

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang Pendirian Pabrik

Indonesia adalah satu dari beberapa negara berkembang yang ada di dunia, sebagai salah satu negara berkembang Indonesia telah mengalami banyak kemajuan di semua bidang. Hingga saat ini perkembangan industri Indonesia mengalami peningkatan, termasuk perkembangan subsektor industri kimia. Perkembangan industri kimia di Indonesia makin lama makin berkembang dan meningkat, contohnya yaitu industri cat, industri makanan, industri plastik dan industri lainnya. Untuk mencukupi kebutuhan bahan kimia yang digunakan sebagai bahan baku dan bahan akhir dalam industri kimia, Indonesia masih bergantung pada negara lain termasuk Pentaeritritol. Dengan berkembangnya industri di Indonesia, kebutuhan Pentaeritritol terus meningkat. Meskipun konsumsi Pentaeritritol di Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya, akan tetapi masyarakat Indonesia sendiri tidak mampu menutupi konsumsi Pentaeritritol. Indonesia perlu mengimpor Pentaeritritol untuk memenuhi kebutuhannya dan salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan membangun pabrik industri Pentaeritritol, yang bertujuan untuk mengurangi ketergantungan terhadap negara lain dan memenuhi kebutuhan dalam negeri tanpa menutup kemungkinan ekspor ke luar negeri.

Pentaeritritol adalah zat kimia dengan rumus molekul  $C_5H_{12}O_4$  yang didapatkan dari kondensasi antara Asetaldehida, Formaldehida dan Natrium Hidroksida. Kegunaan Pentaeritritol yang utama adalah untuk digunakan dalam industri cat dan pernis. Kegunaan Pentaeritritol lainnya adalah untuk industri tinta, zat perekat/*sealant*, *plasticizer*, dan pelumas. Pada *surface coating*, penambahan Pentaeritritol dapat meningkatkan viskositas, kekerasan, daya tahan, kecepatan pengeringan, dan memberikan sifat anti air. Cat yang mengandung Pentaeritritol mempunyai kerekatan yang bagus dan tahan cuaca.

Pabrik Pentaeritritol ini direncanakan pada tahun 2028 untuk memitigasi dan memenuhi kebutuhan nasional. Pembangunan pabrik ini juga diharapkan

dapat memberikan dampak positif terhadap munculnya pabrik-pabrik manufaktur Asetaldehida, Formaldehida, dan Natrium Hidroksida. Dengan pendirian pabrik tersebut diharapkan bisa menambah devisa negara serta menanggulangi masalah terkait pengangguran.

## I.2. Penentuan Kapasitas Pabrik

### I.2.1. Kebutuhan Pentaeritritol

Kebutuhan Pentaeritritol di Indonesia cenderung kurang stabil pada 11 tahun terakhir. Penggunaan Pentaeritritol di Indonesia dapat dilihat dari data impor Pentaeritritol Badan Pusat Statistik (BPS) sebagai berikut:

Tabel I. 1 Kebutuhan Pentaeritritol Tahun 2012-2022

No	Tahun	Impor (ton)	Perkembangan
1	2012	4703,739	-
2	2013	5550,894	0,1801
3	2014	5269,261	0,1202
4	2015	5083,862	0,0808
5	2016	5133,349	0,0913
6	2017	5628,687	0,1966
7	2018	5952,499	0,2655
8	2019	5022,339	0,0677
9	2020	5024,129	0,0681
10	2021	5863,498	0,2466
11	2022	4863,411	0,0339
12	Total		1,3510
13	Rata-rata peningkatan pertahun		0,1351

Sumber: <https://www.bps.go.id> Tahun 2012-2022

Dari Tabel I.1 diatas, dapat diperkirakan kebutuhan impor Pentaeritritol di Indonesia pada tahun 2028 adalah :

$$\begin{aligned}
 F &= F_0 (1 + i)^n \\
 &= 4863,411 (1 + 0,1351)^6 \\
 &= 10.402,4431 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

Dimana :

F = Perkiraan kebutuhan Pentaeritritol tahun 2028

F<sub>0</sub> = Kebutuhan Pentaeritritol pada tahun terakhir (2022)

i = Perkembangan rata-rata

n = selisih tahun terakhir dan perancangan

(Peter and Timmerhous, 1991)

Sehingga dari persamaan tersebut didapatkan prediksi produksi Pentaeritritol pada tahun 2028 yaitu sebesar 15.000 ton/tahun.

### 1.2.2. Kapasitas Pabrik yang Sudah Berdiri

Daftar data kapasitas produksi pabrik Pentaeritritol di dunia, ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel I. 2 Kapasitas Pabrik Pentaeritritol yang Telah Berdiri

No	Produsen	Negara	Kapasitas (ton/tahun)
1	Perstorp	Jerman	36.000
2	Hercules	US	22.000
3	Copenor	Brazil	12.000
4	Liyang Ruiyang Chemical	China	10.000
5	Kanoria Chemicals & Industries	India	5.000

Berdasarkan tinjauan pabrik yang ada dan masih terdapatnya kekurangan kebutuhan produk Pentaeritritol di Indonesia, maka diputuskan untuk mendirikan pabrik Pentaeritritol di Indonesia pada tahun 2028 dengan kapasitas 15.000 ton per tahun.

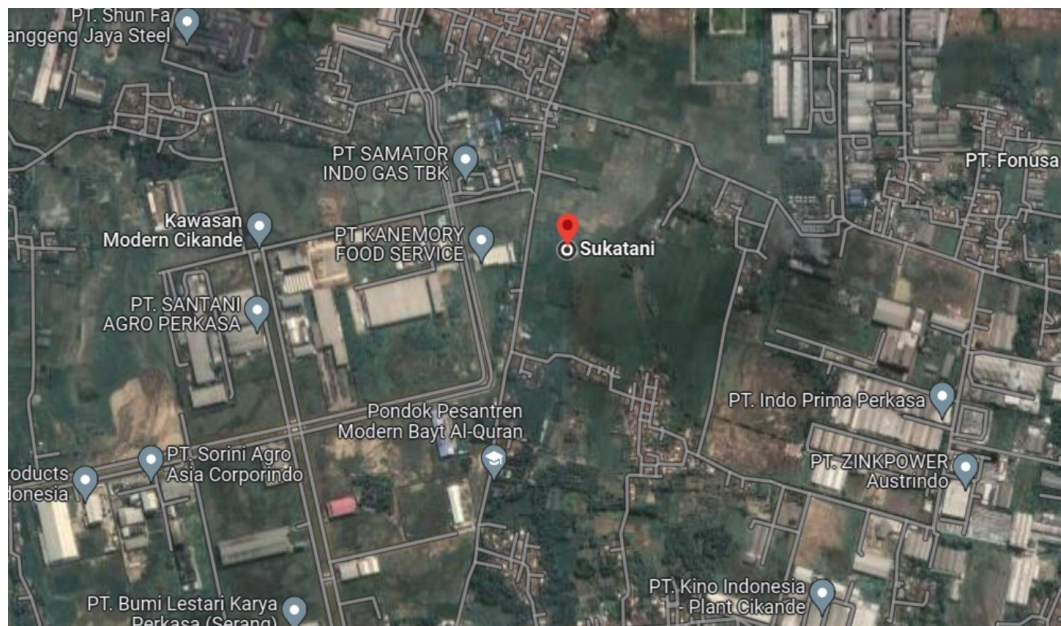
Kapasitas produksi dirancang dengan didasarkan pada :

- 1) Konsumsi Pentaeritritol dalam negeri dan peluang ekspor guna memenuhi kebutuhan Pentaeritritol di Indonesia yang selama ini masih mengimpor dari negara luar dan sebagian diekspor ke negara lain, sehingga akan dapat memperbesar devisa negara.
- 2) Kapasitas produksi terkecil di dunia sebanyak 5.000 ton/tahun dan kapasitas produksi terbesar di dunia yaitu sebanyak 36.000 ton/tahun. Pada tahun 2028, rencana pabrik akan didirikan pada rentang kapasitas produksi

terbesar dan terkecil di dunia yaitu sebesar 15.000 ton/tahun untuk pendirian pabrik Pentaeritritol.

### I.3. Pemilihan Lokasi Pabrik

Dalam mendirikan sebuah pabrik, menentukan lokasi berdirinya itu sangatlah penting. Hal ini disebabkan adanya pengaruh persaingan pasar yang menentukan kelangsungan produksi.



Gambar I. 1 Lokasi Pendirian Pabrik

Pabrik Pentaeritritol dirancang untuk didirikan di daerah Kabupaten Serang, Banten tepatnya di Kawasan Industri Modern Cikande. Dalam memilih lokasi untuk mendirikan pabrik, ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan, seperti ketersediaan bahan baku, pilihan transportasi, dan lain-lain. Utamanya, lokasi yang dipilih bisa membuka peluang memperluas atau memperbesar pabrik dan memberikan keuntungan berkepanjangan. Daerah tersebut dipilih dengan beberapa pertimbangan berikut:

#### a. Ketersediaan Bahan Baku

Kelangsungan hidup suatu pabrik ditentukan oleh lokasi bahan bakunya. Sumber bahan baku harus berdekatan dengan lokasi pabrik, dan bahan baku yang digunakan adalah Formaldehida, Asetaldehida, dan

Natrium Hidroksida. Kebutuhan Formaldehida dipenuhi oleh PT. Dover Chemical Banten, Asetaldehida dibeli dari PT. Indo Acidatama, Surakarta, dan Natrium Hidroksida dapat dibeli dari PT. Sulfindo Adiusaha Banten. Selain itu, Asam Formiat dipasok oleh PT. Cintas Kurama Perdana, Cikampek. Apabila bahan baku tersebut tersedia maka dapat memenuhi kebutuhan pendirian pabrik Pentaeritritol.

b. Sarana Transportasi

Bagi suatu industri, salah satu bagian terpenting adalah transportasi. Kota Serang sendiri memiliki fasilitas yang memenuhi kebutuhan transportasi impor dan ekspor terutama di dekat pelabuhan, jalan raya dan jalan tol yang memperlancar pengangkutan dan distribusi terhadap produk dan bahan baku.

c. Pemasaran

Tujuan dari pemasaran produk sebagian besar adalah demi memenuhi keperluan impor dalam negeri, yang menjadi prioritas utama pemasaran Pentaeritritol ini yaitu *surface coating*, industri cat, *resin alkyl*, dan sebagian lainnya untuk diekspor ke luar negeri.

d. Ketersediaan Sarana Utilitas

Kebutuhan utilitas yang diperlukan untuk kebutuhan pabrik ialah keperluan air, bahan bakar, dan listrik. Untuk kebutuhan akan listrik sudah tersedia dikarenakan Serang adalah kawasan industri. Untuk memenuhi kebutuhan air, dipenuhi oleh PT. Sarana Catur Tirta Kelola (SCTK) untuk kebutuhan akan air yang bersumber dari Sungai Ciujung. Sedangkan untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar kendaraan, bahan bakar solar kini tersedia di Pertamina dan distributornya.

e. Tenaga kerja

Ketersediaan tenaga kerja di kawasan Serang mudah tercukupi, dikarenakan masih tersedianya tenaga kerja yang memadai, baik dari buruh kasar, menengah maupun tenaga ahli.

f. Kebijakan Pemerintah

Kawasan daerah Serang merupakan wilayah yang dikhususkan untuk daerah Industri oleh Pemda Provinsi Banten. Oleh karena itu, pemerintah daerah setempat perlu mempermudah untuk pendirian industri baru di daerah tersebut, terutama izin pembangunan pabrik baru di kawasan industri tersebut.

g. Keadaan masyarakat

Keberadaan sejumlah pabrik di Serang sudah menjadi kebiasaan bagi masyarakat. Bahkan, masyarakat juga memperoleh manfaat dari pendirian pabrik ini, seperti mendapatkan pekerjaan dan dapat meningkatkan kesejahteraan bagi masyarakat.

h. Karakteristik lokasi

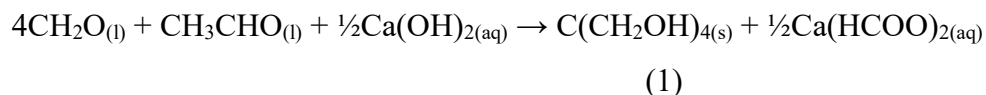
Ketersediaan tanah yang relatif luas dapat diproyeksikan untuk perluasan dan pengembangan pabrik di masa mendatang. Lokasi pembangunan pabrik harus berlokasi di daerah yang minim atau stabil terjadinya bencana alam seperti banjir, gempa bumi, dan tanah longsor. Keberadaan masyarakat setempat di lokasi pabrik juga berpengaruh, karena diharapkan masyarakat dapat memberikan dukungan dalam operasional dan pembangunan pabrik tersebut.

Pada penentuan maupun pemilihan lokasi pabrik, termasuk salah satu faktor dalam pembangunan suatu pabrik, karena dalam penentuan lokasi, sangat menentukan keberlanjutan dan pengembangan pabrik dalam aspek ekonomi maupun kesejahteraan di lingkungan pabrik di masa mendatang, agar dapat berkembang lebih maju lagi. Lokasi yang dipertimbangkan dapat memberikan keuntungan yang baik dalam suatu perusahaan. Diantaranya terdapat aspek-aspek yang mencakup pada kebutuhan pemasaran, bahan baku, fasilitas transportasi, iklim, air, tenaga kerja, kebijakan pemerintahan dan sarana komunikasi.

#### **I.4. Tinjauan Pustaka**

Dalam proses pembuatan Pentaeritritol terdapat dua macam proses pembuatan yaitu :

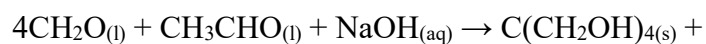
1. Pentaeritritol dibuat dengan mereaksikan Formaldehida dan Asetaldehida dengan Kalsium Hidroksida. Metode pertama (Keyes, 1961) mereaksikan Formaldehida dan Asetaldehida dengan Kalsium Hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) untuk menghasilkan Pentaeritritol. Reaksi yang terjadi di dalam reaktor menurut Keyes (1961) yaitu :



Campuran reaksi yang berasal dari reaktor dialirkan ke dalam tangki netralisasi (*Neutralizer*) dan ditambahkan Natrium *carbonate* ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) untuk mengubah kandungan Kalsium hidroksida yang berlebih untuk mengikat ion Kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) menjadi Kalsium *carbonate* ( $\text{CaCO}_3$ ) dan terbentuk endapan. Endapan yang terjadi disaring di dalam *Centrifuge*. Filtrat hasil penyaringan kemudian dipekatkan dalam *Evaporator*. Dari sini larutan yang dihasilkan kemudian dikeringkan dalam *dryer*. Produk dari *dryer* siap untuk dikemas. Kristal dalam proses ini warnanya tidak putih, karena produk reaksi samping, sehingga perlu proses pemurnian lebih lanjut. Proses ini memerlukan penggunaan alat tambahan. Hal ini meningkatkan biaya peralatan, membuat prosesnya menjadi tidak ekonomis. Untuk harga kalsium hidroksida memiliki harga 0,5 us dollar per kg dan bisa didapatkan dari alam, sedangkan untuk natrium hidroksida memiliki harga 1 us dollar per kg, sehingga kalsium hidroksida memiliki harga lebih murah daripada natrium hidroksida.

2. Pentaeritritol dibuat menggunakan asam sebagai pengganti soda. Metode kedua menggunakan Asam Formiat sebagai pengganti Natrium *carbonate* untuk menghasilkan Pentaeritritol. Pentaeritritol dibuat dengan mereaksikan Formaldehida dan Asetaldehida dengan Natrium Hidroksida. Asam Formiat kemudian digunakan untuk menetralkan sisa Natrium Hidroksida menjadi Natrium Formiat. Berikut reaksi kimia yang terjadi pada pembuatan Pentaeritritol:

Reaksi utama pembentukan Pentaeritritol dalam reaktor adalah:





Natrium Hidroksida ditambahkan ke dalam larutan Formaldehida dan Asetaldehida disertai dengan pengadukan. Asam Formiat kemudian ditambahkan pada outlet reaktor supaya menetralkan sisa alkali dalam bentuk Natrium Hidroksida. Setelah dinetralkan, larutan tersebut selanjutnya diuapkan dan dipisahkan menjadi produk utama dan produk samping berupa Natrium Formiat. Sementara itu untuk produk utamanya akan dikristalisasi dan dikeringkan sampai diperoleh Pentaeritritol padat (Faith and Keyes, 1961).

#### 1.4.1. Pemilihan Proses

Berdasarkan dua proses yang ada, dipilih proses kedua yaitu proses pembuatan Pentaeritritol dibuat dengan menggunakan asam sebagai pengganti soda abu.

Tabel I. 3 Perbandingan Proses Pembuatan Pentaeritritol

No	Parameter	Proses Pembuatan Pentaeritritol	
		Proses I	Proses II
1	Reaksi	$4\text{CH}_2\text{O} + \text{CH}_3\text{CHO} + \frac{1}{2}\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{C}(\text{CH}_2\text{OH})_4 + \frac{1}{2}\text{Ca}(\text{HCOO})_2$	$4\text{CH}_2\text{O} + \text{CH}_3\text{CHO} + \text{NaOH} \rightarrow \text{C}(\text{CH}_2\text{OH})_4 + \text{HCOONa}$
2	Bahan baku	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formaldehida</li> <li>- Asetaldehida</li> <li>- Kalsium Hidroksida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formaldehida</li> <li>- Asetaldehida</li> <li>- Natrium Hidroksida</li> </ul>
3	Kondisi operasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suhu: 50 °C</li> <li>- <i>Pressure</i> : 1 atm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suhu: 45 °C</li> <li>- <i>Pressure</i> : 2 atm</li> </ul>
4	<i>Yield</i>	80 %	90 %
5	Keuntungan	Harga bahan lebih murah	Memiliki <i>Yield</i> lebih tinggi
6	Kerugian	Produk yang didapatkan memiliki warna yang tidak putih	Harga bahan lebih mahal

Keuntungan dari metode kedua adalah (Maity and Siddharth, 2009):

1. Hasil yield 85-90% dapat dicapai.
2. Mudah mengubah ion Natrium menjadi Natrium Formiat.



3. Natrium Formiat sebagai produk sampingannya, memiliki banyak manfaat sebagai pemutih, pelumas, dan pengubah viskositas, serta dapat digunakan sebagai bahan baku produksi Asam Formiat.

#### 1.4.2. Kegunaan Produk

Pentaeritritol adalah sebuah produk *intermediate* yang merupakan bahan baku pada sebuah industri pengolahan.

Tabel I. 4 Kegunaan Produk di Industri

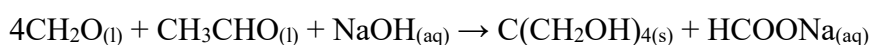
Jenis Industri	Proses Pemakaian Pentaeritritol
<i>Resin alkyl</i>	Esterifikasi penyusunan resin dengan asam dibasa. Alkohol berisi asam tak jenuh
Versin	Esterifikasi menghasilkan resin ester
<i>Explosive</i>	Reaksi nitrasi menciptakan senyawa trinitrat yang mudah meledak.
Farmasi	Reaksi nitrasi menciptakan sebuah senyawa trinitrat, yang diproduksi untuk kebutuhan di bidang farmasi.
Pelumas mesin	Digunakan sebagai bahan pembuatan pelumas.
Tekstil	Digunakan untuk menghaluskan serat.

Saat ini, Pentaeritritol digunakan dalam produksi cat dan pelapis permukaan. Minyak pengering atau minyak semi kering atau asam lemak banyak digunakan sebagai campuran pelapis permukaan, Pentaeritritol ini mempunyai kelebihan seperti cepat kering, kilap, kekerasan yang baik, daya tahan, tahan air dan tahan alkali. Selain itu, Pentaeritritol juga digunakan dalam berbagai produk seperti cat, pernis, tinta cetak, pelapis lantai, dan perekat lainnya (Kirk Othmer, 1998).

#### 1.4.3. Tinjauan Kinetika



Di mana, F = Formaldehida, A = Asetaldehida, SH = Natrium Hidroksida, P = Pentaeritritol, dan SF = Natrium Formiat. Reaksi:



Persamaan kecepatan reaksi:

$$\frac{d[C(\text{CH}_2\text{OH})_4]}{dt} = k[\text{CH}_2\text{O}][\text{CH}_3\text{CHO}][\text{NaOH}]$$

$$-r_a = k \cdot C_a \cdot C_b \cdot C_c$$

dengan,

-ra = kecepatan reaksi (kmol/L.jam)

k = konstanta kecepatan reaksi ( $\text{L}^2/\text{kmol}^2 \cdot \text{jam}$ )

Ca = konsentrasi  $\text{CH}_3\text{CHO}$

Cb = konsentrasi  $\text{CH}_2\text{O}$

Cc = konsentrasi NaOH

$$C_a = 4C_{a0} \quad X_a = 4C_{a0} (1 - X_a)$$

$$C_b = C_{b0} - C_{a0} \cdot X_a = C_{a0} (M - X_a)$$

$$C_c = C_{c0} - C_{a0} \cdot X_a = C_{a0} (N - X_a)$$

$$M = C_{b0} / C_{a0}$$

$$N = C_{c0} / C_{a0}$$

Reaksi yang menghasilkan Pentaeritritol merupakan reaksi orde 3 terhadap Asetaldehida. Nilai konstanta laju reaksi adalah :

$$k = A \cdot e^{-E/RT} \quad (\text{L}^2/\text{mol}^2 \cdot \text{jam})$$

Reaksi Cannizzaro mendapatkan:

dengan,

A = frekuensi faktor ( $1,82 \times 10^{17}$  at  $30^\circ\text{C}$ )

E = energi aktivasi (22.800 cal/mol)

R = konstanta gas (1,987 cal/mol.K)

T = Suhu (K)

(Peter & Cupit, 1959)

Suhu operasi yang digunakan sebesar  $45^\circ\text{C}$  (318 K), sehingga didapatkan nilai k sebesar:

$$k = A \cdot e^{-E/RT} \quad (\text{L}^2/\text{mol}^2 \cdot \text{jam})$$

$$k = 1,82 \times 10^{17} \exp\left(-\frac{22800}{1,987 \times 318\text{K}}\right) \text{L}^2/\text{mol}^2 \cdot \text{jam}$$

$$k = 38,8296 \text{L}^2/\text{mol}^2 \cdot \text{jam} = 38829609,1565 \text{L}^2/\text{kmol}^2 \cdot \text{jam}$$

sehingga dapat dituliskan kecepatan reaksi sebagai berikut :

$$-r_a : k \cdot C_{AO} \cdot C_{BO} \cdot C_{CO}$$

$$-r_a : k \cdot C_{AO} (1-X) \cdot C_{AO} \left( \frac{C_{BO}}{C_{AO}} - 4X \right) \cdot C_{AO} \left( \frac{C_{CO}}{C_{AO}} - X \right)$$

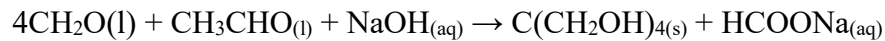
$$-r_a : k \cdot C_{AO}^3 \cdot (1-X) \cdot \left( \frac{C_{BO}}{C_{AO}} - 4X \right) \cdot \left( \frac{C_{CO}}{C_{AO}} - X \right)$$

#### 1.4.4. Tinjauan Termodinamika

Dalam tinjauan termodinamika ini, penting untuk dicatat bahwa termodinamika menentukan jenis reaksi (eksotermik/endotermik) dan arah reaksi (*reversibel/ireversibel*). Untuk menentukan sebuah reaksi itu eksotermik atau endotermik, data kalor reaksi yang diperlukan dapat dihitung dengan menghitung kalor pembentukan standar ( $H_f^\circ$ ) pada  $P = 1 \text{ atm}$  dan  $T = 298 \text{ K}$ .

Pada proses pembentukan Pentaeritritol terjadi reaksi berikut:

Reaksi :

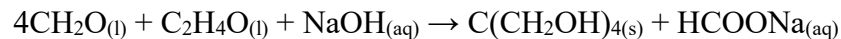


Tabel I. 5 Harga  $\Delta H_f^\circ$  dan  $\Delta G_f^\circ$

Komponen	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta G_f^\circ$ (kJ/mol)
CH <sub>2</sub> O	-115,90	-102,5
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	-191,70	-133
NaOH	-425,60	-379,5
C(CH <sub>2</sub> OH) <sub>4</sub>	-446,50	-607,1
HCOONa	-666,50	-598,67

(Yaws, 1999)

a. Untuk reaksi:



i. Panas reaksi standar ( $\Delta H_f^\circ$ )

$$\Delta H_{f298}^\circ = \Delta H_{f\text{produk}}^\circ - \Delta H_{f\text{reaktan}}^\circ$$

$$\Delta H_{f298}^\circ = (\Delta H_{f\text{C(CH}_2\text{OH)}_4}^\circ + \Delta H_{f\text{HCOONa}}^\circ) - (\Delta H_{f4\text{CH}_2\text{O}}^\circ + \Delta H_{f\text{C}_2\text{H}_4\text{O}}^\circ + \Delta H_{f\text{NaOH}}^\circ)$$

$$\Delta H^{\circ}_{f298} = ((-446,50) + (-666,50)) - (4(-115,90) + (-191,70) + (-425,60))$$

kJ/mol

$$\Delta H^{\circ}_{f298} = -32,100 \text{ kJ/mol}$$

Karena  $\Delta H^{\circ}_f$  bernilai negatif, maka reaksi tersebut dapat dikatakan eksotermik.

ii. Konstanta kesetimbangan (K) pada keadaan standar

$$\Delta G^{\circ}_f = -R \cdot T \cdot \ln K$$

Dimana :

$\Delta G^{\circ}_f$  = Energi Gibbs keadaan standar (25 °C, 1 atm)

R = Konstanta gas (8,314 J.mol<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>)

T = Suhu standar (298 K)

K = Konstanta kesetimbangan

Reaksi utama,  $\Delta G^{\circ}_f$  untuk :

$$\Delta G^{\circ}_{f298} = \sum \Delta G^{\circ}_f \text{ produk} - \sum \Delta G^{\circ}_f \text{ reaktan}$$

$$\Delta G^{\circ}_{f298} = (\Delta G^{\circ}_f \text{ PE} + \Delta G^{\circ}_f \text{ SF}) - (\Delta G^{\circ}_f \text{ CH}_2\text{O} + \Delta G^{\circ}_f \text{ C}_2\text{H}_4\text{O} + \Delta G^{\circ}_f \text{ NaOH})$$

$$\Delta G^{\circ}_{f298} = ((-607,1) + (-598,67)) - (4(-102,5) + (-133) + (-379,5)) \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^{\circ}_{f298} = -283,27 \text{ kJ/mol}$$

$$\ln K_{298} = \frac{-(-283,27 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}})}{(8,314 \times 10^{-3} \frac{\text{Joule}}{\text{mol.K}}) \times 298 \text{ K}}$$

$$= 114,33371$$

$$K_{298} = 4,5134 \times 10^{49}$$

iii. Konstanta kesetimbangan (K) pada T = 45°C = 318 °K

Persamaan Van't Hoff

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = -\frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Dimana:

K<sub>1</sub> = Kontanta kesetimbangan pada 298 K

K<sub>2</sub> = Kontanta kesetimbangan pada suhu operasi

T<sub>1</sub> = Suhu standar (25°C = 298 K)

T<sub>2</sub> = Suhu operasi (45°C = 318 K)

R = Tetapan gas ideal (8,314.10<sup>-3</sup> kJ/mol.K)

$\Delta H^{\circ}$  = Panas reaksi standar pada 298 K

$$\ln \frac{K_{318}}{K_{298}} = -\frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln \frac{K_{318}}{4,5134 \times 10^{49}} = -\frac{-32,100}{8,314 \times 10^{-3}} \left( \frac{1}{318} - \frac{1}{298} \right)$$

$$\frac{K_{318}}{4,5134 \times 10^{49}} = \exp(-0,8149)$$

$$\frac{K_{318}}{4,5134 \times 10^{49}} = 0,4427$$

$$K_{318} = 1,9981 \times 10^{49}$$

Karena harga K yang diperoleh sangat besar, yaitu diatas 1 ( $K > 1$ ) maka reaksi tersebut dapat dianggap bersifat *irreversible* (searah).