

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri di Indonesia khususnya industri kimia terus berkembang, baik yang memproduksi bahan baku kimia hulu maupun hasil olahannya. Industri kimia yang sedang berkembang cukup baik di Indonesia adalah industri petrokimia. Industri petrokimia merupakan penghasil produk-produk strategis yang akan digunakan pada industri-industri hilir seperti industri tekstil, plastik, karet sintetik, dan lainnya. Maka dari itu, untuk menunjang perkembangan industri hilir petrokimia diperlukanlah adanya industri yang menyediakan bahan baku maupun bahan penunjang. Hingga saat ini, Sebagian besar bahan baku dan bahan penunjang diimpor dari luar negeri sehingga pembangunan industri kimia baru diperlukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap produk impor. Salah satu bahan *intermediate* yang belum tercukupi kebutuhannya di Indonesia adalah etilen oksida.

Etilen oksida (*oxirane* atau *epoksietilena*) adalah senyawa organik dengan rumus molekul  $C_2H_4O$  dan merupakan eter siklik yang paling sederhana dan terdiri dari dua kelompok alkil yang terikat pada atom oksigen dalam bentuk siklik (melingkar). Etilen oksida adalah gas yang mudah terbakar, tak berwarna dengan aroma manis seperti  $EtHr$  pada konsentrasi yang tinggi (Othmer, 1979).

Etilen oksida adalah salah satu bahan kimia yang banyak digunakan. Etilen oksida merupakan bahan *intermediate* yang digunakan untuk memproduksi bahan kimia lainnya. Etilen oksida banyak digunakan dalam industri kimia dan farmasi. Kebutuhan etilen oksida akhir-akhir ini meningkat karena didirikannya pabrik etilen glikol di kawasan industri Merak. Etilen oksida secara langsung dapat digunakan sebagai desinfektan yang efektif dan dapat digunakan sebagai bahan *intermediate* pembuatan etanol amin, glikol eter, dan poli etilen oksida (Othmer, 1979). Derivatif etilen oksida banyak digunakan sebagai bahan dasar pembuatan detergen, kosmetik, farmasi, dan sebagainya. Sekitar 60% etilen oksida umumnya digunakan untuk bahan baku pembuatan etilen glikol sebagai insektisida. Bidang

kedokteran biasa memanfaatkan etilen oksida untuk mensterilkan peralatan bedah, plastik, dan alat-alat lain yang tidak tahan panas yang tidak dapat disterilkan dengan uap (Ullmann, 2012).

Sehingga, untuk memenuhi kebutuhannya, Indonesia mengimpor etilen oksida dari negara lain. Dari data BPS, kebutuhan etilen oksida di Indonesia selama ini dipenuhi dengan 2 cara impor dari China, Singapura, Korea, Amerika Serikat, dan Qatar (Badan Pusat Statistik, 2018). Kebutuhan etilen oksida di dunia seperti Belgia, Italia, Jerman, Perancis, Britania Raya, Polandia, Swiss, Belanda, Thailand pada tahun 2019 cukup tinggi, sehingga memiliki potensi untuk melakukan ekspor.

Oleh sebab itu, berdasarkan uraian diatas maka pabrik etilen oksida perlu didirikan di Indonesia dengan berbagai pertimbangan, yaitu dapat memenuhi kebutuhan etilen oksida dalam negeri dan menurunkan ketergantungan impor, menambah devisa negara dari sektor industri dengan adanya pajak dan ekspor produk, membuka lapangan kerja baru sehingga dapat menurunkan tingkat pengangguran, memacu pengembangan industri-industri baru yang berbahan baku etilen oksida dan meningkatkan sumber daya manusia melalui proses alih teknologi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Etilen oksida merupakan bahan *intermediate* yang digunakan untuk memproduksi bahan kimia lainnya. Sehingga, untuk memenuhi kebutuhannya, Indonesia mengimpor etilen oksida dari negara lain. Oleh sebab itu, berdasarkan uraian diatas maka pabrik etilen oksida perlu didirikan di Indonesia dengan berbagai pertimbangan, yaitu dapat memenuhi kebutuhan etilen oksida dalam negeri dan menurunkan ketergantungan impor, membuka lapangan kerja baru sehingga dapat menurunkan tingkat pengangguran, memacu pengembangan industri-industri baru yang berbahan baku etilen oksida dan meningkatkan sumber daya manusia melalui proses alih teknologi.

## **1.3 Tujuan Pra Rancangan**

Tujuan dari pra rancangan pabrik *Ethylen Oxide* dengan proses oksidasi langsung dengan udara adalah untuk memenuhi kebutuhan *Ethylen Oxide* dalam

negeri, maupun luar negeri dan untuk mengurangi terus menerus impor *Ethylen Oxide* dari luar negeri. Serta diharapkan berdirinya pabrik *Ethylen Oxide* ini produk tersebut dapat di ekspor sehingga dapat menambah devisa negara.

#### **1.4 Manfaat Pra Rancangan**

*Ethylen Oxide* merupakan salah satu senyawa yang digunakan sebagai bahan baku dalam industri kimia, diantaranya sebagai:

1. Mengurangi ketergantungan jumlah impor dari negara lain.
2. Mencukupi kebutuhan *Ethylen Oxide* dalam negeri.
3. Memacu pertumbuhan industri-industri baru yang menggunakan *Ethylen Oxide* sebagai bahan baku maupun bahan penunjang.
4. Tersedianya lapangan kerja baru, sehingga mengurangi tingkat pengangguran dalam negeri.
5. Membantu devisa negara.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penyusunan dan penyelesaian tugas pra rancangan pabrik etilen oksida adalah hanya neraca massa, neraca energi, pembuatan flow sheet pada kondisi steady state, pemasangan alat kontrol, spesifikasi peralatan, unit utilitas, dan analisa ekonomi.

#### **1.6 Kapasitas Pra Rancangan Pabrik**

Adapun Kapasitas pabrik merupakan faktor yang sangat penting dalam pendirian pabrik karena akan mempengaruhi perhitungan teknis dan ekonomis. Sejatinya pabrik yang akan didirikan memiliki kapasitas produksi yang optimal sehingga dapat menghasilkan keuntungan yang maksimal dengan biaya yang minimal. tetapi dalam penentuan kapasitas perlu juga dipertimbangkan faktor lainnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam menentukan kapasitas prarancangan pabrik etilen oksida dengan proses dehidrasi oksidasi perlu dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

### 1.6.1 Data Keptuhan Pasar Etilene Oksida di Indonesia

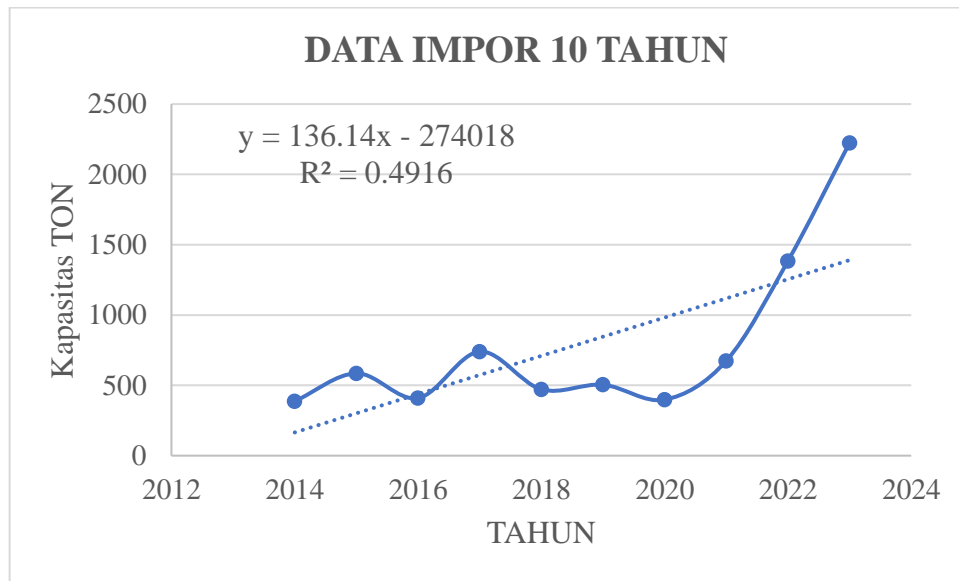
Produksi asam akrilat di Indonesia tidak sepenuhnya untuk memenuhi kebutuhan di Indonesia, namun di produksi juga untuk meningkatkan nilai ekspor. Adapun data Keptuhan anilin di Indonesia tercantum pada Tabel 1.1

**Tabel 1.1** Keptuhan Impor Etilen Oksida di Indonesia (BPS Indonesia, 2024).

Tahun	Ton
2014	386,652
2015	585,229
2016	409,228
2017	739,988
2018	471,251
2019	504,407
2020	398,159
2021	674,374
2022	1384,324
2023	2223,965

(Sumber: BPS, Ferbuari 2024).

Berdasarkan data dari Tabel 1.1, keptuhan etilen oksida dari tahun 2014 hingga tahun 2022 cenderung fluktuatif. Pabrik etilen oksida direncanakan akan mulai didirikan pada tahun 2030, dengan waktu pembangunan pabrik 3 tahun dan diharapkan pabrik dapat beroperasi pada tahun 2030. Proyeksi keptuhan etilen oksida perlu dilakukan sehingga dapat memprediksi keptuhan etilen oksida dalam 10 tahun kedepan, dimulai dari tahun 2030 hingga tahun 2039. Adapun grafik keptuhan etilen oksida di Indonesia setiap tahunnya berdasarkan data yang diperoleh dari BPS. Proyeksi keptuhan etilen oksida dapat diperoleh menggunakan persamaan Regresi Linear pada Gambar 1.1



**Gambar 1.1** Data Impor Etilen Oksida di Indonesia

Dari Gambar 1.1 kebutuhan etilen oksida dari tahun 2014 hingga 2023 bisa didapatkan dalam bentuk persamaan linear yang bisa digunakan untuk memprediksi jumlah kebutuhan di masa mendatang. Persamaan linear kebutuhan etilen oksida di Indonesia adalah  $y = 136,14x - 274018$ , dengan keterangan  $y$  adalah proyeksi konsumsi etilen oksida di Indonesia dalam ton dan  $x$  adalah tahun konsumsi. Pada Gambar 1.1, pada tahun 2020 terjadi penurunan jumlah impor etilen oksida dari tahun 2019. Selanjutnya pada tahun 2021, jumlah impor etilen oksida kembali meningkat. Dari persamaan tersebut dapat diprediksikan akan meningkat untuk tahun yang akan datang dari proyeksi kebutuhan etilen oksida pada tahun 2030 sampai 2039 yang dapat dilihat pada tabel 1.2.

Menghitung impor asam akrilat tahun berikutnya maka menggunakan persamaan garis lurus:  $y = ax + b$

Keterangan :

$y$  = kebutuhan impor anilin, kg/tahun  $x$  = tahun

$b$  = intercept

$a$  = gradien garis miring

Diperoleh persamaan garis lurus:  $y = 136,14x - 274018$ . Dari persamaan di atas maka dapat diketahui bahwa kebutuhan etilen oksida di Indonesia pada tahun 2030 adalah:

$$y = 136,14x - 274018$$

$$y = 136,14 (2030) - 274018$$

$$y = 276364,2 - 274018$$

$$y = 2346,2 \text{ ton/tahun}$$

**Tabel 1. 2** Proyeksi Kebutuhan dan Kontribusi Pabrik terhadap Kebutuhan Etilen Oksida di Indonesia Tahun 2030-2039.

Tahun	Ton
2030	2346,2
2031	2482,34
2032	2618,48
2033	2754,62
2034	2890,76
2035	3026,9
2036	3163,04
2037	3299,18
2038	3435,32
2039	3571,46

(Sumber: Microsoft Excel 2024).

**Tabel 1.3** Data Ekstrapolasi Kebutuhan Etilen Oksida di Indonesia

Tahun	Konsumsi (Ton/Tahun)
2014	2,099.00
2015	
2016	25.79
2017	
2018	
2019	
2020	
2021	3,216.00
2022	6,640.00

2023	20,700.00
------	-----------

(Sumber: BPS, Ferbuari 2024).

Data diatas dapat menentukan kapasitas pabrik yang akan didirikan, ini dipengaruhi oleh kapasitas pabrik sejenis yang sudah beroperasi. Berikut ini adalah data perusahaan yang menghasilkan etilen oksida terdapat pada tabel 1.4

**Tabel 1.4** Data Kapasitas Produksi Pabrik Etilen

Perusahaan	Lokasi	Ton/Tahun
Formosa Petrochemical Corporation	Mailiao, Taiwan	2.935.000
Nova Chemicals Corporation	Joffre, Alberta, Canada	2.811.792
Arabian Petrochemical Company	Jubail, Saudi Arabia	2.250.000
ExxonMobil Chemical Company	Baytown, TX, USA	2.197.000
ChevronPhillips Chemical Company	Sweeny, TX, USA	1.865.000
Dow Chemical Company	Terneuzen, Netherlands	1.800.000
Ineos Olefins & Polymers	Chocolate Bayou, TX, USA	1.752.000
Yanbu Petrochemical Company	Yanbu, Saudi Arabia	1.705.000
Equate Petrochemical Company	Shuaiba, Kuwait	1.650.000
Braskem	Triunfo, Brazil	200.000
Solvay Indupa	Santo Andre, Brazil	60.000
Chandra Asri Petrochemical	Indonesia	860.000

(Fan., Et al, 2013)

### 1.7 Penyediaan Bahan Baku

Bahan baku pembuatan Etilen Oksida ( $C_2H_4O$ ) dapat diperoleh di Indonesia, antara lain Ethanol ( $C_2H_5OH$ ) diperoleh dari PT Energi Agro Nusantara, PT Indo Acidatama, PT Molindo Raya, Indo Lampung Destillery, Indo Ethanol Industri, PG LL Palimanan. Dengan rincian bahan baku yang di suplai :

**Tabel 1.5.** Kapasitas Pabrik Penyedia Bahan Baku Ethanol

No	Nama	Kapasitas	Lokasi
1	Molindo Raya	65.000 ton/tahun	Jawa Timur
2	Energi Agro Nusantara	50.000 ton/tahun	Jawa Timur

3	Indo Acidatama	50.000 ton/tahun	Jawa Tengah
4	PG LL Palimanan	30.000 ton/tahun	Jawa Barat
5	Indo Lampung Destillery	40.000 ton/tahun	Lampung
6	Indo Ethanol Industry	50.000 ton/tahun	Lampung

Adapun juga rincian etilen oksida sebagai berikut:

**Tabel 1.6** Kapasitas Pabrik Etilen Oksida yang Telah Ada

<b>Nama Pabrik Kapasitas</b>	<b>( Ton/Tahun)</b>
PT Prima Ethycolindo, Indonesia	22.000
AkzoNobel, Stenungsund, Sweden	100.000
Kazanorgsintez, Kazan, Russia	80.000
Eastman Chemical, Longview, Texas, US	105.000
BASF, Geismar, Louisiana, US	220.000
Dow Chemical, Prentiss, Canada	250.000
BP Chemicals, United Kingdom	25.000
Sunolin, US	45.000
Shell Chemicals, Louisiana, US	420.000
Anic, Italia	40.000

**Sumber :** Independent Chemical Information Service Plants and Projects Database ; Mc. Ketta, 1976.

### 1.8 Pemilihan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan pada pra-rencana pabrik pembuatan etilen oksida ( $C_2H_4O$ ) ini adalah etanol ( $C_2H_6O$ ). Pemilihan bahan baku tersebut berdasarkan pertimbangan ketersediaan bahan baku di Indonesia, proses, dan harga bahan baku. Lokasi perusahaan penyedia bahan baku dan lokasi pabrik etilen oksida ( $C_2H_4O$ ) masih dalam satu wilayah sehingga jaraknya tidak terlalu jauh. Hal ini memberikan keuntungan tersendiri yaitu biaya transportasi pengadaan bahan baku menjadi lebih terjangkau dan ekonomis.

### 1.9 Pemilihan proses



Reaksi pembentukan etilen oksida dapat dilakukan pada fase gas antara etilen dan udara dengan katalisator perak. Dengan digunakan udara yang kadar pengotornya masih cukup tinggi, maka dibutuhkan suatu unit *purging* untuk mengurangi akumulasi gas inert yang ada di reaktor (kirk-otHrmer, 2007).

Secara garis besar proses pembuatan etilen oksida dari etanol dapat dikelompokkan menjadi 3 tahap :

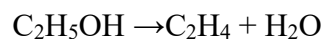
1. Tahap persiapan bahan baku

Bahan baku etanol dari PT. Molindo Raya disimpan di tangki penyimpanan T-101 pada suhu 30°C dengan tekanan 1 atm, kemudian dipompa dengan P-101 menuju E-101 untuk mengubah fase menjadi gas lalu dinaikkan tekanan menjadi 15 atm menggunakan K-101. Keluaran K-101 dengan suhu 500°C dengan tekanan 15 atm dialirkan menuju R-101.

Bahan baku udara di naikkan tekanannya menggunakan K-102 dari 1 atm menjadi 10 atm sehingga suhunya naik menjadi 378°C. Kemudian diturunkan suhunya menggunakan C-101. Kemudian dipisahkan menggunakan Sep-101. Keluaran atas berupa oksigen dinaikkan suhunya menggunakan E-102 menjadi 200°C, kemudian dialirkan menggunakan K-103.

2. Tahap reaksi

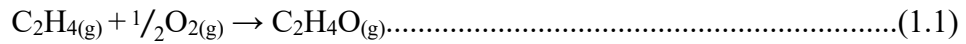
a. Pembentukan Etilen dari Etanol



Etanol keluaran K-101 dengan suhu 500°C dengan tekanan 15 atm dialirkan menuju R-101. Keluarannya berupa etilen, air dan sedikit etanol. Selanjutnya dialirkan ke E-201 dan dinaikkan tekanannya menjadi 15 atm untuk selanjutnya dicampurkan dengan keluaran K-103. Setelah dicampur dinaikkan suhunya menjadi 220°C.

b. Pembentukan Etilen Oksida

Etilen dan oksigen yang sudah terbentuk kemudian masuk ke R-202, pada R-202 ini terjadi pembentukan etilen oksida, suhu reaktan 220°C. reaksi yang terjadi :



Keluaran reaktor yang bersuhu 220°C pada tekanan 15 atm. Hasil reaksi didinginkan oleh C-201 menjadi 17°C pada tekanan 15 atm.

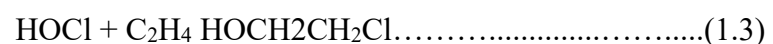
### 3. Tahap pemurnian produk hasil

Setelah Etilen oksida yang sudah terbentuk diturunkan suhunya menjadi 117°C dan kemudian masuk ke Abs-301 untuk dipisahkan antara etilen dan oksigen yang tidak bereaksi menggunakan solvent air. Disini etilen oksida akan diserap oleh air sebagai absoben. Air penyerap masuk dari puncak menara dan melarutkan etilen oksida. Keluaran absorber yang bersuhu 41,45°C pada tekanan 3 atm dipompa menuju kedalam MD-301 dengan tujuan untuk pemurnian produk etilen oksida. Hasil keluaran atas menara distilasi adalah produk etilen oksida yang telah dikondensasi yang bersuhu -174°C. Kemudian etilen oksida dipompa menuju T-301 penyimpanan. Sedangkan keluaran bawah menara distilasi merupakan air yang langsung dibuang menuju *water treatment*.

Proses pembuatan etilen oksida dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain :

#### 1. Proses khlorohidrin

Proses khlorohidrin terdiri dari 2 langkah, yaitu proses pembuatan etilen khlorohidrin sebagai bahan antara dan proses etilen khlorohidrin menggunakan sodium atau kalsium hidroksida. Reaksi yang berlangsung adalah sebagai berikut:



Reaksi pembentukan kalsium oksikhlorid berlangsung pada tekanan 2900 psi dan suhu 20°C dengan menggelembungkan gas klor ke dalam slurry dari kapur dan etilen. Selanjutnya gas klor digelembungkan ke dalam larutan oksikhlorid sehingga dihasilkan etilen khlorohidrin. etilen oksida dihasilkan dengan mereaksikan etilen khlorohidrin dengan sodium hidroksida pada suhu 15-25°C dan tekanan 36 psi (Mc.Ketta, 1979).

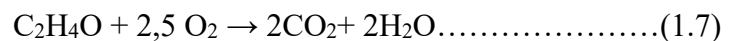
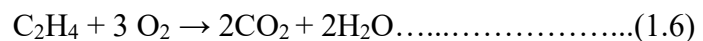
## 2. Proses oksidasi langsung

### a. Proses oksidasi langsung dengan oksigen teknis

Dalam proses terjadi reaksi utama yaitu pembentukan etilen oksida dan reaksi samping menghasilkan karbon dioksida dan air. Reaksi utama:



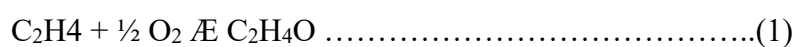
Reaksi samping:



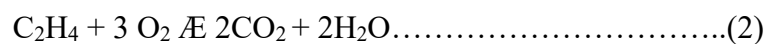
Reaksi dijalankan dalam reaktor Fixed bed multitube pada tekanan 1,2 atm dan suhu 290°C dengan katalis perak pada penyangga Alumina. Konversi per passnya 15% sedangkan cukup tinggi yaitu sekitar 75%. Selain terbentuk etilen oksida, terbentuk pula produk samping CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O jadi perlu rangkaian CO<sub>2</sub> absorber dan CO<sub>2</sub> stripper untuk mengurangi kandungan CO<sub>2</sub> sebelum gas keluar absorber tersebut di-recycle ke reaktor. Selain itu untuk mencegah efek eksplosivitas etilen terhadap oksigen, maka perlu penambahan gas diluent berupa nitrogen murni atau ethan murni dalam siklus reaktor (Mc. Ketta, 1979).

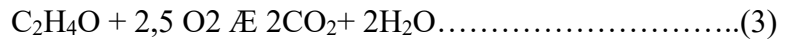
### b. Oksidasi langsung dengan udara

Dalam proses terjadi reaksi utama yaitu pembentukan etilen oksida dan reaksi samping menghasilkan karbon dioksida dan air. Reaksi utama:



Reaksi samping:





Dengan digunakan udara dengan kadar nitrogen tinggi, maka tidak memerlukan gas diluent untuk mencegah eksplotivitas dan juga berfungsi sebagai pendingin reaksi. Pada reaksi dengan menggunakan udara sebagai oksidannya didapatkan hasil samping  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Secara ekonomi lebih menguntungkan investasi. Selain itu tidak diperlukannya diluent khusus pada saat proses reaksi berjalan. Namun demikian dengan digunakannya udara sebagai oksidan yang mengandung banyak nitrogen, maka diperlukan purging untuk mencegah akumulasi nitrogen ( Mc.Ketta, 1978 ). Dari ketiga proses di atas dipilih proses oksidasi langsung, karena proses paling sederhana dan bahan yang digunakan tidak terlalu berbahaya. Kelemahan proses ini adalah konversi etilen keluar reaktor yang rendah. Hal ini diatasi dengan melakukan recycle gas keluar reaktor yang telah diambil etilen oksidanya, kemudian mencampur dengan umpan segar.

**Tabel 1.7.** Perbandingan proses pembuatan etilen oksida

	Proses Klorohidrin	Proses Oksidasi	
		Udara	Oksigen
Yield	85% – 95%	63%-75%	75%-82%
Konversi	n.a	20%-65%	8%-12%
Suhu	27 – 43°C	220 - 277 °C	220 - 235 °C
Tekanan	2 –3 bar	10 – 20 bar	20 – 30 bar
Produk samping	Kalsium klorida, air	Karbon dioksida, air	Karbon dioksida, air
Biaya	Material konstruksi mahal, proses lama yang sudah ditinggalkan	Pada skala besar (55.000-275.000 ton/tahun) lebih murah investasi awalnya	Pada skala menengah (22.000-55.000 ton/tahun) lebih murah investasi awalnya

(Kirk-Othmer, 1998).

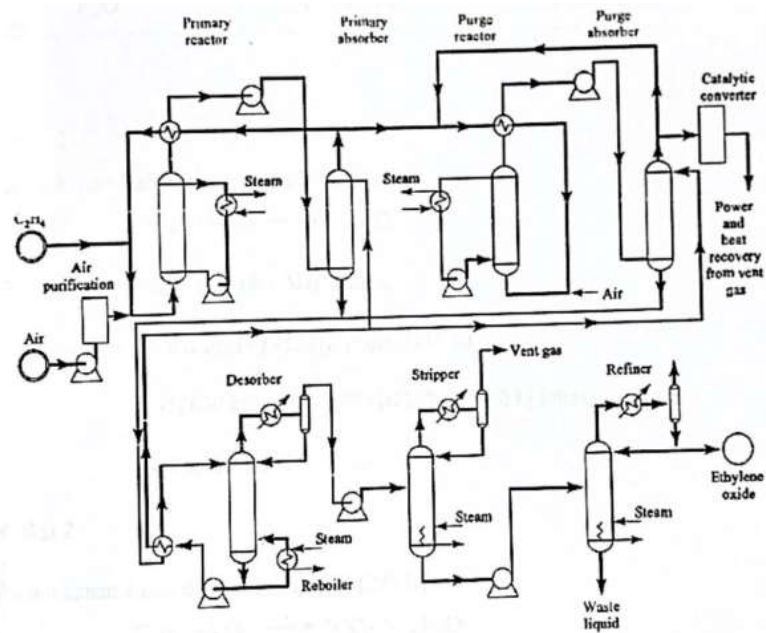
Berdasarkan perbandingan proses pada Tabel 1.6 di atas dapat diketahui bahwa proses yang lebih ekonomis dan efisien adalah proses 1 dari U.S Patent No

9346773. Sehingga, dipilih menggunakan proses 1 dengan pertimbangan sebagai berikut:

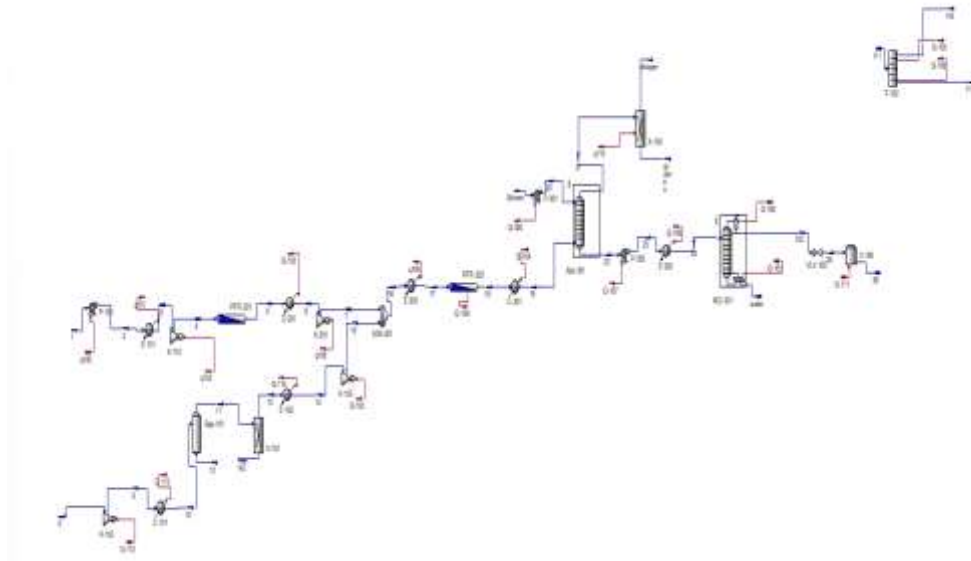
1. Bahan baku yang diperlukan melimpah dan tersedia di Indonesia, sehingga tidak memerlukan biaya transportasi yang mahal.
2. Kemurnian etilen oksida yang dihasilkan tinggi.
3. Proses reaksi pembuatan etilen oksida lebih cepat karena tidak menghasilkan reaksi samping.

### 1.10 Flowsheet Dasar Pabrik

Dibawah ini dapat dilihat *Flowsheet* Dasar pembuatan etilen oksida dari etilene melalui proses oksidasi langsung dengan udara pada gambar 1.2



**Gambar 1.2** *flowsheet* dasar etilen oksida dari etanol melalui proses oksidasi langsung dengan udara.



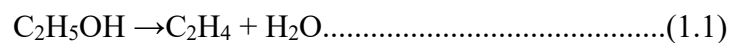
**Gambar 1.3** Hysys Etilen Oksida Dari Bahan Baku Etanol

**1.11 Tinjauan Termodinamika**

Adapun beberapa tahap pembentukan etilen oksida dari bahan baku etanol ialah sebagai berikut:

**A. Pembentukan Etilen**

Dalam perancangan reaktor yang digunakan, untuk mengetahui apakah reaksi berjalan secara endotermis atau eksotermis maka perlu dilakukan pencarian entalpi dari reaksi yang terjadi, sehingga diketahui apakah reaktor yang di gunakan membutuhkan suplai pemanas atau pendingin.



Reaksi di atas merupakan reaksi pembentukan etilen dari etanol, reaksi beroperasi pada suhu 796,65°C dan tekanan 15 atm. Berikut ini merupakan penentuan entalpi reaksi etanol menjadi etilen.

$$\Delta H_f = A + B T + C T^2 \dots \dots \dots (1.2)$$

**Tabel 1.8** Harga Nilai Entalpi Pembentukan Pada Kondisi Standar

KOMPONEN	A	B	C
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	-216,916	-6,96E-02	3,17E-05
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	63,053	-4,11E-02	1,66E-05
H <sub>2</sub> O	-238,41	-1,23E-02	2,77E-06

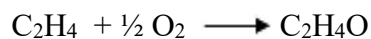
$$\Delta G_f = A + B T + C T^2 \dots \dots \dots (1.3)$$

KOMONEN	$\Delta H_F$	$\Delta G_F$
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	-252,1941654	-45,3203
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	40,86374559	102,0264
H <sub>2</sub> O	-246,418551	-203,774

KOMPONEN	A	B	C
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	-236,103	2,19E-01	2,57E-05
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	51,752	4,93E-02	1,73E-05
H <sub>2</sub> O	-241,74	4,17E-02	7,43E-06

1. Mencari nilai  $\Delta H_f^\circ$  493,15 K pada reaksi utama.

Reaksi utama pada tekanan 16 atm dengan suhu 220°C (493,15 K)



Maka,  $\Delta H_{\text{reaksi}}$  (493,15 K)

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = \Delta H^\circ \text{f Produk} - \Delta H^\circ \text{f Reaktan}$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = (\Delta H^\circ \text{f C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O}) - (\Delta H^\circ \text{f C}_2\text{H}_5\text{OH})$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = ((40,86374559 \text{ kJ/mol}) + ((-246,418551 \text{ kJ/mol}) + (-252,1941654 \text{ kJ/mol}))$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = 46,63936 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = 46,63936 \text{ J/mol}$$

Reaksi yang terjadi pada reaksi diatas merupakan reaksi endoterm karena harga *enthalpy* reaksi bernilai positif sehingga reaksi melepas dingin. Sedangkan reaksi berjalan searah atau bolak balik dapat diketahui dari harga konstanta kesetimbangan (K), menurut persamaan perubahan energi Gibbs yakni:

$$\ln K = \frac{-\Delta G}{RT} \quad \text{atau;} \quad \Delta G_{298} = -RT \ln K$$

(Sumber: Smith Van Ness,1987)

Dimana :

$\Delta G^\circ$  = Energi bebas gibbs

R = Konstanta gas ( R = 8,314 kJ/mol K )

T = Temperature (K)

K = Konstanta kesetimbangan reaksi

2. Mencari nilai K 298,15 pada reaksi utama.

$$\Delta G_{\text{reaksi}} (493,15 \text{ K})$$

Reaksi utama

$$\Delta G_{\text{reaksi}} = \Delta G^{\circ} \text{f Produk} - \Delta G^{\circ} \text{f Reaktan}$$

$$\Delta G_{\text{reaksi}} = (\Delta G^{\circ} \text{f C}_2\text{H}_5\text{OH}) - (\Delta G^{\circ} \text{f C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O})$$

$$\Delta G_{\text{reaksi}} = ((-45,3203 \text{ kJ/mol}) - (102,0264 \text{ kJ/mol}) + (-203,774 \text{ kJ/mol}))$$

$$\Delta G_{\text{reaksi}} = -56,42687854 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_{\text{reaksi}} = -56,42687854 \text{ kJ/mol}$$

Harga  $\Delta G_{\text{reaksi}}$  reaksi kurang dari nol, maka reaksi dapat berlangsung secara spontan. Adapun penentuan nilai konstanta kesetimbangan reaksi pada suhu 493,15 K menggunakan persamaan Smith Van Ness sebagai berikut:

$$\Delta G^{\circ}_{796,65} = -RT \ln K_{298,15}$$

$$\ln K_{298,15} = -\frac{\Delta G^{\circ}_{796,65}}{RT}$$

$$K_{298,15} = \exp - \left[ \frac{\Delta G^{\circ}_{796,65}}{RT} \right]$$

$$K_{298,15} = \exp - \left[ \frac{796,65 \text{ J/mol}}{8,314 \text{ J/mol.K} \times 298 \text{ K}} \right]$$

$$K_{298,15} = \exp^{(0,022763613)}$$

$$K_{298,15} = 1,023024681$$

$$\ln \left[ \frac{K_{298,15}}{K_{796,15}} \right] = \left[ \frac{-\Delta H_{493,15}}{R} \right] \left[ \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]$$

$$\left[ \frac{K_{298,15}}{K_{796,15}} \right] = \exp \left[ \frac{-\Delta H_{298,15}}{R} \right] \left[ \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]$$

$$K_{493,15} = K_{298,15} \exp \left[ \frac{-\Delta H_{298,15}}{R} \right] \left[ \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]$$

$$K_{493,15} = K_{298,15} \exp \left[ \frac{46,63936 \text{ J/mol}}{8,314 \text{ J/mol.k}} \right] \left[ \frac{1}{796,65} - \frac{1}{298,15} \right]$$

$$K_{493,15} = 1,008555782$$

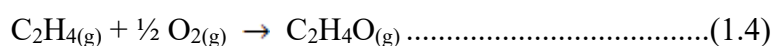
Karena harga K untuk reaksi sangat besar, maka reaksi tersebut bersifat searah (*irreversible*).



## B. Pembentukan Etilen Oksida

Tinjauan termodinamika ditunjukkan untuk mengetahui sifat reaksi (endotermis/eksotermis) dan arah reaksi (*reversible/irreversible*). Penentuan panas reaksi berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat dihitung dengan perhitungan panas pembentukan ( $\Delta H^\circ_f$ ) pada 16 atm dan 220°C (493,15 K). Pada proses pembentukan etilen oksida terjadi reaksi sebagai berikut:

Ditunjukkan dari segi termodinamikanya dengan harga-harga  $\Delta H^\circ_f$  masing-masing komponen pada suhu 220°C (493,15 K).



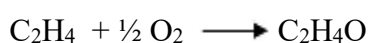
**Tabel 1.9** Harga  $\Delta H^\circ_f$  masing-masing komponen untuk reaksi I

Komponen	harga $\Delta H^\circ_f$ (kJ/mol)	harga $\Delta G^\circ_f$ (kJ/mol)
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	46,8329531	80,2864503
O <sub>2</sub>	0,00	0,00
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	-59,304235	15,0659655

(Sumber: Yaws, 1999)

1. Mencari nilai  $\Delta H^\circ_f$  493,15 K pada reaksi utama.

Reaksi utama pada tekanan 16 atm dengan suhu 220°C (493,15 K)



Maka,  $\Delta H_{\text{reaksi}}$  (493,15 K)

Reaksi utama

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = \Delta H^\circ_f \text{ Produk} - \Delta H^\circ_f \text{ Reaktan}$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = (\Delta H^\circ_f \text{ C}_2\text{H}_4\text{O}) - (\Delta H^\circ_f \text{ C}_2\text{H}_4 + \text{O}_2)$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = ((-59,304235 \text{ kJ/mol}) - ((46,8329531 \text{ kJ/mol}) + (0 \text{ kJ/mol})))$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = -106,137 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = -106.137 \text{ J/mol}$$

Reaksi yang terjadi pada reaksi diatas merupakan reaksi eksotermis karena harga *enthalpy* reaksi bernilai negatif sehingga reaksi melepas panas. Sedangkan

reaksi berjalan searah atau bolak balik dapat diketahui dari harga konstanta kesetimbangan (K), menurut persamaan perubahan energi Gibbs yakni:

$$\ln K = \frac{-\Delta G}{RT} \quad \text{atau; } \Delta G_{298} = -RT \ln K$$

(Sumber: Smith Van Ness, 1987)

Dimana :

$\Delta G^\circ$  = Energi bebas Gibbs

R = Konstanta gas ( R = 0,008314 kJ/mol K )

T = Temperature (K)

K = Konstanta kesetimbangan reaksi

2. Mencari nilai K 493,15 pada reaksi utama.

$\Delta G_{\text{reaksi}}(493,15 \text{ K})$

Reaksi utama

$\Delta G_{\text{reaksi}} = \Delta G^\circ_f \text{ Produk} - \Delta G^\circ_f \text{ Reaktan}$

$\Delta G_{\text{reaksi}} = (\Delta G^\circ_f \text{ C}_2\text{H}_4\text{O}) - (\Delta G^\circ_f \text{ C}_2\text{H}_4 + \text{O}_2)$

$\Delta G_{\text{reaksi}} = ((-15,0659655 \text{ kJ/mol}) - (80,2864503 \text{ kJ/mol} + 0 \text{ kJ/mol}))$

$\Delta G_{\text{reaksi}} = -65,220 \text{ kJ/mol}$

$\Delta G_{\text{reaksi}} = -65.220 \text{ J/mol}$

Harga  $\Delta G_{\text{reaksi}}$  reaksi kurang dari nol, maka reaksi dapat berlangsung secara spontan. Adapun penentuan nilai konstanta kesetimbangan reaksi pada suhu 493,15 K menggunakan persamaan Smith Van Ness sebagai berikut:

$$\Delta G^\circ_{493,15} = -RT \ln K_{298,15}$$

$$\ln K_{298,15} = -\frac{\Delta G^\circ_{493,15}}{RT}$$

$$K_{298,15} = \exp - \left[ \frac{\Delta G^\circ_{493,15}}{RT} \right]$$

$$K_{298,15} = \exp - \left[ \frac{-65.220 \text{ J/mol}}{8,314 \text{ J/mol.K} \times 298 \text{ K}} \right]$$

$$K_{298,15} = \exp^{(0.0263242)}$$

$$K_{298,15} = 1,02667$$

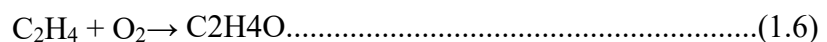
$$\ln \left[ \frac{K_{493,15}}{K_{298,15}} \right] = \left[ \frac{-\Delta H_{493,15}}{R} \right] \left[ \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]$$

$$\begin{aligned} \left[ \frac{K_{493,15}}{K_{298,15}} \right] &= \exp \left[ \frac{-\Delta H_{493,15}}{R} \right] \left[ \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right] \\ K_{493,15} &= K_{298,15} \exp \left[ \frac{-\Delta H_{493,15}}{R} \right] \left[ \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right] \\ K_{493,15} &= K_{298,15} \exp \left[ \frac{-(-106.137 \text{ J/mol})}{8,314 \text{ J/mol.k}} \right] \left[ \frac{1}{493,15} - \frac{1}{298,15} \right] \\ K_{493,15} &= 1,02667 \exp^{(-16,9308)} \\ K_{493,15} &= 1,02667 (2,254 \times 10^7) \\ K_{493,15} &= 2,31411418 \times 10^7 \\ &= 23.141.141,8 \end{aligned}$$

Karena harga  $K > 1$ : Pada reaksi kesetimbangan cenderung ke arah produk, konsentrasi produk lebih besar dari konsentrasi reaktan pada kesetimbangan.

### 1.12 Analisa Ekonomi Awal

Kapasitas pabrik merupakan faktor yang sangat penting dalam pendirian pabrik karena akan mempengaruhi teknik dan ekonomi. Adapun analisa ekonomi awal berdasarkan reaksi pada persamaan 1.5



(Kirk-Othmer, 1990)

Uji ekonomi awal merupakan perhitungan jumlah dari harga bahan baku dan harga produk yang akan dijual sebagai penentu apakah pabrik yang akan dirancang dapat memberikan keuntungan atau memberikan kerugian. Meskipun secara teori semakin besar kapasitas pabrik kemungkinan keuntungan yang diperoleh akan semakin besar, tetapi dalam penentuan kapasitas perlu juga dipertimbangkan faktor lain yaitu harga bahan baku dan produk. tertera pada Tabel 1.10

**Tabel 1. 10 Harga Bahan Baku dan Produk**

Bahan Dasar	Berat molekul	Harga Rp/Kg
Bahan Baku		

Etanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	46,07 g/mol	11677,94
Produk:		
Etilen Oksida	44 gr/mol	19.000

(Sumber: Trading economics dan chemanalyst. com)

### Bahan Baku :

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Etanol (C}_2\text{H}_5\text{OH)} &= 1 \text{ mol} \\
 &= 1 \text{ mol} \times 46,07 \text{ g/mol} \\
 &= 46,07 \text{ g} \\
 &= 0,04607 \\
 &= 0,04607 \times \text{Rp.}11677,94 \\
 &= \text{Rp}538,002696
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total Harga Bahan Baku} &= \text{Rp. } 538,002696 \\
 &= \text{Rp. } 538,002696
 \end{aligned}$$

### Konversi Produk:

$$\begin{aligned}
 \text{Etilen Oksida (C}_2\text{H}_4\text{O)} &= 1 \text{ mol} \\
 &= 1 \text{ mol} \times 44 \text{ gr/mol} \\
 &= 44 \text{ gr} \\
 &= 0,044 \text{ kg} \\
 &= 0,044 \text{ kg} \times \text{Rp. } 19.000 \\
 &= \text{Rp. } 836
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Analisa Ekonomi} &= \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan Baku} \\
 &= \text{Rp. } 836 - \text{Rp. } 538,002696 \\
 &= \text{Rp. } 297,997304
 \end{aligned}$$

$$\text{Net Profit Margin} = \frac{\text{Analisa Ekonomi}}{\text{Bahan Baku}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} &= \frac{297,997304}{538.002696} \times 100\% \\ &= 0,553895559 \times 100\% \\ &= 55,3895559\% \end{aligned}$$

Dari uji ekonomi awal yang telah dibuat, terlihat bahwa harga beli bahan baku lebih murah dibandingkan dengan harga jual produk. Maka dari itu, uji ekonomi awal dapat disimpulkan bahwa pabrik etilen oksida ini layak untuk didirikan.