisi fermentornya anaerob. Untuk *batch* ini tidak harus dilakukan selama 24 jam penuh, Analisa pada fermentor bahannya mengacu pada *brix*, level, dan konsentrasi yang diperbarui setiap 3 jam sekali. Apabila pada Analisa tersebut aktivitas *yeast*nya berhenti, maka dilakukan *end time* pada saat itu. Ketika proses fermentasi selesai, diamkan selama satu jam supaya terbentuk 2 lapisan antara *yeast* dan *molasses broth* (kadar etanol $\pm 9-11\%$) yang kemudian dialirkan ke *tangka storage*, untuk lapisan *yeast* digunakan untuk batch selanjutnya. Saat *yeast* mencapai *batch* ke-10, maka alirkan ke yeast mud tank, suhunya dipanaskan hingga 85°C supaya *yeast*nya mati.

2.4.3 Tahap Permurnian

Tujuan dari tahap pemurnian adalah untuk mendapatkan kadar *fuel grade* etanol sebesar 99,5%. Tahap pemurnian dilakukan secara *continuous* dan tahap ini terdiri dari 3 tahapan yaitu proses evaporasi, distilasi, dan dehidrasi.

a. Proses Evaporasi

Evaporasi adalah awal dari tahap pemurnian, tujuannya untuk memisahkan *liquid molasses broth* dan *liquid ethanol*. Evaporasi yang digunakan adalah *Backward Feed Quadruple Effect*. Evaporatornya mengalir dengan arah co-current. Proses awal evaporasi dimulai dari *molasses broth* dari tangka fermentor dipompa dalam evaporator. Setiap evaporator yang dilengkapi *heat exchanger* untuk memanaskan *molasses broth* sehingga

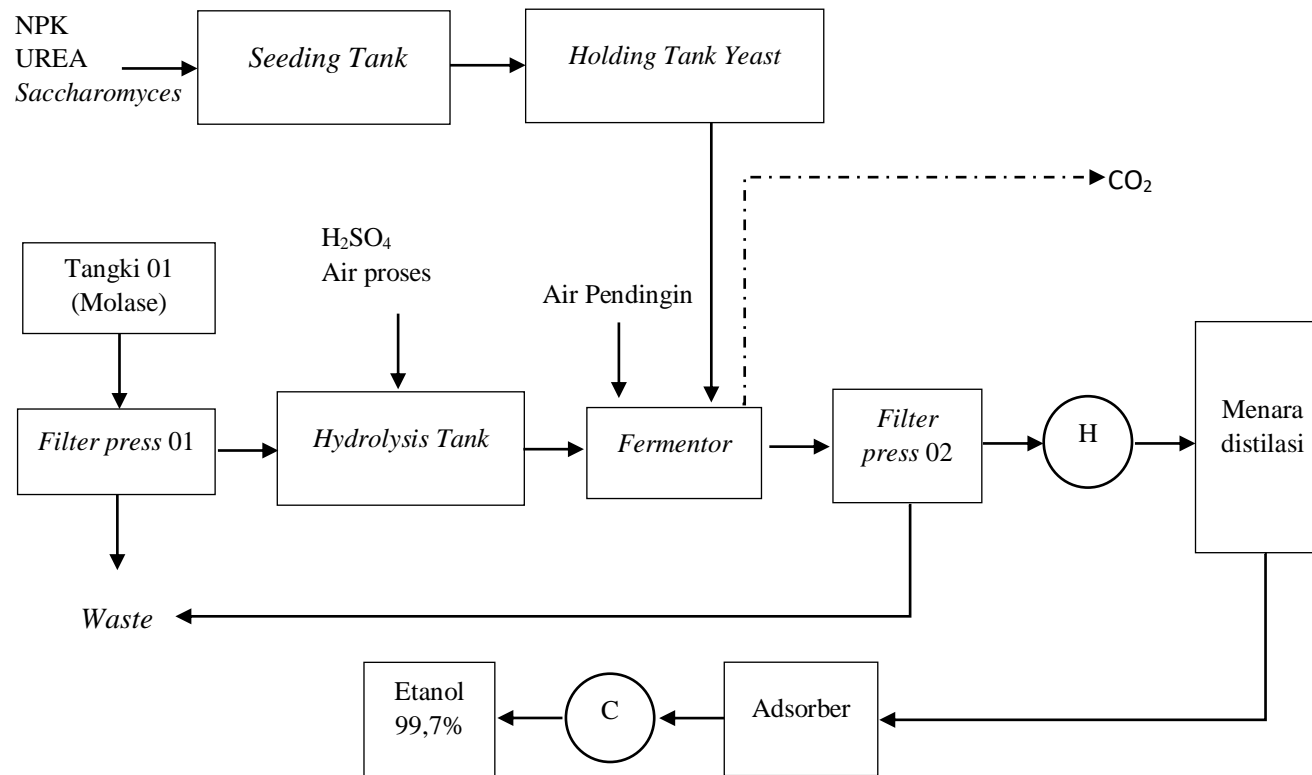
terjadi perubahan fasa dari air menjadi uap. Suhu *steam*nya mencapai $\pm 127^{\circ}\text{C}$ dengan tekanan ± 1 bar. Seluruh etanol yang telah terkondensasi akan dialirkan di dalam *Vessel*.

b. Proses Distilasi

Proses Distilasi bertujuan untuk menghilangkan kadar air dari campuran etanol – air, kadar etanolnya diperoleh sebesar 92 – 92%. Etanol di dalam *vessel* dialirkan kedalam *heat exchanger superheated* untuk meringankan proses distilasi. Proses distilasi dilengkapi dengan *reflux* yang berfungsi untuk pemisahan supaya lebih sempurna. Uap yang dihasilkan akan dikembalikan ke *vessel*, sedangkan hasil *reflux* dikembalikan ke kolom distilasi.

c. Proses Dehidrasi

Hasil dari proses distilasi adalah campuran *azeotrope* yang terdiri dari etanol – air. Campuran ini dipisahkan dengan metode dehidrasi adsorpsi. Tujuan dari proses dehidrasi adalah untuk memisahkan kadar air dari etanol supaya kadar etanolnya mencapai lebih dari 99%. Sebelumnya, etanol yang dihasilkan dilewatkan ke *heat exchanger* sehingga terjadi kontak antara *steam* yang menyebabkan suhu etanolnya meningkat sehingga proses pemisahannya menjadi lebih mudah. Lalu etanol akan masuk ke tangka berisi zeolit. Air akan tertinggal dalam rongga zeolit, sedangkan etanolnya ditampung di dalam *vessel*. Dan akhirnya diperoleh kadar bioetanol dengan kemurnian 99,5%.



Gambar 2.1. Tahap Pembuatan Bioetanol dari Molase

BAB III
SPEKIFIKASI BAHAN

3.1 Spesifikasi Bahan Baku

1. Molase

- Wujud : Cair
- Warna : Coklat kehitaman
- Densitas : min 1,419 kg/lt
- Total gula : min 51%
- Brix°C : min 40
- Komposisi :
 - ✓ Glukosa : 23 % berat
 - ✓ Sukrosa : 35 % berat
 - ✓ Abu : 12 % berat
 - ✓ Air : 20 % berat

(Journal of Hazardous Materials Volume 161, 2009)

2. Yeast

- Fungsi : Sebagai biokatalis untuk mengonversi glukosa menjadi bioetanol
- Wujud : Padat
- Bentuk : Serbuk
- Warna : Putih
- Jenis : *Saccaromyces Cereviceae*
- Kadar air : 4-6%
- Temperatur: 28°C – 60°C
- pH : 3,5 – 6,0

3. Asam Sulfat

- Fungsi : Sebagai pengatur pH
- Rumus kimia : H₂SO₄
- Massa molar : 98,08 g/mol
- Penampilan : Cairan higroskopis, berminyak, tak berwarna, tak berbau
- Densitas : 1,84 g/cm³
- Titik lebur : 10 °C (283 K)
- Titik didih : 337 °C (610 K)
- Kelarutan dalam air : tercampur penuh
- Tekanan uap : <10 Pa pada 20 °C (diabaikan)
- Keasaman (pKa) : 1,98 pada 25 °C
- Viskositas : 26,7 cP (20 °C)

4. Natrium Hidroksida (NaOH)

- Massa Atom Relatif : 40
- Wujud : Putih, kristal
- Titik Leleh : 322,2°C
- Titik Didih : 1388°C
- Densitas : 1.77 g/cm³
- *Specific Heat Capacity* : 3.24 J kg⁻¹K⁻¹
- *Heat of Fusion* : 6.77 kJ/mol

5. Urea

- Bentuk Fisik : Padat
- Warna : Putih
- Rumus Molekul : (NH₂)₂CO
- Berat Molekul : 60,07 g/mol
- Densitas : 1,33 × 10³ kg/m³
- Kadar Nitrogen : minimal 46%

3.2 Produk

Produk yang dihasilkan adalah Bioetanol. Bioetanol yang dihasilkan di industri mempunyai spesifikasi antara lain sebagai berikut:

- Rumus Molekul : C₂H₅OH.
- Bentuk : *liquid*.
- Warna : tidak berwarna.
- Berat Molekul : 46,07 gr/grmol.

- pH : 15,9.
- *Density* : 0,789 g/cm³.
- Titik Leleh : -114,3°C pada 1 atm.
- Titik Didih : 78,4°C pada 1 atm.
- Titik Beku : -114,1°C pada 1 atm.
- Temperatur kritis : 243,1°C.
- Tekanan kritis : 6383,48 kPa.
- Volume kritis : 0,167 L/mol.
- Viskositas 20°C : 1,17 Cp.
- Panas Penguapan : 839,31 J/g pada titik didih normal.
- Panas Pembakaran : 29676,69 pada 25°C.
- Panas Pembentukan : 104,6.
- Panas Spesifik : 2,42 J/g.Cs pada 20°C.
- Larut dalam air pada 20°C.
- Merupakan senyawa aromatik yang *volatile* (mudah menguap).

Apabila etanol akan dijadikan sebagai campuran bahan bakar (gasohol), maka etanol mempunyai syarat-syarat yang ditentukan menurut *American Society for Testing Materials* (ASTM).

BAB X

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada bab-bab sebelumnya, Prarancangan Pabrik Bioetanol dari Molase berkapasitas 22.000 ton/tahun dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses utama yang digunakan adalah fermentasi dari bahan baku molase yang menghasilkan produk utama berupa bioetanol dan produk samping gas karbondioksida.
2. *Percent Return on Investment* (ROI) sesudah pajak adalah 26,97%.
3. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak adalah 4,05 tahun.
4. *Break Even Point* (BEP) sebesar 41,58%, dimana syarat umum pabrik di Indonesia adalah 20–60% kapasitas produksi. *Shut Down Point* (SDP) sebesar 28%.

B. Saran

Berdasarkan pertimbangan hasil analisis ekonomi di atas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa Prarancangan Pabrik Bioetanol dari Molase dengan kapasitas 22.000 ton/tahun layak untuk dikaji lebih lanjut dari segi proses atau pun ekonominya

DAFTAR PUSTAKA

Alqhaderi Aliffianiko. (2018). *Molase*, Wikipedia.com

Aprilia Y.R., Roziq R.H., Widiyastuti, dan Sugeng W. (2017). *Studi Awal proses Fermentasi pada Desain Pabrik Bioethanol dari Molasses*. Jurnal Teknik Kimia, Vol. 6, No. 1, ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print). Fakultas Teknologi Industri. ITS

Aristiawan, Y.,... Min, H. H (2013). Utilizon of biomass waste empty fruit bunch fiber of palm oil for bioethanol production using pilot-scale unit. Physics Procedia, 32, 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.005>

Aries, R.S. and Newton, R.D., 1954, Chemical Engineering Cost Estimation, Mc.Graw Hill Book Company Inc., New York

Badan Pusat Statistik. 2020. Produksi Bioetanol Tahun 2013-2020. <https://www.bps..go.id/linkTableDinamis/view/id/868.html> diakses pada 11 Desember 2020.

Bapelda lampung Tengah, 2021 Kandungan Mineral Aliran air sungai, air permukaan dan air tanah. <https://dlh.lampungtenghkab.go.id> diakses pada Juni 2022.

Bioingentech. (2016). *Safety Data Sheet Saccharomyces cerevisiae*.

Coulson. dan Richardson's.2003. *Chemical Engineering Design Volume 6*. R.K Sinnot.

Dellweg, H., (1983). *Biotechnology*. Dresden: Verlag Chemie Weinheim. ISBN 9783527257652.

Kern, D.Q. 1983. *Process Heat Transfer*. McGraw-Hill Book Co

Khairani, R., (2007). *Tanaman Jagung Sebagai bahan Bio-fuel*. Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.

Geankoplis, C.J., 1983, *Transport Process and Unit Operations* 2ed, Allyn and Bacon Inc, Boston

Himmelblau, D.M., 1989, *Basic Principle and Calculations in Chemical Engineering*, 5Ed Prentice-Hall International, Singapore

Marco, A.P.L., (2012). *Bioethanol*. Croatia: Intech. eBook (PDF) ISBN: 978-953-51-4367-3

Material Safety Data Sheet.2020. Science Lab.com Diakses pada 15 Desember 2017.

Material Safety Data Sheet.2020.Sigmaaldrich.com diakses pada 15 Desember 2017.

McCabe, P. 1993. *Unit Operations of Chemical Engineering fifth Edition*. McGraw-Hill Book Co.

McKetta. 1977. *Encyclopedia of chemical processing and design Volume 3*. Books.google.co.id diakses 7 September 2017.

Pratiwi P.L. (2018). *Pembuatan Etanol Dari Pati Jagung*. Jurnal Teknik Kimia, Vol. 31, No. 2, Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Medan

- Perry, Robert H. 1997. *Perry's Chemical Engineer's*. McGraw-Hill Book co.
- Peters, Max S dan Timmerhaus, Klaus D. 1991. *Plant Design And Economics For Chemical Engineering*. McGraw-Hill Book co.
- Sandi, J.S, Shinta, E., dan Sri R.M. (2018). *Pembuatan Bioetanol dari Mikroalga Limbah Cair Kelapa Sawit dengan Variasi Konsentrasi Ragi Menggunakan Saccharomyces cerevisiae*. Jurnal Teknik Lingkungan S1, vol. 5 edisi 1, Fakultas Teknik. Universitas Riau.
- Sherwood, T, 1997 "The Properties of Gases and Liquid", #th ed, McGraw-Hill Book Company Inc, Singapore.
- Sudiyani, Y.,Styarini, D., & Triwahyuni, E., Sudiarmanto, Sembiring, K.C., Aristiawan, Y., Min, H.H. (2013). *Utilizon Of Biomass Waste Empty Fruit Bunch Fiber Of Palm Oil For Bioethanol Production Using Pilot-Scale Unit*. Physics Procedia, 32, 31-38.
- Thoharisman, Aris dan H. Santosa, (1999). *Mutu Bahan Baku Dan Preparasi MediumFermentasi Pelatihan Teknologi Alkohol*, Pusat Penelitian Perkebunan Indonesia, Pasuruan.
- Walas, Stanley M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. Betterworth-Heinemann.