

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan teknologi di Indonesia, permintaan akan energi juga meningkat. Namun, hal ini tidak diimbangi dengan ketersediaan sumber energi yang ada. Dengan peningkatan tersebut, penting untuk memastikan bahwa fondasi energi yang digunakan berkelanjutan dan terbarukan agar bertahan di masa depan. Pemerintah Indonesia juga telah berkomitmen untuk menjadi negara berkelanjutan, salah satu komitmen tersebut tertuang dalam kebijakan pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT). Salah satu strategi yang didorong untuk percepatan implementasi EBT adalah melakukan substitusi energi primer dan final melalui pemanfaatan *biofuel*/BBN (BBN) (Adiwardhana, 2023). Pemerintah telah menerbitkan Peraturan Presiden nomor 40 tahun 2023 tentang Percepatan Swasembada Gula Nasional dan Penyediaan Bioetanol Sebagai BBN (*Biofuel*). Dalam pelaksanaannya, pemerintah Indonesia tengah berupaya keras untuk memadukan bahan bakar fosil dengan etanol menggunakan teknologi pencampuran. Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 12 Tahun 2015, targetnya adalah tercapainya campuran 80% bensin dan 20% etanol pada tahun 2025.

Bioetanol merupakan jenis sumber energi terbarukan yang saat ini masih terus diproduksi untuk dikembangkan (Nailheli, 2024). Mengacu pada Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, Instruksi Presiden No. 1 Tahun 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan BBN, dan Keputusan Presiden No. 10 Tahun 2006 tentang Tim Nasional Pengembangan BBN untuk Percepatan Pengurangan Kemiskinan dan Pengangguran, merupakan upaya pemerintah dalam mendukung pengembangan energi alternatif khususnya BBN.

Etanol, dikata juga etil alkohol, alkohol murni, alkohol absolut, atau alkohol saja (Veliana, 2021). Etanol merupakan salah satu jenis alkohol yang dapat dikonsumsi. Salah satu minuman yang mengandung etanol adalah arak

(Sudarma, 2017). Pada industri kimia, etanol sering digunakan sebagai bahan baku pembuatan asam asetat, ester, etilen, dan bahan bakar. Etanol juga digunakan pada industri kosmetik, industri farmasi, dan kedokteran.

Bioetanol (C_2H_5OH) adalah cairan biokimia yang berasal dari proses fermentasi gula dari sumber karbohidrat menggunakan bantuan mikroorganisme, karena pembuatannya melibatkan proses biologis. Produk etanol yang dihasilkan diberi nama bioetanol (Yumas, 2014). Meningkatnya kebutuhan bioetanol di sektor industri mengakibatkan tingginya nilai impor bioetanol di Indonesia. Hal ini sejalan dengan semakin meningkatnya penggunaan bioetanol sebagai bahan tambahan pada industri farmasi, dan industri kimia lainnya. Oleh karena itu produksi bioetanol harus ditingkatkan dengan mencari alternatif lain untuk menghasilkannya. Salah satu bahan baku yang dapat digunakan adalah ampas tebu.

Molasses adalah sisa dari proses pengkristalan gula pasir yang masih mengandung gula dan asam-asam organik sehingga merupakan bahan baku yang baik untuk pembuatan etanol (Wardani, 2013). *Molasses* memiliki warna cokelat gelap hingga hitam tergantung pada derajat pemurnian dan kristalisasi gula.

Pada perancangan pabrik bioetanol ini, bahan baku yang digunakan adalah *molasses*. *Molasses* merupakan sisa dari proses pengkristalan gula pasir yang masih mengandung gula dan asam-asam organik sehingga merupakan bahan baku yang baik untuk pembuatan bioetanol. Dibandingkan bahan baku lain, *Molasses* mempunyai keunggulan yaitu selain harganya murah juga mengandung 50% gula sederhana yang dapat difermentasi langsung oleh *yeast* menjadi etanol tanpa *pretreatment*.

1.2 Ketersediaan Bahan Baku

Seiring dengan terus meningkatnya permintaan bioetanol, kebutuhan akan bahan baku juga semakin meningkat. Salah satu bahan baku utama yang digunakan dalam produksi bioetanol adalah *Molasses*. *Molasses* ini dapat

diperoleh dari beberapa pabrik gula yang berada di Indonesia. Daftar pabrik gula di Indonesia yang memproduksi molase ditampilkan pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Data Industri Produsen Molase

Nama Pabrik Gula (PG)	Lokasi Pabrik	Kapasitas (Ton/tahun)
PG Gunung Madu	Lampung Tengah	292.000
PG Gula Putih Mataram	Lampung Tengah	219.000
PG Sweet Indo Lampung	Tulang Bawang	182.500
PG Indo Lampung Perkasa	Tulang Bawang	182.500
PG Bunga Mayang	Lampung Utara	182.500
PG Jatiroto	Lumajang	182.500
PG Tolanghula	Gorontalo	146.000
PG Semboro	Jember	127.750
PG Krebet Baru 1	Malang	118.625
PG Gempolkrep	Mojokerto	118.625
PG Pesantren Baru	Kediri	114.062,5
PG Ngadirejo	Kediri	113.150

(Sumber : <http://www.kppbumn.depkeu.go.id>, 2017)

Bahan baku untuk produksi bioetanol dapat diperoleh dari Indonesia dan China, dan Daftar industri yang memproduksi bahan pendukung produksi bioetanol ditampilkan pada Tabel 1.2.

Tabel 1. 2 Data Industri Produsen Bahan Pendukung

Bahan Pendukung	Nama Industri	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)
<i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	Angel Yeast Co., Ltd	Hubei, China	204.000
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1. PT Timuraya Tunggal 2. PT Petrokimia Gresik	Karawang Gresik	72.000 750.000
H_2SO_4	1. PT Indonesia Acids Industry 2. PT Petrokimia Gresik	Cakung Gresik	33.000 400.000
NaOH	PT Asahimas Chemical	Cilegon	700.000
CH_3COOH	PT Indo Acidatama Tbk	Karawang	16.500
CH_3COONa	Hangzhou Golden Flavors Co., Ltd.	Zhejiang, China	4.000

Ketersediaan bahan baku primer, sebagaimana tercantum pada Tabel 1.1, dapat diperoleh dari pabrik gula yang berlokasi di Lampung Tengah dan Lampung Utara, yang lokasinya berdekatan dengan pabrik. Selain itu, dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku pendukung *Saccharomyces Cerevisiae* sebagaimana tercantum pada Tabel 1.2, maka kebutuhan *Saccharomyces Cerevisiae* dapat dipenuhi dengan mengimpornya dari negara-negara penghasil tersebut, setelah itu *yeast* dapat dibudidayakan. Dan pasokan bahan baku amonium sulfat dapat bersumber dari berbagai industri di

Indonesia, seperti yang tertera pada Tabel 1.2. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa ketersediaan bahan baku primer dan bahan pendukung dapat terpenuhi, sehingga dapat menjamin keberlanjutan pabrik bioetanol yang akan dibangun.

1.3 Kapasitas Rancangan

Kapasitas rancangan pabrik merupakan jumlah maksimum output yang dapat dihasilkan oleh sebuah pabrik dalam kondisi ideal selama periode waktu tertentu. Kapasitas akan dirancang berdasarkan perhitungan matematis dengan mempertimbangkan faktor-faktor pada seluruh proses dan memperhatikan kebutuhan produk. Dengan mengetahui kapasitas rancangan, perusahaan dapat merencanakan produksi, mengelola inventaris, dan memprediksi kebutuhan sumber daya dengan lebih efektif.

1.3.1 Kebutuhan produk di Indonesia

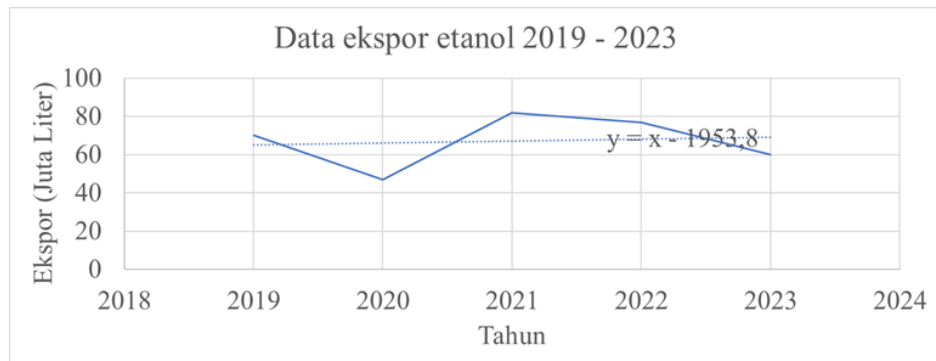
Kebutuhan etanol di Indonesia dapat dinilai melalui statistik impor dan ekspor yang diterbitkan oleh USDA (2023). Data ekspor dan impor dari tahun 2019 hingga tahun 2023 disajikan pada Tabel 1.3.

Tabel 1. 3 Data ekspor dan impor etanol di Indonesia

Tahun	Ekspor (juta liter)	Impor (juta liter)
2019	70	1
2020	47	29
2021	82	54
2022	77	32
2023	60	10

(Sumber : USDA, 2023)

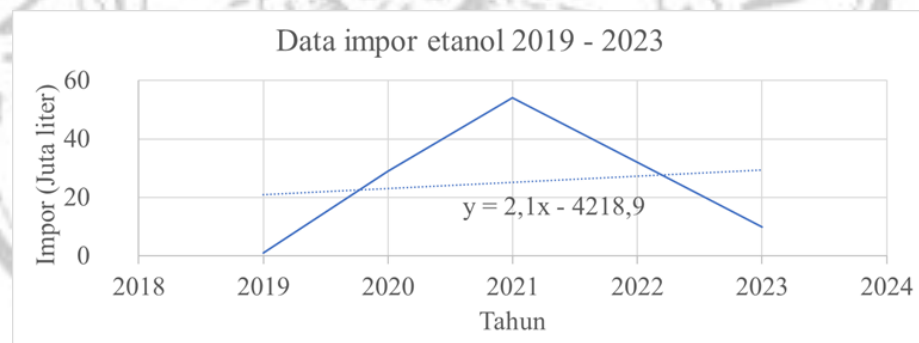
Berdasarkan data ekspor dari Tabel 1.3 dapat dibuat grafik hubungan antara jumlah ekspor etanol dengan tahun yang diinterpretasikan pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Data Ekspor Etanol di Indonesia

Estimasi jumlah ekspor etanol pada tahun mendatang saat pabrik didirikan dapat dihitung dengan pendekatan menggunakan persamaan $y = x - 1953,8$ yang mana nilai x merupakan variabel tahun dan y adalah jumlah produk yang diekspor. hasil perhitungan pada estimasi ekspor etanol pada tahun 2030 adalah sebesar 60.121,8 ton.

Penentuan estimasi impor etanol dapat dilakukan dengan membuat grafik hubungan antara jumlah impor etanol dengan tahun yang ditunjukkan pada Gambar 1.2.



Gambar 1. 2 Data Impor Etanol di Indonesia

Estimasi jumlah impor etanol pada tahun mendatang saat pabrik didirikan dapat dihitung dengan pendekatan menggunakan persamaan $y = 2,1x - 4218,9$ yang mana nilai x merupakan variabel tahun adalah jumlah produk yang diimpor. hasil perhitungan pada estimasi impor etanol pada tahun 2030 adalah sebesar 34.794,9 ton.

1.3.2 Produksi Etanol di Indonesia

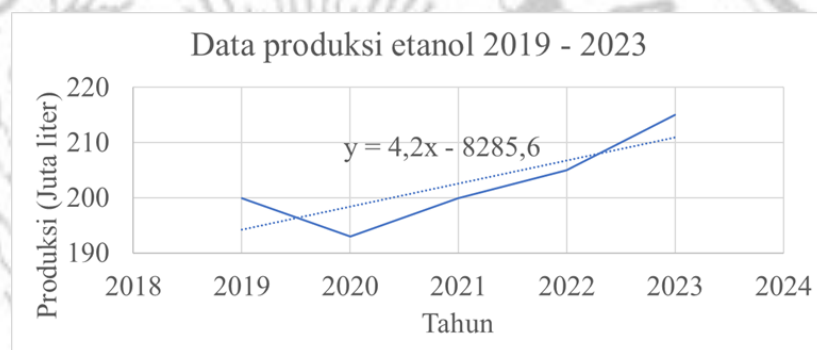
Data produksi etanol di Indonesia ditampilkan pada Tabel 1.4

Tabel 1. 4 Data produksi etanol di Indonesia

Tahun	Produksi (juta liter)
2019	200
2020	193
2021	200
2022	205
2023	215

(Sumber : USDA, 2023)

Berdasarkan data produksi etanol dari Tabel 1.4 dapat dibuat grafik hubungan antara jumlah produksi etanol dengan tahun yang diinterpretasikan pada Gambar 1.3.



Gambar 1. 3 Data produksi etanol di Indonesia

Estimasi jumlah produksi etanol pada tahun mendatang saat pabrik didirikan dapat dihitung dengan pendekatan menggunakan persamaan $y = 4,2x - 8285,6$ yang mana nilai x merupakan variabel tahun dan y adalah jumlah produk yang diekspor. hasil perhitungan pada estimasi ekspor etanol pada tahun 2030 adalah sebesar 189.675,6 ton.

1.3.3 Produksi Bioetanol di Indonesia

Permintaan etanol di Indonesia saat ini dipenuhi oleh produsen dalam negeri. Ringkasan perusahaan yang terdaftar sebagai produsen bioetanol di Indonesia disajikan pada Tabel 1.5

Tabel 1. 5 Daftar Produsen Bioetanol di Indonesia

Nama Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (Ton)	Bahan baku	Sumber
PT Indo Lampung Distillery	Lampung Tengah	40.000	Molase	P3DN Home (kemenperin.go.id)
PT Indo Acidatama	Karanganyar	46.413	Molase	Indo Acidatama - Wikipedia bahasa Indonesia, ensiklopedia bebas
PT Molindo Raya Industrial	Malang	63120	Molase	P3DN Home (kemenperin.go.id)
PT Madu Baru	Bantul	4221	Molase	Pabrik Gula dan Pabrik Spiritus Madukismo - Wikipedia bahasa Indonesia, ensiklopedia bebas
PT PN XI	Surabaya	3156	Molase	Detil Berita - Ditjen Minerba (esdm.go.id)
PT Aneka Kimia Nusantara	Mojokerto	14.596	Molase	Detil Berita - Ditjen Minerba (esdm.go.id)

Kapasitas rancangan akan dipengaruhi oleh proses dan ketersediaan bahan baku. Kandungan gula *Molasses* terutama sukrosa berkisar 48-55%, sehingga merupakan bahan baku yang cukup potensial untuk pembuatan etanol (Prescott & Dunn, 1959). Dan fermentasi dilakukan dengan *Saccharomyces Cerevisiae* dengan *yield* lebih dari 90% (Achinas, 2016). Pabrik akan dibangun di Kabupaten Lampung Tengah, dan bekerja sama

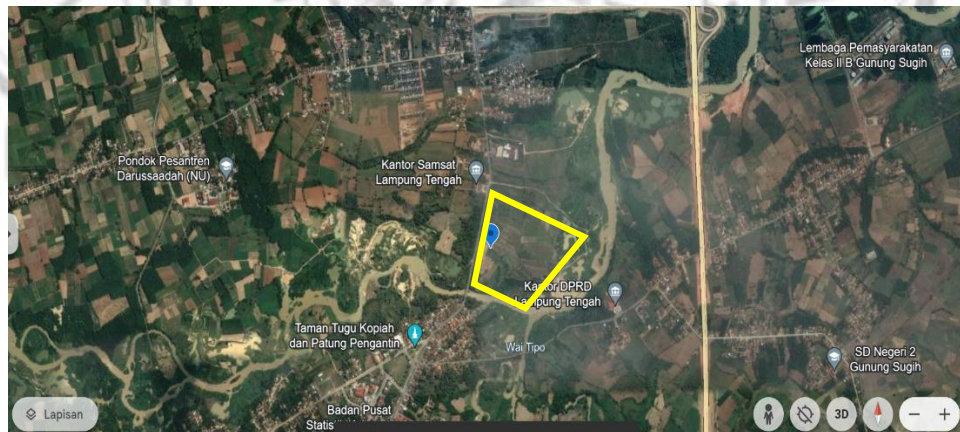
dengan PT Gunung Madu dan PT Bunga Mayang, dengan produksi kapasitas *Molasses* sebesar 474.500 Ton/tahun.

Berdasarkan data Tabel 1.5 dapat diketahui bahwa pabrik bioetanol yang mempunyai produksi terbesar dan terkecil yang beroperasi di Indonesia. Dari hasil keseluruhan data yang sudah diperoleh maka dapat dihitung kapasitas perancangan pabrik bioetanol 2030 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Konsumsi} &= \text{Produksi} + \text{Impor} - \text{Ekspor} \\ &= 189.675,6 \text{ ton} + 34.794,9 \text{ ton} - 60.121,8 \text{ ton} \\ &= 164.348,7 \text{ ton}\end{aligned}$$

Dengan pertimbangan ketersediaan bahan baku, kebutuhan, dan kapasitas pabrik yang sudah ada di Indonesia, maka pabrik didirikan untuk memenuhi 15% kebutuhan di tahun 2030 dengan kapasitas 24.000 Ton/tahun.

1.4 Lokasi Pabrik



Gambar 1. 4 Rencana Pembangunan pabrik Bioetanol 2030
(Sumber : Google Earth 2024)

Dalam menentukan lokasi pendirian pabrik, faktor-faktor yang menjamin kelancaran kegiatan industri perlu dipertimbangkan. Faktor-faktor tersebut meliputi proses produksi dan distribusi di dalam pabrik. Oleh karena itu, pembangunan pabrik harus bertujuan untuk meminimalkan biaya

produksi dan distribusi guna mencapai keuntungan yang maksimal. Faktor-faktor penting lainnya yang perlu dipertimbangkan adalah ketersediaan bahan baku, pilihan transportasi, unit pendukung, karakteristik lokasi, dan ketersediaan tenaga kerja. Berdasarkan pertimbangan tersebut, pabrik bioetanol akan didirikan di Kecamatan Gunung Sugih, Kabupaten Lampung Tengah, dengan pertimbangan sebagai berikut :

a) Penyediaan bahan baku

Ketersediaan bahan baku merupakan faktor yang paling krusial dari semua aspek yang ada. Semakin dekat pabrik dengan bahan baku, semakin rendah biaya transportasi yang dikeluarkan. Lokasi pabrik yang dekat dengan bahan baku juga menjamin pasokan yang lebih stabil, karena tidak terlalu terpengaruh oleh masalah transportasi. Gunung Sugih dipilih karena lokasinya yang dekat dengan pemasok bahan baku, yaitu PG. Gunung Madu dan PG. Bunga Mayang.

b) Fasilitas Transportasi

Pemilihan sarana transportasi sangat mempengaruhi perekonomian pabrik, terutama dalam hal pengiriman bahan baku dan distribusi produk. Untuk memperlancar distribusi bahan baku, maka bahan baku dan produk harus mudah dijangkau oleh kendaraan besar. Lokasi yang dipilih di Gunung Sugih, Lampung Tengah, Provinsi Lampung memenuhi kriteria tersebut karena lokasinya yang dekat dengan Kawasan industri dan akses jalan tol, sehingga memudahkan jalur distribusi ke Sumatera bagian selatan dan Pulau Jawa.

c) Pemasaran Produk

Faktor pemasaran dipertimbangkan dalam pemilihan lokasi pabrik sehingga memudahkan dalam proses penjualan hasil produk dan untuk mengurangi biaya transportasi. Produk bioetanol digunakan sebagai bahan bakar untuk kendaraan, pelarut, bahan dasar untuk kosmetik, farmasi dan industri kimia yang tersebar dikawasan Sumatra. Untuk pemasaran diluar pulau, seperti pulau jawa dapat ditempuh dengan jalur laut dikarenakan lokasi pabrik dekat dengan Pelabuhan Bandar Lampung dan Pelabuhan Bakauheni.

d) Utilitas

Fasilitas yang terdiri dari penyediaan air dan listrik mengharuskan lokasi pabrik dekat dengan sumber tersebut. Untuk sumber air sendiri lokasi pabrik berdekatan dengan sungai way seputih yang memiliki debit 5,53 m³/s. Sementara untuk kebutuhan akan listrik didapatkan dari PT. PLN.

1.5 Tinjauan Pustaka

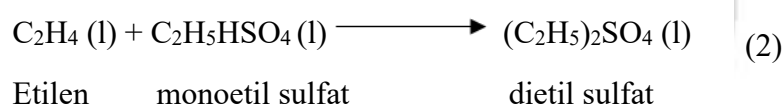
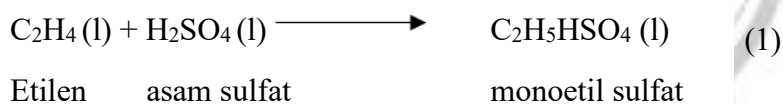
Etanol dalam ilmu kimia adalah senyawa organik alifatik yang strukturnya dari alkana, dengan mengganti satu atau lebih atom H yang ada dengan sebuah atau lebih gugus fungsional (OH), yang mempunyai rumus umum C_nH_{2n+1}OH. Sedangkan istilah etanol dalam industri biasanya digunakan untuk menyebutkan senyawa *ethyl alcohol* dengan rumus kimia C₂H₅OH.

1.5.1 Pemilihan Proses

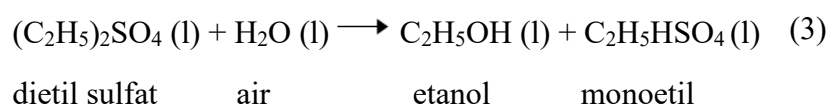
1. Tinjauan berdasarkan proses

A. Hidrasi Secara Tidak Langsung

Reaksi proses pembuatan etanol dengan hidrasi tidak langsung adalah sebagai berikut:



Etilen diadsorbsi dalam H₂SO₄ dengan kadar 95-98 % untuk membentuk monoetil sulfat dan dietil sulfat didalam kolom absorber. Konsentrasi etilen umpan yang dibutuhkan berkisar 35 % dan tidak mengandung zat lain kecuali inert seperti metana, etana, dan propana, adanya zat lain dapat membentuk resin. Kemudian etil sulfat akan di hidrolisa, reaksinya adalah sebagai berikut:





B. Hidrasi Secara Langsung

$$\begin{array}{ccc} \text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) & \longrightarrow & \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l}) \\ \text{Etilen} \quad \text{air} & & \text{etanol} \end{array} \quad (5)$$

Etilen dan air bebas garam dipanaskan hingga suhu reaksi 227°C dengan tekanan 10 atm. Karena reaksi bersifat eksotermis, gas keluar dari reaktor dengan suhu sekitar 231,76 °C. Konversi yang dapat diperoleh cukup tinggi, yaitu 95 %. Kemudian dilakukan pemisahan dengan 2 kolom destilasi dengan hasil kemurnian 98 % dengan air sebagai produk samping.

C. Fermentasi

Fermentasi adalah proses pembuatan etanol dengan bantuan aktivitas kehidupan dari mikroba. Fermentasi berarti disimilasi anaerobik dari senyawa-senyawa organik karena aktivitas mikroorganisme atau sel-sel lainnya. Dalam pengertian yang lebih luas ini, fermentasi tidak hanya berarti proses disimilasi anaerobik seperti pembuatan alkohol, butanol-aseton, asam laktat, dan lain-lain, tetapi juga industri yang memproduksi cuka, asam sitrat, penisilin, dan antibiotika lainnya, riboflavin, dan vitamin lainnya serta enzim-enzim.

Pembuatan etanol dengan cara fermentasi dibedakan berdasarkan bahan dasarnya, yaitu:

a) Bahan yang mengandung sukrosa

Bahan yang digunakan digolongkan menjadi 3 tipe, yaitu *molase*, gula tebu, sari buah. Sukrosa (disakarida) dihidrolisa dengan bantuan asam mineral encer (misalnya asam sulfat atau asam klorida) menjadi glukosa dan fruktosa (monosakarida) kemudian monosakarida yang terbentuk dikoneksikan dengan bantuan enzim menjadi etanol dan CO_2 .

b) Bahan yang mengandung pati dan amilum

Bahan yang mengandung amilum (jagung, beras, gandum, kentang, singkong). Pati dan amilum dihidrolisa dengan katalis diastase yang terbuat dari tunas barley yang dikeringkan atau dihidrolisa dengan katalis asam mineral encer (asam sulfat atau asam klorida). Glukosa hasil hidrolisa difermentasi untuk mengubah glukosa menjadi etanol dan CO_2 dengan bantuan *yeast* yang menghasilkan enzim *zymase*.

Fermentasi etanol hampir selalu berkaitan erat dengan yeast terutama menggunakan yeast jenis *saccharomyces cerevisiae*. Hampir 95 % produksi etanol diproses dari fermentasi menggunakan yeast tersebut.

Pertumbuhan yeast dalam memproduksi etanol sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor:

a) Kadar gula

Kadar gula yang rendah dalam *molase* akan mengurangi efektivitas yeast, sedangkan kadar gula yang tinggi dapat menghambat aktivitas yeast, sehingga waktu fermentasi menjadi lebih lama dan efisien menjadi lebih rendah. Menurut PCT/US2008/079490, kadar gula pada *molase* pekat sebesar 80 %. Dan kadar gula yang optimum untuk fermentasi adalah 18-35%.

b) Penambahan zat makanan (nutrien)

Dalam proses fermentasi, *yeast* memerlukan pembiakan dengan cara pemberian nutrisi. Kebutuhan nutrisi bisa dipenuhi dengan penambahan ammonium sulfat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

c) Derajat keasaman

Yeast dapat tumbuh pada kondisi pH 4,5-5,5. Hal ini sebagai pendukung dalam proses fermentasi. pH yang terlalu asam atau basa akan menghambat proses konversi.

d) Suhu fermentasi

Suhu optimum untuk pertumbuhan dan pengembangbiakan adalah 32 °C.

Metode yang digunakan untuk perancangan pabrik bioetanol ini adalah metode fermentasi, karena 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 ketersediaannya semakin terbatas seiring waktu.

Bahan baku pembuatan etanol dapat dibuat dari bahan yang mengandung glukosa yang dapat difermentasi oleh *yeast* seperti bahan yang mengandung amilum (jagung, beras, dan singkong), *molase*, gula tebu, dan lain-lain. Diantara bahan-bahan diatas, masih banyak beberapa wilayah di Indonesia yang menjadikannya sebagai makanan pokok, sehingga dipilih *molase* yang merupakan hasil samping dari proses pengkristalan gula. *Molase* masih mengandung gula yang tidak dapat mengkristal karena terhalang oleh adanya zat-zat yang bukan gula. *Molase* merupakan bahan baku yang relatif murah dan berkualitas baik.

2. Proses sebelum Fermentasi

Biomassa yang telah diolah terlebih dahulu harus melalui hidrolisis, langkah kedua dari proses produksi bioetanol, dimana gula dari biomassa dilepaskan dalam bentuk pentosa dan heksosa. Gula-gula ini akan difermentasi menjadi bioetanol pada langkah berikutnya. Tiga jenis hidrolisis beserta kelebihan dan kekurangannya ditampilkan pada Tabel 1.6

Tabel 1. 6 Keuntungan dan Kerugian Proses Hidrolisis

Proses Hidrolisis	Keuntungan	Kekurangan
Hidrolisis asam pekat	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan suhu rendah • Hasil gula tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu tinggal lebih lama • Konsumsi energi tinggi • Biaya tinggi dan konsumsi asam tinggi • Korosi pada alat
Hidrolisis asam encer	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu tinggal singkat • Konsumsi asam rendah • Tidak diperlukan daur ulang asam • Konsentrasi biomassa yang tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> • Hasil gula rendah • Kebutuhan suhu tinggi • Pembentukan inhibitor • Masalah korosi
Hidrolisis enzimatis	<ul style="list-style-type: none"> • Hasil tinggi • Tidak ada pembentukan produk penghambat • Dilakukan dalam kondisi ringan • Menghasilkan sedikit limbah • Tidak ada masalah korosi 	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya enzim tinggi • Reaksi yang lambat

Namun, menurut mode integrasi dengan langkah hidrolisis, konfigurasi fermentasi yang berbeda dibedakan menjadi 4 konfigurasi, 4 macam konfigurasi beserta kelebihan dan kekurangannya ditampilkan pada Tabel 1.7.

Tabel 1. 7 Keuntungan dan Kerugian 4 Mode Integrasi Hidrolisis dan Fermentasi

Konfigurasi	Kelebihan	Kekurangan
SHF (<i>Separate Hydrolysis and Fermentation</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Fermentasi dan hidrolisis dilakukan di masing-masing kondisi optimum 	<ul style="list-style-type: none"> • Masalah kontaminasi
SSF (<i>Simultaneous Saccharification and Fermentation</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Meminimalkan hambatan dan kontaminasi • Biaya modal rendah karena pengurangan reaktor yang dibutuhkan • Hasil etanol yang tinggi • Membutuhkan enzim dalam jumlah sedikit 	<ul style="list-style-type: none"> • Perbedaan suhu optimum antara mikroorganisme hidrolisis dan fermentasi
SSCF (<i>Simultaneous Saccharification and Co-Fermentation</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu tinggal pendek • <i>Yield</i> etanol tinggi • Meminimalkan kontaminasi • Meminimalkan reaktor yang dibutuhkan 	<ul style="list-style-type: none"> • Pemuatan enzim tinggi • Perbedaan suhu optimum antara mikroorganisme hidrolisis dan fermentasi
CBP (<i>Consolidated Bioprocessing</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Efisiensi biaya tinggi dan efisiensi energi 	<ul style="list-style-type: none"> • Kurangnya organisme yang cocok

Berdasarkan penjelasan pada Tabel 1.6. dan Tabel 1.7. dipilih proses hidrolisis menggunakan asam encer dan menggunakan mode integrasi SHF.

1.5.2 Tinjauan Kinetika dan Termodinamika

a) Tinjauan Kinetika

Untuk mengetahui kecepatan reaksi dilakukan tinjauan kinetika. Untuk mencari nilai k didekati dengan model monod. Model monod yaitu model kinetika tidak terstruktur dan tidak tersegregasi yang paling banyak digunakan, dan disajikan pada persamaan :

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S} \quad (6)$$

Dengan μ adalah laju pertumbuhan mikroorganisme dan S adalah konsentrasi substrat.

Neraca massa fermentasi batch untuk laju pembentukan biomassa dapat digambarkan sebagai berikut :

$$R_{in} - R_{out} + R_{reaksi} = R_{akumulasi}$$

Karena tidak ada aliran massa ke atau dari reaktor, maka $R_{in} = R_{out} = 0$.

$$R_s \times V = \frac{dN_s}{dt} \quad (7)$$

$$R_s = \frac{dN_s}{dt \times V} \quad (8)$$

$$\frac{N_s}{V} = C_s \quad (9)$$

$$R_s = \frac{dC_s}{dt} \quad (10)$$

Dengan mempertimbangkan reaksi orde pertama, maka laju konsumsi substrat :

$$R_s = -k_s \times t \quad (11)$$

$$\frac{dC_s}{dt} = -k_s \times t \quad (12)$$

Persamaan diatas diintegrasikan dengan kondisi awal ($t=0$, $S=S_0$), menghasilkan :

$$S = S_0 \exp(-k_s t) \quad (13)$$

$$\ln S = \ln S_0 - k_s \times t \quad (14)$$

$$y = a - bx \quad (15)$$

Dengan :

S = Konsentrasi substrat (g/L)

S₀ = Konsentrasi substrat awal (g/L)

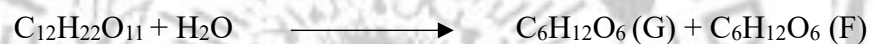
k_s = Laju orde pertama (L/jam)

t = waktu (jam)

Setelah dilakukan evaluasi mencari gradien dari persamaan garis lurus, diperoleh nilai k = 0,333 L/jam.

b) Tinjauan Termodinamika

Reaksi Hidrolisis :



Tabel 1. 8 Nilai ΔGf, saat 298 K tiap Komponen

Komponen	ΔGf (KJ/mol)
C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	-647
H ₂ O	-156
C ₆ H ₁₂ O ₆ (G)	-426
C ₆ H ₁₂ O ₆ (F)	-426

$$\begin{aligned} \text{Total } \Delta G_f &= \Delta G_f \text{ produk} - \Delta G_f \text{ reaktan} \\ &= (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 (\text{G}) + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 (\text{F})) - (\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + \text{H}_2\text{O}) \\ &= (-426 + (-426)) - (-647 + (-156)) \\ &= -49 (\text{KJ/mol}) \end{aligned}$$

Perhitungan harga konstanta kesetimbangan (K) dapat ditinjau dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$K = \exp^{-\left(\frac{\Delta G_f}{RT}\right)}$$

Dengan,

ΔG_f = Energi Gibbs (KJ/mol)

R = 0,008314 (KJ/mol.K)

T_{ref} = 298 (K)

K = Konstanta kesetimbangan

(Smith dan Van Ness, 2018)

Dari persamaan diatas dapat dihitung konstanta kesetimbangan pada :

$$K = \exp\left(\frac{-49}{0,008314 \times 298}\right)$$

$$K = 3,88 \times 10^8$$

Nilai K sangat besar, sehingga produk tidak dapat kembali menjadi reaktan dan dapat disimpulkan bahwa reaksi yang terjadi adalah *irreversible*.

Reaksi 1 Fermentasi :



★ Tabel 1. 9 Nilai ΔG_f , saat 298 K tiap Komponen

Komponen	ΔG_f (KJ/mol)
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 (\text{G})$	-426
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	-168
CO_2	-394

$$\begin{aligned}\text{Total } \Delta G_f &= \Delta G_f \text{ produk} - \Delta G_f \text{ reaktan} \\ &= (2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{CO}_2) - (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 (\text{G})) \\ &= (2 \times -168 + (2 \times -394)) - (-426) \\ &= -698 (\text{KJ/mol})\end{aligned}$$

Perhitungan harga konstanta kesetimbangan (K) :

$$K = \exp^{-\left(\frac{-698}{0,008314 \times 298}\right)}$$

$$K = 2,25 \times 10^{122}$$

Nilai K sangat besar, sehingga produk tidak dapat kembali menjadi reaktan dan dapat disimpulkan bahwa reaksi yang terjadi adalah *irreversible*.

Reaksi 2 Fermentasi :



Tabel 1. 10 Nilai ΔGf , saat 298 K tiap Komponen

Komponen	ΔGf (KJ/mol)
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 (\text{F})$	-426
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	-168
CO_2	-394

$$\begin{aligned} \text{Total } \Delta\text{Gf} &= \Delta\text{Gf produk} - \Delta\text{Gf reaktan} \\ &= (2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{CO}_2) - (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 (\text{F})) \\ &= (2 \times -168 + (2 \times -394)) - (-426) \\ &= -698 \text{ (KJ/mol)} \end{aligned}$$

Perhitungan harga konstanta kesetimbangan (K) :

$$K = \exp^{-\left(\frac{-698}{0,008314 \times 298}\right)}$$

$$K = 2,25 \times 10^{122}$$

Nilai K sangat besar, sehingga produk tidak dapat kembali menjadi reaktan dan dapat disimpulkan bahwa reaksi yang terjadi adalah *irreversible*.