

**PRARANCANGAN PABRIK ETANOL NABATI DARI  
BIJI SORGUM KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**



**Disusun Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Menyelesaikan  
Pendidikan Strata Satu Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik  
Universitas Setia Budi Surakarta**

**Oleh :**

**JOSHUA OKTAVA SATYATAMA**

**21150279D**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SETIA BUDI**

**SURAKARTA**

**2020**

**LEMBAR PERSETUJUAN**  
**LAPORAN TUGAS AKHIR**  
**PRARANCANGAN PABRIK ETANOL NABATI DARI BIJI SORGUM**  
**KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN**

Oleh :

**JOSHUA OKTAVA SATYATAMA**  
**21150279D**

Telah Disetujui Oleh Pembimbing

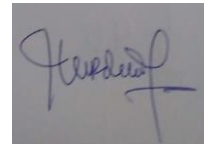
Pada Tanggal 26 Agustus 2020

Pembimbing I



Dr. Supriyono, S.T., M.T  
NIS.01199508011049

Pembimbing II



Ir. Sumardiyono, M.T  
NIS.01199403231041

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1 Teknik Kimia



Gregorius Prima Indra B. S.T., M.Eng  
NIS. 01201407261183

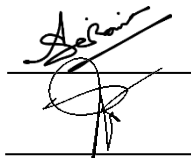
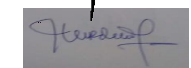


---

---

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**LAPORAN TUGAS AKHIR**  
**PRARANCANGAN PABRIK ETANOL NABATI DARI BIJI SORGUM**  
**KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN**

Oleh :  
**JOSHUA OKTAVA SATYATAMA**  
**21150279D**

Telah Dipertahankan Oleh Tim Penguji  
Pada Tanggal 26 Agustus 2020

Nama	Tanda Tangan
Penguji I : Ir. Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng	
Penguji II : Gregorius Prima Indra B., S.T., M.Eng	
Penguji III : Ir. Sumardiyono., M.T	
Penguji IV : Dr. Supriyono, S.T., M.T	

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Suseno, M.Si  
NIS.01199408011044

Kepala Program Studi



Gregorius Prima Indra B., S.T., M.Eng  
NIS. 01201407261183

## MOTTO

- "Troboss aja lah anyingg ..."
- "Be strong. Be brave. Be fearless. - Joshua 1 : 9"

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir prarancangan pabrik kimia ini dengan baik. Skripsi ini disusun guna memenuhi syarat dalam menyelesaikan program pendidikan S-1 Teknik Kimia di Universitas Setia Budi Surakarta.

Penyusunan laporan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Melalui laporan ini penyusun ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Djoni Tarigan, MBA., selaku Rektor Universitas Setia Budi Surakarta.
2. Drs. Suseno, M.Si, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta
3. Gregorius Prima Indra Budianto, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi Surakarta.
4. Dr. Supriyono, S.T., M.T., selaku pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan dan nasehat hingga selesainya tugas akhir ini.
5. Ir. Sumardiyono, M.T., selaku pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan nasehat hingga selesainya tugas akhir ini.
6. Ir. Dewi Astuti H, ST., M.Eng., dan Gregorius Prima Indra Budianto, S.T., M.Eng., selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk menguji hasil laporan tugas akhir ini.
7. Bapak dan Ibu dosen jurusan teknik kimia atas ilmu dan bimbingannya selama kuliah.
8. Serta semua yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini, untuk itu saran dan kritik yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan. Dan semoga laporan ini bermanfaat bagi semua pihak.



Surakarta, 10 Agustus 2020

Penulis

---

---

## DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Persetujuan.....	ii
Lembar Pengesahan .....	iii
Motto .....	iv
Kata Pengantar .....	v
Daftar isi.....	vi
Daftar Gambar.....	xi
Daftar Tabel .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Kapasitas Rancangan .....	2
1.3 Penentuan Lokasi Pabrik.....	5
1.4 Tinjauan Pustaka .....	7
1.5 Manfaat Etanol.....	11
1.6 Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku dan Produk.....	12
1.7 Tinjauan Proses Secara Umum .....	13
<b>BAB II SPESIFIKASI BAHAN</b>	
2.1 Spesifikasi Produk.....	21
2.2 Spesifikasi Bahan .....	22
<b>BAB III URAIAN PROSES</b>	
3.1 Uraian Proses .....	24

---

---

3.2 Diagram Alir Proses .....	26
-------------------------------	----

#### BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS

4.1 Neraca Massa .....	28
------------------------	----

4.2 Neraca Panas .....	32
------------------------	----

#### BAB V SPESIFIKASI ALAT

5.1 Silo penyimpanan biji sorgum .....	35
--	----

5.2 Mixer .....	35
-----------------	----

5.3 Reaktor SSF .....	36
-----------------------	----

5.4 Filter Press.....	37
-----------------------	----

5.5 Menara Destilasi.....	37
---------------------------	----

5.6 Tangki penyimpanan $H_3PO_4$ .....	38
--	----

5.7 Tangki penyimpanan Enzim Amylase .....	38
--	----

5.8 Tangki penyimpanan <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	39
--	----

5.9 Tangki penyimpanan Etanol .....	39
-------------------------------------	----

5.10 Cooler.....	40
------------------	----

5.11 Heater .....	40
-------------------	----

5.12 Screening.....	41
---------------------	----

5.13 Hammer Mill.....	41
-----------------------	----

5.14 Belt Conveyor 1 .....	42
----------------------------	----

5.15 Belt Conveyor 2 .....	42
----------------------------	----

5.16 Belt Conveyor 3 .....	43
----------------------------	----

5.17 Pompa 1.....	43
-------------------	----

5.18 Pompa 2.....	44
-------------------	----

---



---

---

5.19 Pompa 3.....	44
5.20 Pompa 4.....	45
5.21 Pompa 5.....	45
5.22 Pompa 6.....	46
5.23 Pompa 7.....	46
5.24 Pompa 8.....	47
<b>BAB VI UTILITAS</b>	
6.1 Unit Pendukung Proses .....	48
6.2 Laboratorium.....	61
6.3 Kesehatan dan Keselamatan Kerja.....	63
6.4 Alat – Alat Utilitas .....	65
<b>BAB VII ORGANISASI DAN TATA LETAK</b>	
7.1 Bentuk Perusahaan .....	72
7.2 Struktur Organisasi.....	73
7.3 Sistem Kepegawaian dan Sistem Gaji.....	78
7.4 Kesejahteraan Karyawan.....	89
7.5 Manajemen Produksi.....	92
7.6 Tata Letak ( <i>LayOut</i> ) Pabrik .....	95
7.7 Tata Letak Peralatan .....	99
<b>BAB VIII EVALUASI EKONOMI</b>	
8.1 Perhitungan Biaya .....	105
8.2 Total Fixed Capital Investment .....	108
8.3 Working Capital .....	109

---

---

8.4 Manufacturing Cost.....	109
8.5 General Expense.....	110
8.6 Analisis Ekonomi .....	111
BAB IX KESIMPULAN.....	115
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik kebutuhan impor Etanol.....	3
Gambar 1.2 Lokasi Pabrik.....	5
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Kualitatif.....	26
Gambar 3.2 Diagram Alir Proses Kuantitatif.....	27
Gambar 7.1 Struktur Organisasi.....	90
Gambar 7.2 Tata Letak Pabrik .....	98
Gambar 8.1 Grafik Hubungan tahun dengan <i>cost index</i> .....	104
Gambar 8.2 Grafik BEP dan SDP .....	113

---

---

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Impor Etanol.....	2
Tabel 1.2 Data Produksi Sorgum di Indonesia.....	3
Tabel 1.3 Daftar Pabrik Etanol.....	4
Tabel 2.1 Syarat Mutu Etanol Nabati.....	21
Tabel 4.1 Neraca Massa Hammer Mill .....	29
Tabel 4.2 Neraca Massa Screening .....	29
Tabel 4.3 Neraca Massa Mixer .....	29
Tabel 4.4 Neraca Massa Reaktor .....	30
Tabel 4.5 Neraca Massa Filter Press .....	30
Tabel 4.6 Neraca Massa Menara Destilasi.....	31
Tabel 4.7 Data Kapasitas Panas .....	31
Tabel 4.8 Neraca Panas Mixer .....	32
Tabel 4.9 Neraca Panas <i>Heater</i> .....	32
Tabel 4.10 Neraca Panas <i>Cooler</i> .....	32
Tabel 4.11 Neraca Panas Menara Destilasi.....	33
Tabel 6.1 Kebutuhan air proses.....	48
Tabel 6.2 Kebutuhan air pendingin .....	49
Tabel 6.3 Kebutuhan air sanitasi .....	50
Tabel 6.4 Kebutuhan steam.....	51
Tabel 6.5 Kebutuhan air keseluruhan.....	51
Tabel 6.6 Kebutuhan Listrik untuk proses .....	56
Tabel 6.7 Kebutuhan Listrik Untuk Utilitas.....	57

---

---

Tabel 7.1 Jumlah Karyawan.....	78
Tabel 7.2 Daftar Gaji Karyawan .....	79
Tabel 7.3 Shift kerja karyawan .....	87
Tabel 7.4 Luas Bangunan Pabrik .....	98
Tabel 8.1 <i>Cost index chemical plant</i> .....	101
Tabel 8.2 <i>Total fixed capital investment</i> .....	105
Tabel 8.3 <i>Working capital</i> .....	106
Tabel 8.4 <i>Manufacturing cost</i> .....	106
Tabel 8.5 <i>General expenses</i> .....	107
Tabel 8.6 <i>Fixed cost</i> .....	109
Tabel 8.7 <i>Variable cost</i> .....	109
Tabel 8.8 <i>Regulated cost</i> .....	109
Tabel 9.1 Analisis kelayakan ekonomi .....	112



LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai mahasiswa Universitas Setia Budi, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : JOSHUA OKTAVA SATYATAMA  
NIM : 21150279D  
Fakultas/Jurusan : TEKNIK / SI TEKNIK KIMIA  
E-mail address : Joshuaoktava@gmail.com

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan Universitas Setia Budi, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah :

KTI  Skripsi  Tesis  PKPA  PKL/KKL

yang berjudul \*) :

PRARANCANGAN PABRIK ETANOL NABATI DARI BIJI SORGUM

KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN

berserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan Universitas Setia Budi berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain \*) :

secara *fulltext*

hanya sebatas cantuman bibliografi dan abstrak, karena \_\_\_\_\_

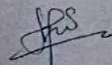
untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Setia Budi, segala bentuk tuntutan yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

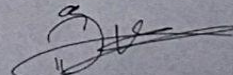
Dibuat di : Fit amalina (Jl walanda maramis, solo)  
Pada tanggal : 24 Agustus 2020

Pembimbing I



(Dr. Supriyono, S.T., M.T.)  
*nama terang dan tanda tangan*

Penulis



(JOSHUA OKTAVA SATYATAMA)  
*nama terang dan tanda tangan*

Dibuat rangkap 2, untuk penulis dan perpustakaan

---

---

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman kebutuhan akan etanol di negara Indonesia semakin meningkat karena belum banyak perusahaan etanol yang masih aktif memproduksi. Industri etanol di Indonesia umumnya masih banyak yang menggunakan bahan baku berasal dari tebu dan singkong. Salah satu sumber daya alternatif yang dapat dimanfaatkan sebagai pembuatan ethanol dan belum banyak dilakukan oleh industri kimia yaitu Sorgum.

Sorgum merupakan bahan pangan pendamping beras yang mempunyai keunggulan komparatif terhadap serelia lain seperti jagung, gandum dan beras ( Firmansyah & Suarni, 2005). Di Indonesia, sorgum belum dibudidayakan secara luas. Pengembangan dan budidaya sorgum masih terbatas di beberapa wilayah Nusa Tenggara Timur dan beberapa wilayah di Jawa Barat dan Jawa Tengah, baik sebagai bahan pangan lokal maupun pakan ternak.

Manfaat ethanol (*food grade*) yaitu di industri kimia, cat dan farmasi dan makanan. Etanol yang mempunyai grade 90-96% dapat digunakan pada industri sedangkan etanol yang mempunyai grade 96-99,5% dapat digunakan sebagai campuran untuk minuman keras dan bahan dasar industri farmasi (Nurdyastuti, 2005). Bea masuk untuk etanol masih tinggi, berkisar 30% dari ambang maksimal yang ditetapkan World Trade Organization (WTO) sebesar 40% dan bea masuk yang tinggi masih diperlukan untuk memproteksi industri dalam negeri.

Sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench) merupakan pangan penting bagi lebih dari 750 juta orang di daerah tropis beriklim kering di Afrika, India, dan Amerika Latin (FSD 2003, Reddy *et al.* 2007). Di Afrika, biji sorgum

---

---

dikonsumsi dalam bentuk olahan roti, bubur, minuman, berondong, dan kripik (Dicko *et al.* 2006). Di India, tepung sorgum dibuat roti bahan chapati, yang merupakan makanan pokok masyarakat pedesaan. Di Indonesia sorgum merupakan tanaman sereal pangan ke tiga setelah padi dan jagung, namun penggunaannya sebagai bahan pangan menurun tajam setelah ketersediaan beras mencukupi dengan relatif dan harga murah.

## 1.2. Kapasitas Rancangan

Kapasitas pabrik Etanol Nabati yang akan didirikan dapat ditentukan dengan berbagai pertimbangan sebagai berikut:

### 1.2.1. Kebutuhan Etanol Nabati di Indonesia

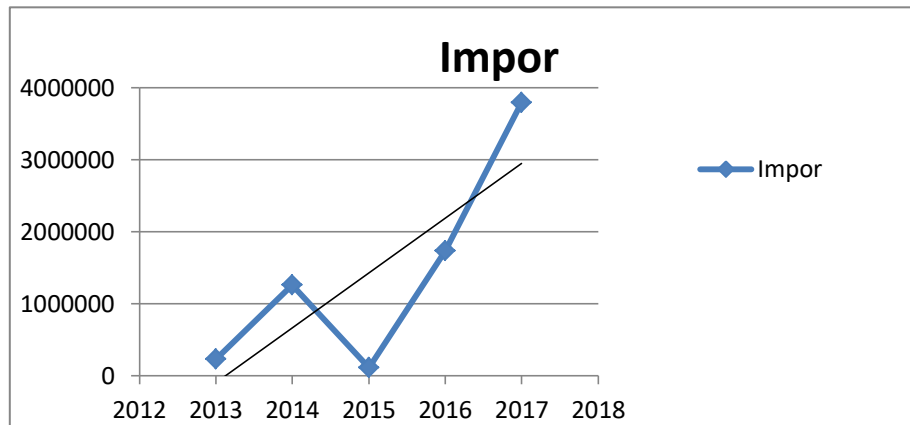
Kebutuhan Etanol dalam negeri selama ini dipenuhi produsen salah satunya dari PT. Molindo Raya Industrial dan banyak dipenuhi dari impor dengan kapasitas impor kebutuhan etanol dalam negeri dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 1.1** Data impor Etanol tahun 2014 – 2018

No.	Tahun	Impor (kg/th)
1	2014	229.440
2	2015	1.261.596
3	2016	113.453
4	2017	1.732.411
5	2018	3.797.829

Sumber : UN Data





**Gambar 1.1** Grafik kebutuhan impor Etanol

Dari Gambar 1. dapat diperoleh persamaan  $y = 815602x - 1 \times 10^6$   
 $R^2 = 0,7018$ , sehingga untuk tahun 2023 diperkirakan kebutuhan Ethanol 7.156.020 ton/tahun.

### 1.2.2. Ketersediaan bahan baku

Beberapa provinsi di Indonesia yang memproduksi Sorgum antara lain Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, D.I Yogyakarta, Sulawesi Tengah, Kalimantan Tengah, NTB, NTT, Maluku, Sulawesi Barat.

**Tabel 1.2** Data produksi Sorgum di Indonesia tahun 2005 – 2015.

Tahun	Produksi (Ton)
2005	6.114
2006	5.399
2007	4.241
2008	4.553
2009	6.172

---

---

2010	5.723
2011	7.695
2012	7.549
2013	7.582
2014	7.200
2015	7.800

Sumber : Balit Sereal Litbang Pertanian

### 1.2.3. Kapasitas komersial

Untuk mencukupi kebutuhan Etanol nabati dalam negeri, maka Indonesia melakukan impor dari negara luar yaitu Amerika dan China. Kapasitas produksi Etanol di dalam dan diluar negeri sebagai berikut :

**Tabel 1.3** Daftar Pabrik Etanol di dalam dan di luar negeri :

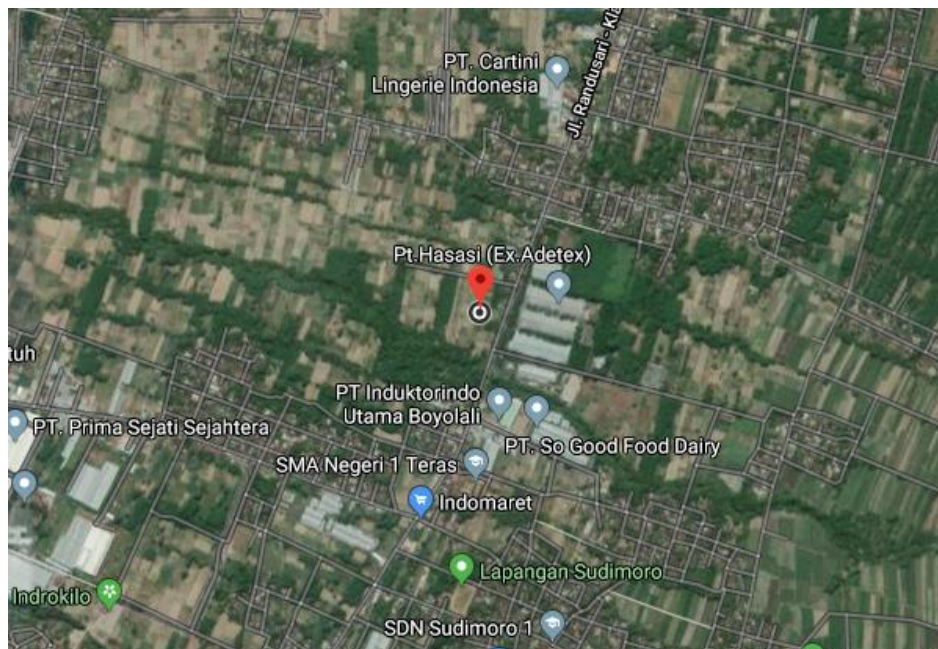
Negara	Pabrik	Kapasitas
Indonesia	PT. Molindo Raya Industrial	28.000 Ton
Indonesia	PT. Indo Acidatama Tbk	18.000 Ton
China	Feicheng Jinta Maichinery	4.900 Ton
Amerika	America Foods Global	470.400 Ton

(Badan Pusat Statistik, 2017)

Berdasarkan Tabel 1.3, data pabrik yang telah ada dan data impor dari Badan Pusat Statistik, maka Kapasitas Prarancangan Pabrik Kimia Etanol Nabati dari Biji Sorgum adalah 15.000 ton/tahun dan akan didirikan pada tahun 2023, diharapkan pembangunan pabrik ini dapat mengurangi impor etanol.

### 1.3. Penentuan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik menjadi hal yang sangat penting, dikarenakan hal ini berkaitan langsung dengan nilai ekonomis penjualan produk dan pemasukan bahan baku serta dalam segi operasional. Pabrik Ethanol Nabati dari biji sorgum ini direncanakan akan didirikan didaerah Boyolali, Jawa Tengah. Pemilihan lokasi tersebut berdasarkan faktor-faktor berikut :



**Gambar 1.2 Lokasi Pabrik**

#### 1.3.1 Faktor Primer

##### a. Penyediaan Bahan Baku.

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan adalah Biji Sorgum, dimana Biji Sorgum tersebut didapat dari petani sekitar.

##### b. Pemasaran Produk.

---

---

Boyolali merupakan kawasan industri yang sebagian besar membutuhkan Etanol Food Grade seperti industry makanan, minuman, medis, farmasi, dan kosmetika.

Dengan prioritas utama pasar dalam negeri maka diharapkan lokasi ini tidak jauh dari konsumen, sehingga biaya pengangkutan akan lebih murah dan harga jual dapat ditekan lebih rendah, sehingga dapat diperoleh hasil penjualan yang optimal.

**c. Sarana Transportasi**

Sarana dan prasarana transportasi sangat diperlukan dalam penyediaan bahan baku dan pemasaran produk. Boyolali merupakan daerah yang strategis memiliki jalur darat yang baik serta dekat dengan Semarang sehingga mempermudah dalam pemasaran produk ke luar Jawa.

**d. Tenaga Kerja**

Tenaga kerja yang terampil di bidangnya mutlak diperlukan guna kelangsungan kehidupan pabrik. Tenaga kerja dapat di peroleh dari daerah Jawa Tengah dan sekitarnya.

**e. Penyediaan Utilitas.**

Sarana utilitas telah memadai karena kawasan tersebut memang dibangun untuk kawasan yang infrastrukturnya telah disesuaikan dengan kebutuhan industri. Di daerah Boyolali, air dapat diperoleh dengan mudah dari sungai. Begitu juga sarana listrik yang merupakan bagian terpenting dalam sentra industri.

### **1.3.2 Faktor Sekunder**

**a. Kawasan Industri.**

Boyolali merupakan kawasan industri sehingga akomodasi keperluan kelangsungan proses produksi telah tersedia dengan baik, seperti: lingkungan, energi, sarana transportasi, dan sosial.

**b. Karakteristik Lokasi.**

---

---

Boyolali memiliki karakter iklim yang baik, merupakan daerah non rawan banjir,serta memiliki kondisi sosial masyarakat yang baik.

**c. Kebijakan Pemerintah.**

Pendirian pabrik perlu mempertimbangkan beberapa faktor kepentingan yang terkait meliputi: kebijaksanaan pengembangan industri dengan pemerataan kesempatan kerja, kesejahteraan, dan hasil-hasil pembangunan. Selain itu pabrik yang didirikan harus berwawasan lingkungan yang artinya keberadaan pabrik tersebut tidak mengganggu atau merusak lingkungan sekitarnya. Berdasarkan pertimbangan faktor – faktor di atas, maka lokasi pendirian pabrik Etanol Nabati ditempatkan di Boyolali, Jawa Tengah

#### **1.4. Tinjauan Pustaka**

Menurut *Kirk dan Othmer*, proses pembuatan etanol secara umum terbagi dalam dua jenis yaitu :

1. Proses Sintesa Etilen
2. Proses Fermentasi

##### **1.4.1. Proses Sintesa Etilen**

Pembuatan ethanol dengan cara ini menggunakan gas etilen yang terkandung di dalam gas alam sebagai bahan bakunya. Jenis – jenis proses yang ada yaitu :

- a) Hidrasi katalitik langsung dari gas etilen

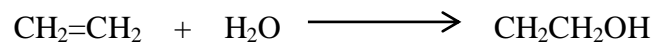
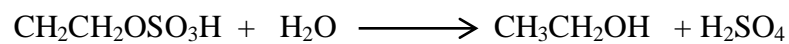
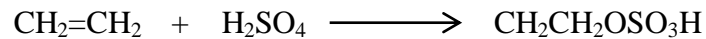
Pada proses ini etanol diperoleh dengan beberapa tahapan proses yaitu proses penyerapan (absorpsi) dengan etil hidrogen sulfat sehingga terbentuk dietil sulfat dan menghidrolisa etil hidrogen sulfat dengan menyemprotkan campuran air dan gas stripping pada bottom reaktor sehingga terbentuk produk etanol. Etanol yang telah terbentuk kemudian dipisahkan dari gas stripping di separator dan didapat produk etanol.

- b) Hidrasi katalitik tak langsung dari gas etilen

---

---

Proses ini dikenal dengan proses Shall. Reaktornya menggunakan katalis asam phospat dengan support relite diatomite. Reaksi hidrasi etilen adalah eksotermis dengan tekanan P = 1000psi dan temperatur T = 300 - 400 °C pada fase gas. Karena konversi etilen yang rendah, maka dilakukan recycle etilen ke reaktor.



#### 1.4.2. Proses Fermentasi

Proses fermentasi bertujuan untuk mengubah polisakarida (glukosa, sukrosa dan fruktosa) menjadi etanol dengan menggunakan bantuan mikroorganisme berupa yeast maupun bakteri. Etanol yang dihasilkan pada proses fermentasi oleh yeast (ragi) biasanya berkadar antara 8-12 persen volume. Polisakarida dapat diperoleh dari bahan-bahan yang dapat digunakan antara lain:

- a) Bahan-bahan yang mengandung gula (substansi sakarin) seperti gula tebu, molase, dan sari buah-buahan yang secara langsung difermentasikan menjadi etanol.
- b) Bahan-bahan yang mengandung pati misalnya sorgum, jagung, kentang, ubi kayu, padi-padian, akar tumbuhan, alga dan lain lain. Bahan jenis ini harus dihidrolisa terlebih dahulu dengan enzim atau katalis asam agar dapat menjadi gula yang dapat difermentasikan untuk menghasilkan etanol.
- c) Bahan-bahan yang mengandung selulosa seperti kayu, tandan kosong kelapa sawit, ampas tebu, dan bahan yang mengandung selulosa lainnya. Bahan jenis ini juga harus dihidrolisa terlebih dahulu dengan

---

---

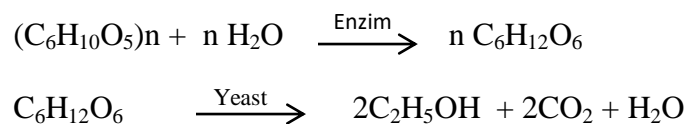
asam mineral untuk memperoleh monosakarida barulah kemudian difermentasi.

Produksi etanol dengan menggunakan fermentasi harus melalui beberapa tahap perlakuan bahan baku dan bahan pembantu terlebih dahulu. Perlakuan terhadap bahan baku tergantung dengan karakteristik bahan baku tersebut. Misalnya pada bahan baku pati-patian harus di hidrolisis terlebih dahulu menjadi gula.

Namun semua bahan baku tersebut harus disterilisasi dengan cara melakukan pemasakan atau pemanasan dengan suhu antara 100-120 °C bahkan ada yang mencapai 130 °C. Hal ini dilakukan karena proses fermentasi harus bebas dari kontaminasi dari mikroorganisme lainnya. Apabila terkontaminasi maka hasil dari proses fermentasi tidak maksimal bahkan gagal.

Etanol hasil fermentasi kemudian dimurnikan melalui destilasi. Untuk mendapatkan etanol dengan kemurniaan 95% menggunakan destilasi.

Reaksi yang terjadi pada proses fermentasi yaitu :



Kata “fermentasi” berasal dari bahasa latin ”ferferi” yang artinya mendidihkan, deskripsi ini muncul karena aksi dari khamir pada ekstrak buah atau gandum yang direndam (Stanbury et al. 2003). Fermentasi adalah proses metabolik dengan bantuan enzim dari mikroba (jasad renik) untuk melakukan oksidasi, reduksi, hidrolisa dan reaksi kimia lainnya, sehingga terjadi perubahan kimia pada suatu substrat organik dengan menghasilkan produk tertentu dan menyebabkan terjadinya perubahan sifat bahan tersebut. Steinkraus (2002) menjelaskan juga bahwa, makanan fermentasi adalah substrat makanan yang ditumbuhi oleh mikroba penghasil enzim terutama amilase, protease, lipase yang menghidrolisis

polisakarida, protein dan lemak menjadi produk dengan flavor, aroma dan tekstur menyenangkan dan menarik bagi konsumen.

Pertumbuhan mikroorganisme pembusuk dapat dikendalikan dengan proses fermentasi, karena mikroorganisme yang berguna secara selektif dapat tumbuh 10 selama proses fermentasi. Hal itu dapat dicapai dengan menciptakan kondisi yang cocok bagi pertumbuhan mikroorganisme tersebut, dengan mengatur kondisi lingkungan seperti suhu, oksigen dan pH.

Kekurangan dari metode Hidrasi Etilena adalah harga produksi yang mahal dan etilen yang susah didapatkan. Keuntungan metode fermentasi adalah emisi gas buang yang aman dan bahan baku yang mudah didapatkan. (Kiff *et al.*, 1983)

Melihat dari kedua proses diatas maka pada perancangan ini digunakan proses *Fermentasi* dengan alasan sebagai berikut:

1. Kondisi operasi pabrik. Pada proses Hidrasi Etilena suhu operasi digunakan lebih dari 150°C dan tekanan operasi diatas atmosfer (>1 atm). Sedangkan pada proses Fermentasi suhu operasi yang digunakan 20-40°C dan tekanan operasi yaitu tekanan atmosfer (1 atm).
2. Bahan baku relatif mudah didapat. Pada proses Hidrasi Etilen bahan baku yang digunakan adalah etilen. Sedangkan proses fermentasi bahan baku yang digunakan adalah bahan-bahan yang mengandung pati, selulosa. Di indonesia (khususnya para petani) bahan baku serelia yang mengandung pati, selulosa mudah dijumpai seperti sorgum, jagung, singkong dll.



---

---

## 1.5. Manfaat Ethanol

### 1. Industri Minuman

Ethanol banyak digunakan sebagai bahan baku campuran minuman khususnya golongan minuman beralkohol seperti beer dan minuman keras lainnya yang penjualannya diatur pemerintah.

### 2. Industri Parfum

Ethanol juga digunakan untuk mempertahankan wangi di dalam botol kosmetik. Selain itu juga digunakan sebagai campuran agar pakaian yang diberi parfum tidak meninggalkan bekas noda

### 3. Pewarna makanan

Pewarna makanan sebagian menggunakan etanol sebagai bahan bakunya, hal ini karena kemampuan etanol dapat mempertajam warna pada pewarna makanan

### 4. Pembersih Luka

Pembersih luka banyak yang menggunakan etanol, hal ini karena sifat etanol yang mudah menguap dan terasa dingin di kulit.

### 5. Obat – obatan

Banyak industri obat – obatan yang menggunakan etanol sebagai bahan pelarut, hal ini karena etanol merupakan bahan pelarut yang baik. Namun demikian mengingat etanol yang digunakan untuk obat – obatan sudah berstandar foodgrade sehingga aman untuk di konsumsi.

### 6. Pembersih wajah dan Alat kosmetik

Alat kosmetik banyak yang menggunakan bahan yang mengandung lemak untuk memperkuat daya rekat kosmetik sehingga untuk membersihkan diperlukan toner yang mana mengandung etanol.

---

---

## 1.6. Sifat Fisik dan Sifat Kimia Bahan Baku dan Produk

### A. Bahan Baku

#### 1. Sorgum

##### a. Sifat fisik Biji Sorgum

Pada umumnya biji sorgum berbentuk bulat dengan ukuran 4 x 2,5 x 3,5 mm. Berat biji bervariasi antara 8-50 mg, rata-rata 28 mg. Berdasarkan ukurannya, sorgum dibagi atas sorgum biji kecil (8-10 mg), biji sedang (1224 mg), dan biji besar (25-35 mg). Warna biji beragam antara putih, putih kecoklatan, merah dan coklat, merupakan salah satu kriteria yang menentukan kegunaannya.

##### b. Sifat Kimia Biji Sorgum

Komponen pati biji sorgum (82,5%) terkonsentrasi pada endosperma, sedangkan pada bagian lembaga kadar lemak (18,9%) dan komponen mineral (19,36%). Komposisi nutrisi bagian biji sorgum dapat menjadi petunjuk pemanfaatannya, sehubungan dengan teknologi pengolahan yang akan digunakan (Suarni dan Firmansyah, 2005)

#### 2. Air

Sifat Fisika :

- Rumus molekul : H<sub>2</sub>O
- Berat molekul (g/mol) : 18
- Bentuk : Cair
- Titik didih pada 1 atm (°C) : 100°C
- Densitas (kg/l) : 1
- Titik lebur (°C) : 0°C

(Perry's, 2008)

### B. Bahan Penunjang

#### 1. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (Asam Sulfat)

---

---

Pada umumnya asam fosfat yang berada di pasaran memiliki konsentrasi sebesar 70% sedangkan untuk mengatur Ph pada waktu fermentasi gula menjadi alkohol menggunakan  $H_3PO_4$  sebagai pengatur ph sebesar 1% dari total volume. Untuk itu dilakukan pengenceran sebesar 1%. Asam fosfat diperoleh dari PT. Petro Kimia Gresik.

2. Enzim amylase

Enzim yang digunakan adalah enzim glucoamylase yang mempunyai karakteristik food grade, suhu optimum 30 C , ph optimum 4-5 dan memiliki warna kuning, dan berbentuk cairan. Glucoamylase ini diperoleh dari Jakarta.

3. Saccharomyces cerevisiae

Dalam reaksi gula menjadi alkohol dibutuhkan yeast Saccharomyces cerevisiae. Saccharomyces cerevisiae mempunyai karakteristik warna kuning, memiliki beta-glucan >20%, kadar protein lebih kecil 35, total karbohidrat > 40, memiliki ph optimum 5. Saccharomyces cerevisiae ini diperoleh dari Jakarta Selatan

Saccharomyces cerevisiae sebelum digunakan dalam proses fermentasi harus dilakukan proses pembiakan. Tahap pembuatan starter Saccharomyces cerevisiae yaitu pertama, dengan melarutkan fermipan kedalam media yang berisi air, dihomogenkan dengan menjaga suhu 30 °C. Selanjutnya larutan tersebut didiamkan selama 24 jam agar mikroorganisme Saccharomyces cerevisiae dapat berkembang, setelah itu yeast siap untuk diaplikasikan kedalam proses fermentasi.

### C. Produk

1. Ethanol Nabati

a. Sifat Fisika:

- Rumus Molekul :  $C_2H_5OH$
- Berat Molekul (g/mol) : 46,1

- 
- 
- Titik didih (°C) : 78,32
  - Densitas (g/ml) : 0,7893
  - Viscositas pada 20°C (cp) : 1,17
  - Titik beku (°C) : 114,1
  - Wujud Pada Suhu Kamar : Cair

(Sumber : *Kirk & Othmer Encyclopedia of Chemical Technology Vol 9, 1967*)

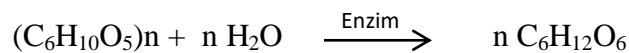
b. Sifat Kimia

- Etanol dapat terhidrasi menjadi ethylene  
Reaksi :  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \longrightarrow \text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- Etanol dapat terhidrogenasi membentuk asetadehid  
Reaksi :  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \longrightarrow \text{CH}_3\text{CHO} + \text{H}_2$
- Etanol dengan natrium hipoklorit membentuk kloroform  
Reaksi :  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{Na OCl} \longrightarrow \text{CH}_3\text{CHO} + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$   
(Perry's, 2008)

## 1.7. Tinjauan Proses Secara Umum

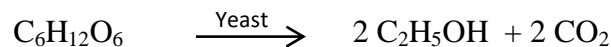
a.) Dasar Reaksi, Konversi

Reaksi pati sorgum melalui proses hidrolisa yaitu :



Proses hidrolisis ini merupakan pemecahan polisakarida menjadi gula sederhana kemudian dilanjutkan dengan proses fermentasi.

Reaksi glukosa menjadi etanol melalui proses fermentasi yaitu:



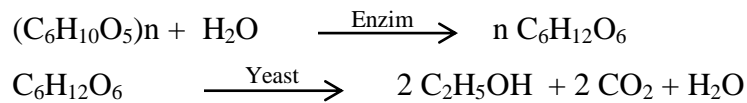
Proses fermentasi dilakukan mulai dari terbentuknya glukosa menjadi etanol dengan menggunakan katalisator *Sacharomyces cerevisiae*.

b.) Kondisi Operasi

Dalam pembuatan Ethanol Nabati ini digunakan proses fermentasi dengan bahan baku biji sorgum yang direaksikan dengan Reaktor Fermentasi pada kondisi operasi yang optimum pada suhu 30°C, tekanan 1 atm. Konsentrasi Ethanol Nabati 95% dan waktu tinggal 48 jam menghasilkan konversi 90%.

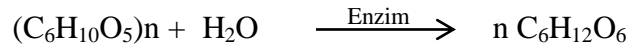
c.) Mekanisme Reaksi

Reaksi utama yang terjadi pada reaktor , yaitu :



a. Tinjauan Termodinamika

Mekanisme reaksi yang terjadi pada proses hidrolisis adalah :



Harga  $\Delta H_f^0$  pada suhu 298K (25°C) sebagai berikut :

Komponen	$\Delta H_f^0$ (kJ/mol), 298K
$C_6H_{12}O_6$	-2.820
$C_6H_{10}O_5$	-963
$CO_2$	-395
$H_2O$	-241,8

(Perry dan Yaws 1999)

$$\begin{aligned} \Delta H_f^0_{298 K} &= \Delta H_f^0 \text{ produk} - \Delta H_f^0 \text{ reaktan} \\ &= (\Delta H_f^0 C_6H_{12}O_6) - (\Delta H_f^0 C_6H_{10}O_5 + \Delta H_f^0 H_2O) \\ &= (-2.820) - ((-963) + (-241,8)) \\ &= -1.615,2 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Harga  $\Delta H_r$  pada suhu 303,15K (30°C) sebagai berikut :

Komponen	$C_p$ (J/mol.K)

$C_6H_{12}O_6$	224
$C_6H_{10}O_5$	283,5
$H_2O$	75,26

(Perry dan Yaws 1999)

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{reaktan } 303.15} &= \Sigma C_p \cdot \Delta T \\
 &= (283,5 \times (303,15 - 298)) + (75,26 \times (303,15 - 298)) \\
 &= 5.076,5 \text{ J/mol} \\
 &= 5,076 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{produk } 303.15} &= \Sigma C_p \cdot \Delta T \\
 &= (224 \times (303,15 - 298)) \\
 &= 1.153,6 \text{ J/mol} \\
 &= 1,153 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{r303.15} &= \Delta H_{\text{produk } 303.15} + \Delta H_f^{\circ}{}_{298 \text{ K}} - \Delta H_{\text{reaktan } 303.15} \\
 &= (1,153 + (-1.615,2)) - 5,076 \text{ kJ/mol} \\
 &= -1.619,12 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan  $\Delta H_r$  303,15K maka dapat disimpulkan bahwa reaksi berjalan secara eksotermis (menghasilkan panas) karena harga  $\Delta H_r$  303,15 K yang diperoleh negatif.

Harga  $\Delta G_f^{\circ}$  untuk masing – masing komponen 298K :

Komponen	$\Delta G_f^{\circ}$ (kJ/mol.K)
$C_6H_{12}O_6$	-910
$C_6H_{10}O_5$	-910,56
$H_2O$	-228,6

(Perry dan Yaws 1999)

$$\begin{aligned}
 \Delta G_r &= \Sigma \Delta G_{\text{produk}} - \Sigma \Delta G_{\text{reaktan}} \\
 &= (\Delta G_f^0 \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) - (\Delta G_f^0 \text{ C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 + \Delta G_f^0 \text{ H}_2\text{O}) \\
 &= (-910) - ((-910,56) + (-228,6)) \\
 &= -228,04 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan :

Di reaktor :

$$\begin{aligned}
 \Delta H_f^0 &\quad (\text{Enthalpi Reaktan}) &= -1.615,2 \text{ kJ/mol} \\
 \Delta H_{r303,15} &\quad (\text{Enthalpi Reaktan}) &= -1.619,12 \text{ kJ/mol} \\
 \Delta G_r &\quad (\text{Energi Bebas}) &= -228,04 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Menghitung harga konstanta keseimbangan pada suhu 25°C (298K)

$$\Delta G = -R.T \ln K_{298K}$$

$$\begin{aligned}
 \ln K_{298K} &= \frac{\Delta G}{-RT} \\
 &= \frac{-228,04}{-8,314 \times 298}
 \end{aligned}$$

$$K_{298K} = 1,0963$$

Menghitung harga konstanta keseimbangan pada suhu 30°C (303,15K)

$$\begin{aligned}
 \ln \left( \frac{K_{363,15}}{K_{298}} \right) &= \frac{\Delta H_f^{298K}}{R} \times \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \\
 \ln \left( \frac{K_{363,15}}{1,0963} \right) &= \frac{-1.615,2}{8.314} \left( \frac{1}{303,15} - \frac{1}{298} \right) \\
 \frac{K_{303,15}}{1,0963} &= \exp(0,011075) \\
 K_{303,15} &= 1,1085
 \end{aligned}$$

Mekanisme reaksi yang terjadi pada proses fermentasi adalah :



Harga  $\Delta H_f^0$  pada suhu 298K (25°C) sebagai berikut :

Komponen	$\Delta H_f^0$ (kJ/mol), 298K
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	-2.820

C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	-1.368
CO <sub>2</sub>	-395
H <sub>2</sub> O	-241,8

(Perry dan Yaws 1999)

$$\begin{aligned}
 \Delta H_f^{\circ} 298 \text{ K} &= \Delta H_f^{\circ} \text{ produk} - \Delta H_f^{\circ} \text{ reaktan} \\
 &= (\Delta H_f^{\circ} \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} + \Delta H_f^{\circ} \text{ CO}_2 + \Delta H_f^{\circ} \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta H_f^{\circ} \\
 &\quad \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \Delta H_f^{\circ} \text{ H}_2\text{O}) \\
 &= (2 \cdot (-1.368) + 2 \cdot (-395) + (-241,8)) - (-2.820 + (- \\
 &\quad 241,8)) \\
 &= -706 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Harga  $\Delta H_r$  pada suhu 303,15K (30°C) sebagai berikut :

Komponen	C <sub>p</sub> (J/mol.K)
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	224
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	115,1
CO <sub>2</sub>	19,29
H <sub>2</sub> O	-241,8

(Perry dan Yaws 1999)

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{reaktan } 303.15} &= \sum C_p \cdot \Delta T \\
 &= (224 \times (303,15 - 298)) + (75,26 \cdot (303,15 - 298)) \\
 &= 1541,2 \text{ J/mol} \\
 &= 1,541 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{produk } 303.15} &= \sum C_p \cdot \Delta T \\
 &= (2 \cdot (115,1 \times (303,15 - 298))) + (2 \cdot (37,36) \cdot (303,15 - 298)) \\
 &\quad + (75,26 \cdot (303,15 - 298)) \\
 &= 5379,5 \text{ J/mol} \\
 &= 5,379 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

$$\Delta H_{f303.15} = \Delta H_{\text{produk } 303.15} + \Delta H_{298} - \Delta H_{\text{reaktan } 303.15}$$



$$\begin{aligned}
 &= (5,379 + (-706)) - 1,541 \text{ kJ/mol} \\
 &= -702,162 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan  $\Delta H_r^{\circ} 303,15\text{K}$  maka dapat disimpulkan bahwa reaksi berjalan secara eksotermis (menghasilkan panas) karena harga  $\Delta H_r^{\circ} 303,15\text{K}$  yang diperoleh negatif.

Harga  $\Delta G_f^{\circ}$  untuk masing – masing komponen 298K :

Komponen	$\Delta G_f^{\circ}$ (kJ/mol.K)
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	-910
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	-174,78
$\text{CO}_2$	-394,36
$\text{H}_2\text{O}$	-228,6

(Perry dan Yaws 1999)

$$\begin{aligned}
 \Delta G_r &= \sum \Delta G_{\text{produk}} - \sum \Delta G_{\text{reaktan}} \\
 &= (\Delta G_f^{\circ} \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \Delta G_f^{\circ} \text{CO}_2 + \Delta G_f^{\circ} \text{H}_2\text{O}) - (\Delta G_f^{\circ} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \Delta G_f^{\circ} \text{H}_2\text{O}) \\
 &= (2.(-174,78) + (2.(-394,36) + (-228,6)) - (-910) + (-228,6) \\
 &= -227,28 \text{ kJ/mol.}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan :

Di reaktor :

$$\begin{aligned}
 \Delta H_f^{\circ} & \quad (\text{Enthalpi Reaktan}) &= -706 \text{ kJ/mol} \\
 \Delta H_{r303.15} & \quad (\text{Enthalpi Reaktan}) &= -706,162 \text{ kJ/mol} \\
 \Delta G_r & \quad (\text{Energi Bebas}) &= -227,28 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Menghitung harga konstanta keseimbangan pada suhu 25°C (298K)

$$\Delta G = -R.T \ln K_{298\text{K}}$$

$$\begin{aligned}
 \ln K_{298\text{K}} &= \frac{\Delta G}{-RT} \\
 &= \frac{-227,28}{-8,314 \times 298}
 \end{aligned}$$

$$K_{298\text{K}} = 1,0961$$

Menghitung harga konstanta keseimbangan pada suhu 30°C (303,15K)

$$\ln\left(\frac{K_{363,15}}{K_{298}}\right) = \frac{\Delta H_f 298 \text{ K}}{R} \times \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)$$

$$\ln\left(\frac{K_{363,15}}{1,0961}\right) = \frac{-706}{8.314} \left(\frac{1}{303.15} - \frac{1}{298}\right)$$

$$\frac{K_{303,15}}{0,8714} = \exp(0,3346)$$

$$K_{303,15} = 1,1013$$

### b. Tinjauan Kinetika

Data untuk fermentasi etanol

Product concentrations, $C_p^*$	= 93,000 gr/dm <sup>3</sup>
Empirical constant, $n$	= 0,520
A maximum specific growth reaction rate, $\mu_{\max}$	= 0,200 hr <sup>-1</sup>
Parameter analogous to the Michaelis constants, $K_s$	= 1.036,780 gr/dm <sup>3</sup>
Cell maintenance, $m$	= 0,225
$\frac{\text{gr substrat}}{\text{gr cell.tim}}$	= 0,225 hr <sup>-1</sup>
Yield coefficient pembentukan sell, $Y_{c/s}$	= 3,796 gr
Yield coefficient pembentukan produk, $Y_{p/s}$	= 0,511
$C_p$	= 81,588 g/dm <sup>3</sup>
Yield coefficient pembentukan produk, $Y_{p/c}$	
$Y_{p/s} = \frac{\text{Etanol terbentuk}}{\text{Glukosa bereaksi}}$	
	= 50,677
$Y_{p/c} = \frac{50,677}{604,352}$	
	= 0,084 g
Konstanta Deaktivasi, $K_d$	
$K_d$	= 0,01 hr <sup>-1</sup>
Massa glukosa awal = 118,8 kg/jam	
$N_{AO} \text{ glukosa} = \frac{118,8 \text{ kg/jam}}{180 \text{ kg/mol}}$	
	= 0,66 kmol/jam

$$\begin{aligned}
 C_{AO} &= \frac{0,66 \text{ kmol/jam}}{20,019 \text{ m}^3/\text{jam}} \\
 &= 0,033 \text{ kmol/m}^3
 \end{aligned}$$

Konsentrasi substrat,  $C_s$

$$\begin{aligned}
 C_s &= \frac{118,8 \text{ kg/jam}}{20,019 \text{ m}^3/\text{jam}} \\
 &= 5,93 \text{ gr/dm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu &= \mu_{\max} \frac{C_s}{K_s + C_s} \\
 &= 0,0011
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c &= C_s \cdot e^{\mu \cdot t} \\
 &= 6,210 \text{ gr/dm}^3
 \end{aligned}$$

Kecepatan pertumbuhan sel :

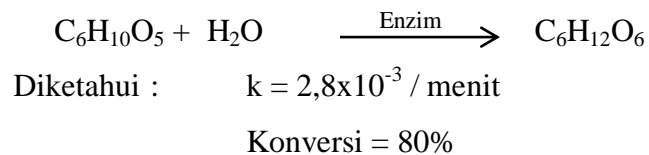
$K_{\text{obs}}$  = factor inhibisi

$$\begin{aligned}
 K_{\text{obs}} &= \left(1 - \frac{C_p}{C_{p^*}}\right)^n \\
 &= 0,336
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 r_g &= K_{\text{obs}} \cdot \mu \cdot C_s \\
 &= 0,002 \text{ gr/dm}^3 \cdot \text{hr}
 \end{aligned}$$

(Sumber : *Modeling Bioreactors*, R. Miller & M. Melick, *Chemical Engineering Feb. 16, p. 113, 1987*)

Mekanisme reaksi pada proses hidrolisis :



(Banon Rustiaty, 2018)

$$\begin{aligned}
 -r_A &= k \cdot C_A \\
 -\frac{dC_A}{dt} &= k \cdot C_A
 \end{aligned}$$

$$-\frac{dC_A}{C_A} = k \cdot dt$$

$$-\int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A} = k \int_0^t dt$$

$$-\ln C_A \Big|_{C_{A0}}^{C_A} = k \cdot t \Big|_0^t$$

$$-\ln C_A + \ln C_{A0} = k (t - 0)$$

$$\ln \frac{C_{A0}}{C_A} = k \cdot t$$

$$k = \frac{1}{t} \ln \frac{C_{A0}}{C_A}$$

$$k = \frac{1}{t} \ln \frac{C_{A0}}{C_{A0}(1-X_A)}$$

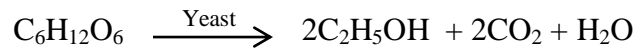
$$k = \frac{1}{t} \ln \frac{1}{1-X_A}$$

$$t = \frac{1}{k} \ln \frac{1}{1-X_A}$$

$$t = \frac{1}{2,8 \times 10^{-3}} \ln \frac{1}{1-0,8}$$

$$t = 574,8 \text{ menit.}$$

Mekanisme reaksi pada proses fermentasi:



Diketahui:  $k = 0,0018$

konversi = 90 %

(Banon Rustiaty, 2018)

$$t = \frac{1}{0,0018} \ln \frac{1}{1-0,99}$$

$$t = 2558,4 \text{ menit}$$

$$t = 42,64 \text{ jam}$$