

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Setelah China, India, Jepang, dan Korea Selatan, Indonesia merupakan negara dengan konsumsi energi primer tertinggi di Asia Tenggara dan menempati urutan kelima secara keseluruhan di kawasan Asia Pasifik. Pertumbuhan energi Indonesia ke depan diperkirakan akan lebih didorong oleh pertumbuhan Produk Domestik Bruto (PDB) yang tinggi, yaitu hingga 6,04% per tahun antara tahun 2017 dan 2050 (Walujanto et al., 2018). Berdasarkan data dari kementerian ESDM RI dalam (Wiratmaja & Elisa, 2020), penggunaan energi terbesar di Indonesia berasal dari bahan bakar fosil sebesar 95%. Berdasarkan presentasi tersebut hampir 50% diantaranya merupakan Bahan Bakar Minyak (BBM), sehingga akan terjadi peningkatan penggunaan energi setiap tahun pada sektor transportasi. Di Indonesia, bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam terus menjadi energi utama sebagai sumber perekonomian. Kekhawatiran akan menipisnya cadangan energi fosil semakin meluas setelah muncul perkiraan bahwa cadangan energi fosil akan menipis dalam waktu dekat. Kementerian ESDM menunjukkan data bahwa ketersediaan batu bara di Indonesia saat ini sekitar 7,3–8,3 miliar ton dengan prediksi akan habis pada tahun 2036. Begitu juga dengan minyak bumi saat ini tersisa 4,7 miliar barel dan diprediksi akan habis pada tahun 2028 (Wiratmaja & Elisa, 2020).

Menurut Riyanti (2009, dalam Siahian, 2022), bioetanol merupakan energi alternatif yang sampai saat ini paling banyak diproduksi di dunia. Lebih dari 50 negara memfokuskan penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar cair pengganti Bahan Bakar Minyak (BBM) untuk transportasi. Alasan bioetanol digunakan sebagai pengganti BBM adalah pembakaran bioetanol menghasilkan gas rumah kaca (*greenhouse gases*) yang jauh lebih sedikit dibandingkan dengan pembakaran BBM, hal tersebut berarti penggunaan bioetanol dapat mengurangi pencemaran udara. Keuntungan lain yang akan didapatkan jika menggunakan bioetanol sebagai bahan bakar pengganti BBM adalah dapat meningkatkan

ekonomi negara, karena bioetanol dapat dihasilkan dari berbagai jenis biomassa seperti pada bioetanol generasi pertama (G1) dari tanaman pangan maupun dari biomassa lignoselulosa pada bioetanol generasi kedua (G2). Bioetanol dapat meningkatkan nilai oktan (*research octane number/ RON*) sebesar 128 dibandingkan dengan nilai oktan BBM yaitu 92. Pertimbangan nilai oktan ini mendukung penggunaan bioetanol sebagai pengganti bahan bakar kendaraan (Rifa'i et al., 2022).

Bioetanol dapat dibuat dari bahan-bahan yang mengandung pati, karbohidrat, glukosa, dan selulosa. Salah satu bahan yang memenuhi kriteria sebagai bahan baku pembuatan bioetanol yaitu molase. Molase atau tetes tebu adalah hasil samping dari pembuatan gula tebu. Molase pada umumnya mengandung sukrosa sekitar 34-35%, selain itu terkandung gula pereduksi sebanyak 20-25%. Sedangkan untuk padatan terlarutnya sekitar 90% dan terdapat zat pereduksi lain yang berasal dari gula ataupun non gula dengan nilai yang lebih kecil (Algus, 2014).

Terdapat beberapa metode dalam membuat bioetanol, salah satunya yaitu metode fermentasi. Pembuatan bioetanol dengan metode fermentasi memanfaatkan makhluk hidup dalam prosesnya, makhluk hidup yang digunakan yaitu ragi atau *yeast* dengan jenis *saccharomyces cerevisiae*. Keunggulan dari *saccharomyces cerevisiae* memiliki memiliki toleransi yang tinggi terhadap *inhibitor*, selain itu *saccharomyces cerevisiae* juga mudah untuk didapatkan (Retnaningtyas et al., 2017).

Berdasarkan peritmbangan yang sudah disebutkan, maka dapat diketahui bahwa bioetanol memiliki potensi yang besar sebagai pengganti Bahan Bakar Minyak (BBM). Semakin bertambahnya minat akan kebutuhan bioetanol, maka diperlukan pabrik bioetanol untuk mencukupi kebutuhan bioetanol di Indonesia. Dengan molase sebagai bahan baku dan menggunakan metode fermentasi memanfaatkan *saccharomyces cerevisiae*, diharapkan dapat menurunkan angka impor bioetanol Indonesia.

## 1.2 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka merupakan ringkasan dari literatur yang relevan dengan topik perancangan.

### A. Bioetanol

Etanol (etil alkohol), dengan rumus kimia  $C_2H_5OH$ , merupakan senyawa hidroksil atau turunan dari gugus OH. Etanol tidak berwarna, mudah menguap, sedikit larut dalam air, memiliki berat molekul 46,1, titik didih 351,3 K, membeku pada 155,7 K, densitas 0,789 pada 293 K, nilai kalor 29.629.983,6 J/kg, dan panas laten penguapan adalah 854.107,2 J/kg, oktan 91-128. Etanol dapat dibuat dari minyak bumi atau bahan tumbuhan. Etanol turunan minyak bumi (Dikenal sebagai etanol sintetik) diproduksi dengan menghidrogenasi gas etilena, produk sampingan dari penyulingan minyak bumi, menggunakan katalis asam fosfat. Sedangkan etanol yang terbuat dari bahan tanaman (Dikenal sebagai bioetanol) diproduksi dengan memfermentasi bahan kaya karbohidrat (Yuni Hendrawati et al., 2019).

Bioetanol merupakan bahan bakar alternatif dari tumbuhan yang mampu menurunkan emisi  $CO_2$  hingga 18%. Terdapat tiga kelompok tumbuhan yang dapat digunakan untuk membuat bioetanol yaitu tumbuhan mengandung pati (seperti singkong, kelapa sawit, tengkawang, kelapa, kapuk, jarak pagar, rambutan, karano, malapari, dan nyamplung), tumbuhan mengandung gula (seperti molase atau tetes tebu, nira nipah, nira tebu, dan getah sorgum manis), dan tumbuhan berserat selulosa (seperti batang sorgum, batang pisang, jerami, kayu dan ampas tebu). Bahan yang mengandung pati, glukosa dan serat selulosa dapat digunakan sebagai bahan bakar (Wusnah et al., 2016).

Bioetanol dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan dengan cara mencampurkannya dengan bensin atau menjadi gasohol. Angka oktan bioetanol lebih tinggi (128 RON) dibandingkan bensin Pertamina (92 RON). Dengan demikian apabila bioetanol dicampur dengan bensin, angka oktan bensin meningkat dan performa mesin juga meningkat. Berdasarkan manfaat dari bioetanol, pemerintah membuat Surat Keputusan (SK) Direktur Jenderal (Dirjen) Industri Minyak dan Gas No. 3674K/24/DJM/2006 tanggal 17 Maret 2006 yang

menyatakan bahwa penggunaan maksimal bioetanol sebesar 10% (untuk membuat gasohol E10). Berdasarkan kebijakan tersebut, *road map* industri bioetanol di Indonesia menunjukkan bahwa kebutuhan bioetanol semakin meningkat dari tahun ke tahun, berikut pada Tabel 1. 1. adalah *road map* industri bioetanol:

Tabel 1. 1. *Road Map* Penyediaan dan Pemanfaatan Bioetanol di Indonesia

Deskripsi	2006	2007	2008	2009	2010	2015	2020	2025
Konsumsi bensin (ribu kl)	17.170	18.370	19.660	21.000	22.510	31.570	44.280	62.110
Target <i>Blue Print</i>	343	367	393	420	4.106	947	2.214	3.106
Substitusi	1	4	7	10	10	10	10	10
- Persentase (%)								
- <i>Volume</i> (ribu kl)	172	735	1.376	2.100	2.251	3.157	4.428	6.221
Bahan baku								
- Singkong	138	588	1.100	1.680	1.800	2.526	3.542	4.969
- Sorgum	172	184	197	210	225	316	443	621
- Lain-lain	-	-	79	210	225	315	443	621
Real tanam								
- Singkong	37.674	160.524	300.300	458.640	458.400	689.598	966.966	1.356.537
- Sorgum	85.850	91.850	98.300	98.300	112.550	157.850	221.400	310.550

Sumber: Yuni Hendrawati et al., (2019)

Sebagai bahan pengganti bahan bakar minyak dalam transportasi (BBM), bioetanol menjadi perhatian di lebih dari 50 negara. Salah satu alasan penggunaan bioetanol dapat mengurangi polusi udara adalah residu dari pembakaran bioetanol menghasilkan gas rumah kaca/*greenhouse* gas (GRK) yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan pembakaran bahan bakar minyak.

## B. Molase

Tetes tebu (molase) adalah hasil samping proses pembuatan gula tebu. Tetes tebu berwujud cairan kental yang diperoleh dari tahap pemisahan Kristal gula. Tetes tebu masih mengandung gula dengan kadar tinggi (50–60%). Molase atau tetes tebu mengandung kurang lebih 60% selulosa dan 35,5% hemiselulosa. Kedua bahan polisakarida ini dapat dihidrolisis menjadi gula sederhana yang selanjutnya dapat difermentasi menjadi etanol (Loupaty, 2014).

Fermentasi dari senyawa pati maupun selulosa harus dikenakan perlakuan pendahuluan terlebih dahulu untuk mendapatkan senyawa gula sehingga tidak

efisien, berbeda dengan senyawa gula dalam molases yang langsung dikonversi menjadi etanol. Potensi molases di Indonesia cukup besar. Pada pemilihan bahan ini dapat ditentukan melalui data-data properti standar seperti menggunakan 16 brix, s.g. sebesar 1,4 dan pH yang digunakan adalah 5,5.

Molase memiliki sifat kimia yaitu mengandung banyak karbohidrat sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku proses fermentasi alkohol maupun fermentasi lain. Adapun sifat Fisika dari molase dapat dilihat pada Tabel 1. 2. berikut:

Tabel 1. 2. Sifat Fisika Molase

Sifat-sifat fisika	Nilai
<i>Density</i>	1.471 kg/m <sup>3</sup>
<i>Boiling point</i>	> 373 K
Viskositas	5.000 – 20.000 cps
pH	5
Wujud	Cairan kental
Bau	Rendah <i>caramel</i> , tidak tajam

Sumber: *Material Safety Data Sheet* Molase

### C. Ragi/khamir (*saccharomycess cerevisiae*)

Khamir (ragi) merupakan mikroorganisme yang bersel tunggal dengan panjang 1-5 µm sampai 20-50 µm, dan lebar 1-10 µm. Bentuk sel khamir bermacam-macam, yaitu bulat, oval, slinder, ogival yaitu bulat panjang dengan salah satu ujung runcing, segitiga melengkung (triangular), berbentuk botol, bentuk alpukat atau lemon, membentuk pseudomiselium, dan sebagainya. Ukuran dan bentuk sel khamir mungkin berbeda pada kultur yang sama, karena pengaruh umur sel dan kondisi lingkungan. Sel yang muda mungkin berbeda bentuknya dari yang tua karena adanya proses ontogeni yaitu perkembangan individu sel (Rochani et al., 2015).

Mikroorganisme yang digunakan untuk fermentasi bioetanol adalah *S. cerevisiae*. Spesies ini akan memecah gula menjadi etanol dan karbon dioksida penggunaan *S. cerevisiae* untuk proses fermentasi memerlukan pengkondisian kadar gula awal. Kadar gula sampel yang akan difermentasi tidak boleh lebih dari 20% karena dapat menghambat aktivitas khamir dan

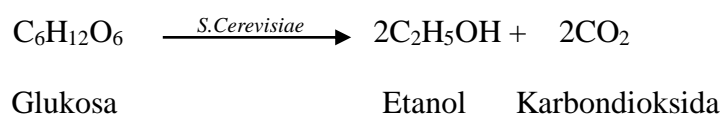
tidak sempurnanya produksi bioetanol. Kadar gula yang terlalu tinggi mengakibatkan waktu fermentasi lebih lama dan kemungkinan tidak seluruh gula diubah menjadi alkohol (Arif et al., 2016).

*Saccharomyces cerevisiae* tumbuh sangat baik pada suhu 293-303 K (20-30°C) dan pH antara 4,5 dan 5,5. Mengenai kebutuhan oksigen, *saccharomyces cerevisiae* merupakan mikroorganisme anaerob fakultatif dan umumnya tidak dapat tumbuh dengan baik di bawah kondisi benar-benar anaerobik. Hal ini karena oksigen diperlukan sebagai faktor pertumbuhan untuk membran biosintesis, khusus untuk biosintesis asam lemak (misalnya, asam oleat), sterol, dan ergosterol (Arif et al., 2016).

#### D. Fermentasi

Fermentasi dapat diartikan sebagai suatu proses dimana struktur kimia bahan organik diubah menggunakan aktivasi agen biologis, terutama enzim, sebagai biokatalis. Fermentasi merupakan proses metabolisme yang melibatkan perubahan kimia dalam bahan organik yang dihasilkan dari aktivitas enzimatik mikroorganisme. Fermentasi memainkan peran penting dalam proses pembuatan bioetanol, karena merupakan kunci (*key process*) dalam produksi bahan berbasis biologis. Bahan yang difermentasi merupakan hasil produk metabolisme sel mikroba, seperti antibiotik, asam organik, aldehida, alkohol, gangguan, minyak dan sebagainya. Proses fermentasi dapat terjadi secara aerob (membutuhkan oksigen) dan dapat bersifat anaerob (tidak membutuhkan oksigen).

Dalam pembuatan bioetanol terjadi reaksi pembentukan sesuai dengan persamaan berikut:



Tahap fermentasi merupakan langkah kedua dalam proses produksi bioetanol. Pada langkah ini, gula sederhana dipecah menjadi etanol dengan bantuan enzim dan ragi (Biomassa). Setelah proses pemurnian, gas CO<sub>2</sub> dapat dimanfaatkan menjadi bahan mentah dalam produksi minuman berkarbonasi. Proses fermentasi dapat dilakukan secara *batch*, *kontinyu* atau dalam *feed-batch*. Untuk

menghasilkan yield etanol 90% dari kadar gula teoritis memerlukan waktu sekitar 50 jam selama fermentasi *batch*, dengan pH awal 4,5 dan suhu 293-303 K. Hasil etanol akhir adalah sekitar 10-16% v/v. Fermentasi *batch* disebut juga fermentasi tertutup. Dalam fermentasi *batch*, tidak ada komponen substrat yang ditambahkan ke fermentor setelah inokulasi, selain oksigen atau udara steril, zat antibusa, dan asam atau basa untuk penyesuaian pH. Dalam fermentasi sistem *kontinyu*, sel-sel mikroba dibiarkan tumbuh dalam *batch* di media fermentasi sampai pertumbuhan logaritmik yang diinginkan tercapai, kemudian media segar dituangkan dan cairan kultur disekresikan. Fermentasi *Fed-batch* dilakukan dengan cara menambahkan media baru secara teratur ke biakan tertutup tanpa menghilangkan cairan biakan di dalam fermentor (Khurniawati et al., 2019).

Menurut (Khurniawati et al., 2019) faktor yang berpengaruh dalam proses fermentasi adalah sebagai berikut:

#### 1. Suhu

Suhu yang optimal untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan adalah 301-303 K. Panas meningkat selama fermentasi karena reaksinya eksotermis. Agar suhu fermentasi tidak meningkat maka harus didinginkan agar tetap pada suhu 301-303 K.

#### 2. Derajat keasaman (pH)

Untuk fermentasi alkohol, ragi membutuhkan lingkungan asam dengan pH 4,8-5,5 pH dapat diatur dengan menambahkan asam jika substratnya basa, atau dengan menambahkan basa jika substratnya asam.

#### 3. Nutrisi

Ragi yang melakukan proses fermentasi alkohol membutuhkan penambahan nutrisi untuk pertumbuhan dan reproduksinya, yaitu:

- a. Unsur C adalah faktor karbohidrat.
- b. Penambahan unsur N, pupuk yang mengandung nitrogen seperti ZA, urea, amonia dll.
- c. Unsur P dengan penambahan pupuk fosfat seperti NPK, TSP, DSP dll.

d. Mineral.

e. Vitamin.

#### 4. Konsentrasi gula

Proses fermentasi sangat dipengaruhi oleh kadar gula, kadar gula optimal yang diberikan untuk fermentasi adalah 25%, kadar gula yang digunakan awal adalah 16%.

#### 5. Konsentrasi starter

*Volume* awal yang baik untuk fermentasi adalah 1/10 dari *volume* substrat.

#### 6. Waktu fermentasi

Umumnya waktu yang dibutuhkan untuk fermentasi adalah 36-50 jam. Waktu fermentasi yang optimal adalah  $\pm 7$  hari. Jika lebih dari 7 hari maka konsentrasi bioetanol akan meningkat yang akan menyebabkan kematian bakteri.

Hal-hal tersebut harus diperhatikan agar proses fermentasi berjalan dengan lancar dan mampu mendapatkan hasil bioetanol sesuai dengan yang diharapkan.

### 1.2.1 Tinjauan termodinamika

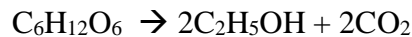
Tinjauan termodinamika digunakan untuk mengetahui sifat reaksi (eksotermis/endotermis). Penentuan panas reaksi yang berjalan secara eksotermis maupun endotermis dapat dihitung dengan perhitungan panas pembentukan standar ( $\Delta H^{\circ}_F$ ) pada  $P = 1$  atm dan  $T = 298$  K. Diketahui data energi pembentukan ( $\Delta H^{\circ}_F$ ) pada suhu 298 K dan tekanan  $101.325 \text{ N/m}^2$  (1 atm) sebagai berikut:

Tabel 1. 3. Tabel Data  $\Delta H^{\circ}_F$

Komponen	$\Delta H^{\circ}_F$ (kJ/mol)
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	-1.262,2
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	-277.690
$\text{CO}_2$	-413,8

Sumber: Smith dkk., Hal 656 Appendix C

Reaksi yang terjadi:



$$\begin{aligned}\Delta H^\circ_{\text{F}} 298 \text{ K} &= [\Delta H^\circ_{\text{F}} \text{ produk}] - [\Delta H^\circ_{\text{F}} \text{ reaktan}] \\ &= \Sigma [n \cdot \Delta H^\circ_{\text{F}} \text{ produk}] - \Sigma [\Delta H^\circ_{\text{F}} \text{ reaktan}] \\ &= [(2 \times \Delta H^\circ_{\text{F}} \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH}) + (2 \times \Delta H^\circ_{\text{F}} \text{ CO}_2)] - [1 \times \Delta H^\circ_{\text{F}} \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6] \\ &= [(2 \times -277.690) + (2 \times -413,8)] - [1 \times -1.262,2] \\ &= -554.945,4 \text{ kJ/mol} \\ &= -132.635,1338 \text{ kkal/mol}\end{aligned}$$

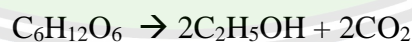
Karena  $\Delta H^\circ_{\text{F}} 298 \text{ K}$  bernilai negatif maka reaksi bersifat eksotermis sehingga reaksi melepaskan panas. Untuk mengetahui apakah reaksi yang bereaksi bersifat bolak-balik (*reversible*) atau searah (*irreversible*) dapat ditentukan dengan menghitung nilai Energi Gibbs ( $\Delta G$ ). Diketahui data ( $\Delta G^\circ_{\text{F}}$ ) pada suhu 298 K dan tekanan 101.325 N/m<sup>2</sup> (1 atm) sebagai berikut:

Tabel 1. 4. Tabel Data  $\Delta G^\circ_{\text{F}}$

Komponen	$\Delta G^\circ_{\text{F}}$ (kJ/mol)
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	-915,9
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	-174.780
CO <sub>2</sub>	-386

Sumber: Smith dkk., Hal 656 Appendix C

Reaksi yang terjadi:



$$\begin{aligned}\Delta G^\circ_{\text{F}} 298 \text{ K} &= [\Delta G^\circ_{\text{F}} \text{ produk}] - [\Delta G^\circ_{\text{F}} \text{ reaktan}] \\ &= \Sigma [n \cdot \Delta G^\circ_{\text{F}} \text{ produk}] - \Sigma [\Delta G^\circ_{\text{F}} \text{ reaktan}] \\ &= [(2 \times \Delta G^\circ_{\text{F}} \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH}) + (2 \times \Delta G^\circ_{\text{F}} \text{ CO}_2)] - [1 \times \Delta G^\circ_{\text{F}} \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6] \\ &= [(2 \times -174.780) + (2 \times -386)] - [1 \times -915,9] \\ &= -349.416,1 \text{ kJ/mol} \\ &= -83.512,544 \text{ kkal/mol}\end{aligned}$$

Mencari  $\Delta G$  pada suhu fermentor rata rata 299 K (26°C)

$$\ln K_{299\text{ K}} = - \frac{\Delta G_{299\text{ K}}}{R \times T}$$

$$\begin{aligned} \Delta G_{299\text{ K}} &= - R \times T \times \ln K_{299\text{ K}} \\ &= - 1,987 \times 299 \times \ln 8,45 \times 10^{60} \\ &= - 83.347,68 \text{ Kkal/mol} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas  $\Delta G^\circ_{298\text{ K}}$  dan  $\Delta G^\circ_{299\text{ K}}$  bernilai negatif maka dapat disimpulkan bahwa reaksi pembentukan bioetanol dapat terjadi dan bersifat spontan. Perhitungan harga konstanta kesetimbangan reaksi dapat ditinjau dari rumus sebagai berikut:

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K$$

Atau

$$\ln K = - \frac{\Delta G}{RT}$$

Dimana:

$\Delta G^\circ$  = Energi bebas gibbs standar di reaktor (-83.512,544 kkal/mol)

R = Tetapan gas ideal (1,987 x 10<sup>-3</sup> kkal/mol.K)

T = Suhu pada 298 K (25°C)

T<sub>1</sub> = Suhu pada 299 K (26°C)

K<sub>298</sub> = Konstanta kesetimbangan pada 298 K (25°C)

K<sub>299</sub> = Konstanta kesetimbangan di reaktor pada 299°K (26 °C)

Dari persamaan diatas dapat dihitung konstanta kesetimbangan pada T<sub>referensi</sub> 298 K adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} K_{298} &= \exp \left[ - \frac{\Delta G}{R \times T} \right] \\ &= \exp \left[ - \frac{-83512,544}{1,987 \times 298} \right] \\ &= 1,78748 \times 10^{61} \end{aligned}$$

Reaksi pada fermentor dijalankan pada suhu 26°C (299 K), maka konstanta kesetimbangan pada suhu 26°C dapat dihitung sebagai berikut :

$$\frac{K_{299k}}{K_{298k}} = \exp - \frac{\Delta H_{f298K}}{R} \times \left[ \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]$$

$$\frac{K_{299k}}{1,78748 \times 10^{61}} = \exp - \frac{-132.635,1338}{1,987} \times \left[ \frac{1}{299} - \frac{1}{298} \right]$$

$$\frac{K_{299k}}{1,78748 \times 10^{61}} = \exp (66.751,45) \times (-0,0000112231)$$

$$\frac{K_{299k}}{1,78748 \times 10^{61}} = \exp (0,749158)$$

$$K_{299k} = 0,47276 \times 1,78748 \times 10^{61}$$

$$K_{299k} = 8,45 \times 10^{60}$$

$$K > 1$$

Harga K pada suhu 299 K sebesar  $8,45 \times 10^{60}$  atau  $K > 1$ , menunjukkan bahwa reaksi pembentukan bioetanol bersifat searah (*Irreversibel*). Reaksi bersifat *irreversible* berarti reaksi yang berlangsung dari reaktan ke arah produk dan produk yang telah bereaksi tidak dapat bereaksi kembali menjadi zat asalnya.

### 1.2.2 Tinjauan kinetika

Reaksi Fermentasi:



Menurut Wei Youh Kuu (1982, dalam Putro & Yohanes Sigit Kurniawan, 2012) pembentukan produk pada proses fermentasi mengikuti metode persamaan monod untuk mempermudah proses perhitungan. Laju perubahan glukosa oleh *yeast cell* menjadi etanol dapat ditulis melalui persamaan umum laju reaksi.

Persamaan kecepatan reaksi (*Monod's Equation*):

$$-r_A = \frac{K_z \cdot Y_m \cdot S}{(K_m + S + \frac{S^2}{K_s})(1 + \frac{P}{K_p})}$$

Keterangan:

$-r_A$  : Kecepatan reaksi pengurangan  $C_6H_{12}O_6$  ( $Kg/m^3 \cdot jam$ )

$K_z$  : Konstanta kecepatan reaksi

$Y_m$  : *Fermentation power*

$K_m$  : Konstanta kecepatan reaksi

$K_s$  : Konstanta kecepatan reaksi

$K_p$  : Konstanta kecepatan reaksi

$S$  : Konsentrasi substrat  $C_6H_{12}O_6$  ( $Kg/m^3$ )

$P$  : Konsentrasi produk  $C_2H_5OH$  ( $Kg/m^3$ )

Nilai yang sudah diketahui pada persamaan kinetik tersebut antara lain:

$K_z = 1,047 \text{ jam}^{-1}$

$K_m = 1,197 \text{ kg/m}^3$

$K_s = 1.025 \text{ kg/m}^3$

$K_p = 145,2 \text{ kg/m}^3$

$Y_m = 50 \text{ kg/m}^3$

### 1.2.3 Kapasitas produksi

Penentuan kapasitas produksi ini ditinjau dari beberapa pertimbangan, antara lain:

A. Kebutuhan/pemasaran produk di Indonesia

1. Data impor dan ekspor

Data Impor adalah data kebutuhan bioetanol di Indonesia berasal dari luar negeri yang dapat dilihat pada Tabel 1. 5. Sedangkan untuk ekspor adalah hasil bioetanol yang di jual keluar negeri data tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. 6.

Tabel 1. 5. Tabel Data Impor Bioetanol Indonesia

No.	Tahun	Kebutuhan (Ton/tahun)
1.	2017	3.797,83
2.	2018	818,928
3.	2019	487,426
4.	2020	22.431,9879
5.	2021	42.431,163

Sumber: bps.go.id

Tabel 1. 6. Data Ekspor Bioetanol Indonesia

No.	Tahun	Kebutuhan (Ton/tahun)
1.	2017	50.462,601
2.	2018	49.606,78
3.	2019	54.788,454
4.	2020	36.370,892
5.	2021	64.342,804

Sumber: bps.go.id

2. Data produksi dan konsumsi dalam negeri

Untuk data produksi dalam negeri merupakan hasil kapasitas perusahaan bioetanol yang telah berdiri, dapat dilihat pada Tabel 1. 7. Sedangkan konsumsi dalam negeri merupakan kebutuhan bioetanol yang digunakan di Indonesia. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. 8.

Tabel 1. 7. Produksi Bioetanol Indonesia

No.	Nama Usaha	Kebutuhan (Ton/tahun)
1.	PT Energi Agro Nusantara	22.980
2.	PT Indo Acidatama TBK	45.059,95
3.	PT Kao Indonesia Chemicals	2.000
4.	PT PG Rajawali II	2.298

No.	Nama Usaha	Kebutuhan (Ton/tahun)
5.	PT Karsavita Satya	7.660
6.	PT. Molindo Raya Industrial	61.280
<b>Total</b>		<b>141.277,95</b>

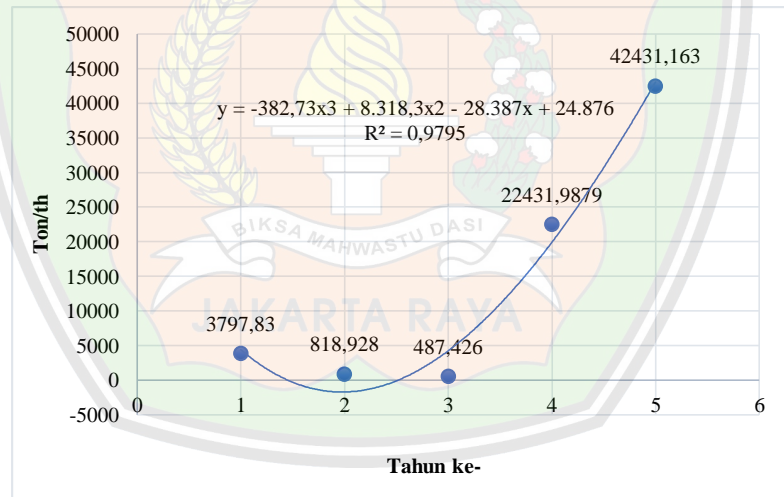
Sumber: Tkdn.Kemenperin.go.id

Tabel 1. 8. Data Konsumsi Bioetanol Indonesia

No.	Tahun	Kebutuhan (Ton/tahun)
1.	2011	496.503,58
2.	2012	631.571,86
3.	2013	782.947,10
4.	2014	650.680,41
5.	2015	582.029,77

Sumber: Indexbox.io

Berdasarkan data impor, ekspor, dan konsumsi bioetanol di Indonesia, dilakukan beberapa pendekatan dan didapatkan pendekatan dengan proyeksi dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 1. 1. Grafik Impor Pendekatan Polinomial

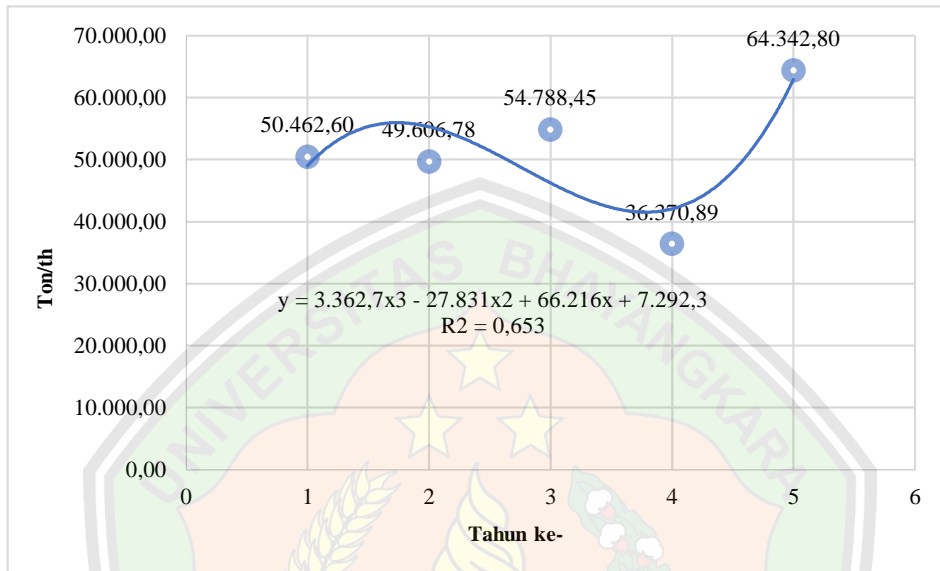
$$y = -382,73x^3 + 8.318,3x^2 - 28.387x + 24.876$$

$$R^2 = 0,9795$$

$$x = 2027-2022$$

$$x = 5$$

$$\begin{aligned}
\text{Maka nilai, Impor (m}_1\text{)} &= -382,73 X^3 + 8.318,3X^2 - 28.387X + 24.876 \\
&= -382,73 (5)^3 + 8.318,3X^2 (5)^2 - 28.387(5) + \\
&\quad 24.876 \\
&= -47.841,25 + 207.957,5 - 141.935 + 24.876 \\
&= 43.057,25 \text{ ton/tahun}
\end{aligned}$$



Gambar 1. 2. Grafik Ekspor Pendekatan Polinomial

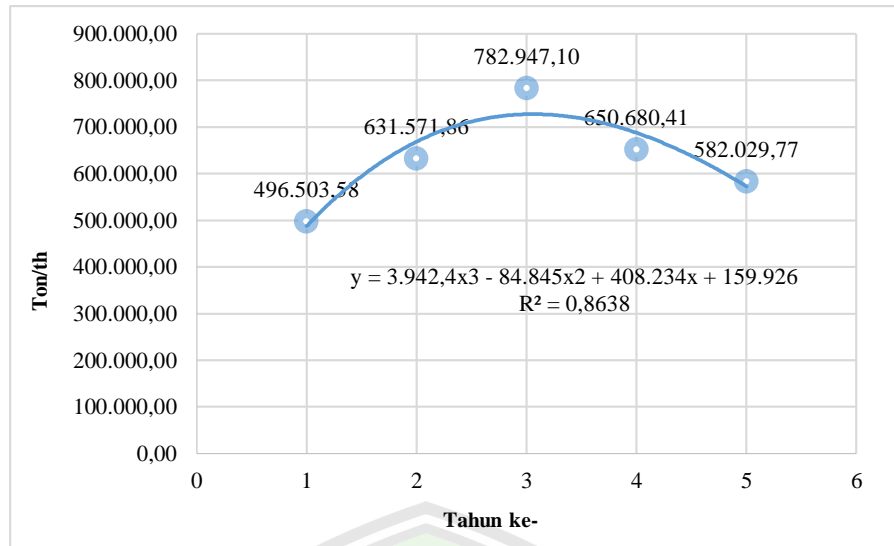
$$y = 3.362,7x^3 - 27.831x^2 + 66.216x + 7.292,3$$

$$R^2 = 0,653$$

$$x = 2027-2022$$

$$x = 5$$

$$\begin{aligned}
\text{Maka nilai, Ekspor (m}_4\text{)} &= 3.362,7 X^3 - 27.831X^2 + 66.216X + 7.292,3 \\
&= 3.362,7 (5)^3 - 27.831(5)^2 + 66.216(5) + 7.292,3 \\
&= 420.337,5 - 695.775 + 331.080 + 7.292,3 \\
&= 62.934,8 \text{ ton/tahun}
\end{aligned}$$



Gambar 1. 3. Konsumsi Pendekatan Polinomial

Konsumsi dalam negeri dapat dihitung menggunakan rumus persamaan (Kusnarjo, 2010), sebagai berikut:

Diketahui:

$$P = 582.029,77$$

$$n = 5$$

$$\text{Pertumbuhan 1} = \frac{631.571,86 - 496.503,58}{496.503,58} \times 100\% = 27,2\%$$

$$\text{Pertumbuhan 2} = \frac{782.947,10 - 631.571,86}{631.571,86} \times 100\% = 23,97\%$$

$$\text{Pertumbuhan 3} = \frac{650.680,41 - 782.947,10}{782.947,10} \times 100\% = -16,89\%$$

$$\text{Pertumbuhan 4} = \frac{582.029,77 - 650.680,41}{650.680,41} \times 100\% = -10,55\%$$

$$P_{\text{total}} = 23,73$$

$$P_{\text{rata-rata}} = \frac{23,73\%}{4} = 5,9325\%$$

Dimana:

$$P_{\text{rata rata}} = i$$

$$\begin{aligned} \text{Maka nilai, konsumsi (m}_5) &= P (1 + i)^n \\ &= 582.029,77 (1 + 0,059)^5 \\ &= 775.220 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Kapasitas produksi bioetanol pada tahun 2027 dapat juga dihitung menggunakan rumus persamaan berikut (Kusnarjo, 2010):

$$m_1 + m_2 + m_3 = m_4 + m_5$$

$$m_3 = (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2)$$

Dimana:

$$m_1 \text{ (Impor)} = 43.057,25 \text{ ton/tahun}$$

$$m_2 \text{ (Produksi pabrik lama)} = 141.277,95 \text{ ton/tahun}$$

$$m_3 \text{ (Produksi pabrik baru)} = ?$$

$$m_4 \text{ (Ekspor)} = 62.934,8 \text{ ton/tahun}$$

$$m_5 \text{ (Konsumsi)} = 775.220 \text{ ton/tahun}$$

Maka nilai, kapasitas produksi ( $m_3$ ) adalah:

$$\begin{aligned} m_3 &= (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2) \\ &= (62.934,8 + 775.220) - (43.057,25 + 141.277,95) \\ &= 653.819,6 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan, untuk banyaknya kapasitas produksi bioetanol yang akan didirikan hanya sebesar 3,5% dari total kapasitas perhitungan. Maka kami memutuskan untuk mendirikan pabrik pembuatan bioetanol dengan kapasitas 23.000 ton/tahun guna untuk memenuhi kebutuhan bioetanol Indonesia.