

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Pendirian Pabrik

Pemerintah Indonesia ingin membangun dan mewujudkan perekonomian yang stabil serta berkelanjutan. Salah satu perkembangan yang ingin diwujudkan yaitu sektor industri dimana, sektor industri merupakan salah satu kontributor utama dalam menyokong perekonomian negara Indonesia, terkhusus dalam industri kimia. Perkembangan sektor teknologi dalam Industri kimia terus mengalami kenaikan yang tujuannya adalah untuk membatasi impor bahan baku industri dan mampu memproduksi bahan baku untuk ekspor. Sebagai negara besar, Indonesia perlu bersaing di sektor industri membantu mengurangi ketergantungan terhadap negara lain, terutama dalam industri kimia. Dalam beberapa tahun terakhir, permintaan etilen oksida (C_2H_4) meningkat seiring dengan produksi etilen glikol dalam negeri. Etilena oksida (C_2H_4) merupakan gas mudah terbakar, tidak berwarna serta berbau seperti eter. Etilen oksida memiliki berat molekul 44,05 kg/kmol dan titik didih 10,8 °C pada tekanan 1 atm (Haynes, 2014).

Kebutuhan Etilena oksida semakin meningkat dari tahun ke tahun dan Indonesia terus melakukan impor untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Indonesia hanya memiliki dua pabrik produksi etilen oksida, PT Prima Ethycolindo dengan kapasitas 60.000 ton/tahun dan PT Polychem dengan kapasitas 22.000 ton/tahun. Di sisi lain, etilen oksida Indonesia perlu mengimpor rata-rata 42.000 ton etilen oksida dari tahun 2014 hingga 2020, dan permintaan etilen oksida di Indonesia masih terbatas. Berdasarkan data impor, permintaan etilen oksida di Indonesia sangat tinggi, mencapai 1,67% per tahun. Karena permintaan dan penggunaan produk etilen oksida, maka perlu dibangun pabrik etilen oksida di Indonesia untuk mengurangi impor dan ekspor serta meningkatkan pendapatan devisa negara. Selain itu, pembangunan pabrik etilen oksida harus menciptakan lapangan kerja bagi masyarakat Indonesia. Beberapa keuntungan membangun pabrik etilen oksida adalah (Kirk, 1979).

1. Penciptaan lapangan kerja, yaitu berkurangnya pengangguran.

2. Gunakan standar etilen oksida untuk merangsang pertumbuhan industri baru.
3. Mengurangi ketergantungan impor.
4. Peningkatan pendapatan pemerintah dari industri dan tabungan dalam mata uang lokal.

Proyeksi kebutuhan etilen oksida dalam negeri semakin meningkat seiring dengan peningkatan industri-industri yang memakainya. Oleh sebab itu pendirian pabrik etilen oksida dirasakan sangat perlu karena pada saat ini pabrik yang memproduksi etilen oksida masih sangat minim. Etilen oksida sangat dibutuhkan oleh masyarakat Indonesia, namun produksi etilen oksida di Indonesia belum mencukupi kebutuhan masyarakat. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2022), Indonesia mengimpor etilen oksida sebanyak 466.57 ton/tahun, namun dengan mengimport etilen oksida saja tidak mencukupi kebutuhan etilen oksida di Indonesia. Masih terjadi kekosongan pasar etilen oksida yang masih cukup tinggi yakni sekitar 505.94 ton/tahun oleh karena itu, pendirian pabrik etilen oksida di Indonesia memiliki peluang yang cukup besar.

I.2. Penentuan Kapasitas Pabrik

Dalam menetapkan kapasitas pabrik etilen oksida yang akan dibangun, beberapa aspek dipertimbangkan sebagai parameter yang menentukan besar kecilnya kapasitas pabrik. Dibutuhkan beberapa acuan untuk menentukan kapasitas pabrik adalah:

1. Prakiraan Kebutuhan etilen oksida di Indonesia.
2. Ketersediaan bahan baku.

Menurut data BPS (Badan Pusat Statistik), impor etilen oksida meningkat secara signifikan dari tahun ke tahun. Hal tersebut dapat diketahui dari uraian berikut.

I.2.1. Data Ekspor dan Impor

I.2.1.1 Data Ekspor Etilen Oksida Indonesia

Data di dalam negeri untuk industri sedang maupun besar dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 1. 1 Data Ekspor Etilen Oksida

Tahun	Jumlah Etilen Oksida (Ton/Tahun)
2012	0,006
2013	0,905
2014	6,665
2015	3,896
2016	0,002
2017	0,360

Sumber : BPS, 2017

Besarnya konsumsi dalam negeri produksi etilen oksida dianggap sama dengan jumlah impor dan produksi dalam negeri. Sesuai dengan uraian tersebut dimana ekspor diabaikan. Dimana nilai dari permintaan hanya merupakan konsumsi dalam negeri. Konsumsi dalam negeri sama dengan nilai proyeksi produksi dalam negeri dan impor.

I.2.1.2 Data Impor Etilen Oksida Indonesia

Sejauh ini Indonesia terus melakukan impor etilen oksida untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Berikut ini merupakan data impor etilen oksida yang diperoleh dari badan pusat statistik (BPS):

Tabel 1. 2 Data Impor Etilen Oksida di Indonesia

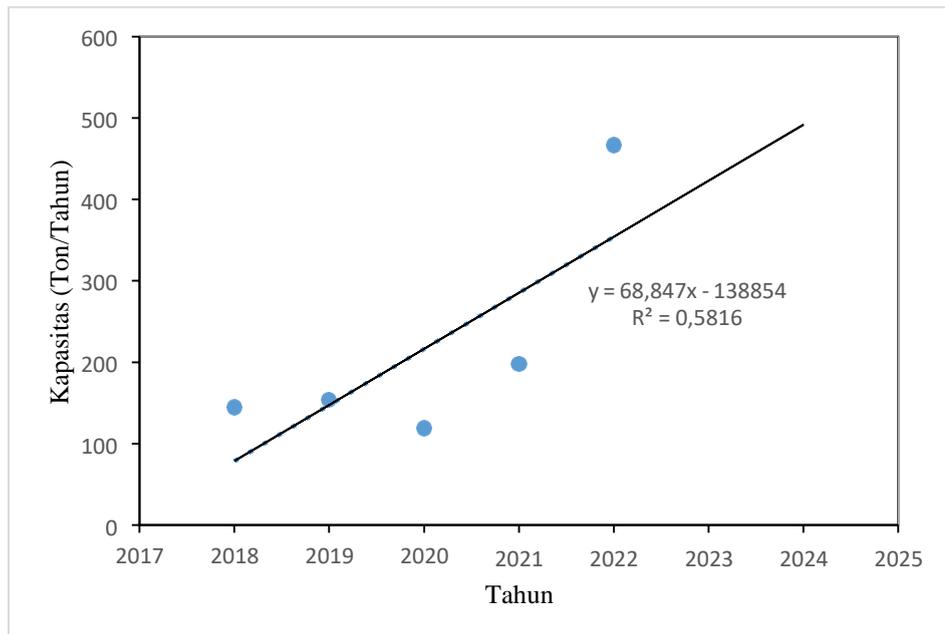
No	Tahun	Kapasitas (Ton/Tahun)
1.	2018	144.584
2.	2019	153.569
3.	2020	119.061
4.	2021	198.070
5.	2022	466.567

Sumber : BPS, 2022

Data tersebut menunjukkan bahwa kapasitas impor etilen oksida meningkat setiap tahunnya. Sehingga ada rencana membangun pabrik etilen oksida di

Indonesia untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan diharapkan Indonesia dapat menjadi eksportir etilen oksida khususnya ke kawasan ASEAN.

Pabrik etilen oksida ini akan didirikan pada tahun 2028 dengan estimasi pendirian 5 tahun dan mulai operasi pada tahun 2033. Maka dapat diperkirakan kebutuhan etilen oksida di Indonesia pada tahun 2033 melalui metode regresi linear yang dituangkan dalam grafik 1 berikut:



Gambar I. 1 Impor Etilen Oksida di Indonesia

Apabila akan dibangun pabrik pada tahun 2028, maka persamaan linear yang digunakan adalah:

$$Y = AX + B$$

Dimana: Y : Kapasitas Produksi

X : Tahun

Data impor dan regresi linear yang ditunjukkan pada gambar diatas maka diperoleh persamaan:

$$Y = 68,847 X - 138854$$

$$Y = (68,847 \cdot 2028) - 138854$$

$$Y = 139.482$$

Hal ini akan meningkatkan permintaan etilen oksida di Indonesia menjadi 139.482 ton/tahun pada tahun 2028. Melihat besarnya kebutuhan etilen oksida di

Indonesia maka diharapkan pendirian pabrik ini dapat menjadi sumber penyedia kebutuhan dalam negeri dan sebagian kecilnya dapat diekspor terutama untuk negara-negara ASEAN diantaranya Malaysia, Singapura, Vietnam, dan Philipina yang masih memenuhi kebutuhan produk etilen oksida melalui impor dari negara lain. Selain itu, berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2022), Indonesia mengimpor etilen oksida sebanyak 466.567 ton/tahun, namun dengan mengimpor etilen oksida saja tidak mencukupi kebutuhan etilen oksida di Indonesia. Masih terjadi kekosongan pasar etilen oksida yang masih cukup tinggi yakni sekitar 505.939 ton/tahun oleh karena itu, pendirian pabrik etilen oksida dipilih dengan kapasitas 300.000 ton/tahun, diperlukan juga pertimbangan berdasarkan besar kapasitas dari pabrik etilen oksida yang telah beroperasi di Indonesia maupun luar negeri, karena pabrik tersebut mempunyai analisis dari ekonomi sehingga memberikan banyak keuntungan disesuaikan berdasarkan kapasitas dari hasil produksi.

I.2.2. Kapasitas Pabrik yang Sudah Berdiri

Dalam menentukan kapasitas produksi tidak hanya ditinjau dari kapasitas produksi pabrik etilen yang berada di Indonesia, tetapi perlu dipertimbangkan juga kapasitas produksi etilen yang ada di dunia. Hal ini dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 1. 3 Pabrik Etilen Oksida di dunia beserta kapasitas produksi

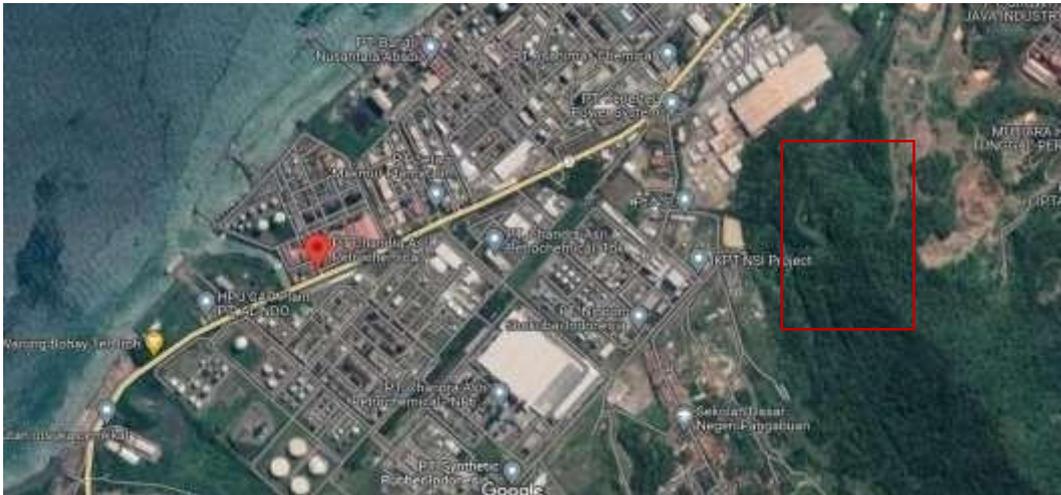
No.	Perusahaan	Lokasi	Ton/Tahun
1	Formosa Petrochemical Corporation	Mailiao, Taiwan	2.935.000
2	Nova Chemicals Corporation	Joffre, Alberta, Canada	2.811.792
3	Arabian Petrochemical Company	Jubail, Saudi Arabia	2.250.000
4	Exxon Mobil Chemical Company	Baytown, TX, USA	2.197.000
5	Chevron Phillips Chemical Company	Sweeny, TX, USA	1.865.000
6	Dow Chemical Company	Terneuzen, Netherlands	1.800.000

7	neos Olefins & Polymers	Chocolate Bayou, TX, USA	1.752.000
8	Yanbu Petrochemical Company	Yanbu, Saudi Arabia	1.705.000
9	Equate Petrochemical Company	Shuaiba, Kuwait	1.650.000
10	Braskem	Triunfo, Brazil	200.000
11	Solvay Indupa	Santo Andre, Brazil	60.000
12	PT Polychem Indonesia	Indonesia	22.000
13	PT Prima Ethycolindo	Indonesia	60.000

Penentuan kapasitas produksi etilen oksida didasarkan pada ketersediaan bahan baku dan permintaan etilen oksida di Indonesia. Bahan baku berupa katalis etilen, oksigen dan katalis perak bersumber dari pabrik Cilegon. Pabrik etilen oksida dengan kapasitas produksi 300.000 ton/tahun akan dibangun pada tahun 2028 untuk memenuhi sebagian kebutuhan bioetanol dan mengurangiketergantungan ekspor untuk memenuhi kebutuhan domestik dan internasional.

I.3. Pemilihan Lokasi Pabrik

Lokasi geografis pabrik memiliki dampak besar pada kelangsungannya. Sebelum mendirikan pabrik, perlu dilakukan kajian dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang relevan. Dalam menentukan lokasi pabrik, kami mempertimbangkan beberapa faktor untuk memastikan bahwa pabrik tersebut layak secara teknis dan ekonomis serta akan dibangun secara menguntungkan, antara lain: Pasokan air, transportasi, kebutuhan tenaga kerja, perluasan lokasi pabrik, karakteristik lokasi, kebijakan pemerintah, limbah pabrik.



Gambar I. 2 Denah Lokasi Pabrik Etilen Oksida

Dengan pertimbangan tersebut, lokasi pabrik di Kawasan Industri Cilegon, Banten, dekat PT. Chandra Asri Petrochemical, Jl. Raya Brigadir Katamso dengan alasan:

I.3.1 Penyediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku sangat diperlukan untuk menjamin kelangsungan produksi pabrik. Bahan baku utama pabrik produksi etilen oksida adalah etilen, oksigen dan air. Etilena diperoleh dari pabrik di Indonesia. Sampai saat ini PT. Pemasok bahan baku utama adalah Chandra Asri Petrochemical Tbk, Cilegon, bahan baku lainnya yaitu oksigen bersumber dari daerah setempat dan air dari sumber air terdekat. Kedekatan bahan baku dengan lokasi pabrik merupakan faktor penting dalam pemilihan lokasi dengan biaya transportasi yang murah. Pelabuhan Cilegon sangat dekat dengan lokasi pabrik, bahkan bahan baku harus didatangkan dari luar negeri.

I.3.2 Pemasaran Produk

Sehubungan dengan pemasaran, pertimbangan harus diberikan untuk menempatkan pabrik di pasar yang memerlukan etilen oksida untuk mengurangi biaya dan waktu pemasaran produk.

Kota Cilegon merupakan kota industri yang menaungi beberapa perusahaan besar. Juga dikenal sebagai *oxirane*, bahan kimia ini banyak digunakan dalam

industri kimia dan farmasi. Etilen oksida adalah zat yang biasanya didaur ulang sebagai campuran dalam industri.

Selain itu, untuk memudahkan akses ke kawasan perdagangan lain seperti Kalimantan dan Sumatra, kami membangun pabrik dikawasan Cilegon yang berada dijalur angkutan Merak dari Jakarta, pintu gerbang menuju Jawa.

I.3.3 Utilitas

Air, listrik, bahan bakar dan utilitas lainnya tersedia sepenuhnya. Listrik yang dibutuhkan dapat disediakan oleh generator yang ada dan airnya dapat diperoleh dari sungai atau air laut. Bahan bakar yang Anda butuhkan, solar yang menggerakkan genset, berasal dari Pertamina.

I.3.4 Fasilitas Transportasi

Mendistribusikan hasil produksi dan mendapatkan bahan baku dapat diangkut melalui jalur darat dan laut. Lokasi pabrik ini berdekatan dengan jalan raya dan lepas pantai yang menghubungkan kota-kota besar sehingga memperlancar distribusi hasil produksi.

I.3.5 Tenaga Kerja

Lokasi pabrik terletak di dekat masyarakat setempat untuk memfasilitasi perekrutan tenaga kerja. Ketersediaan pekerja yang berkualitas dan terlatih mempercepat proses produksi.

I.3.6 Keadaan Iklim

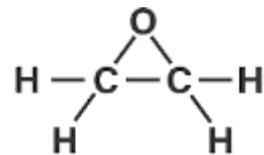
Lokasi yang dipilih sudah cukup stabil mengingat daerah Indonesia memiliki iklim tropis dengan suhu 20 °C – 30 °C sehingga produksi dan operasi pada pabrik diharapkan bisa berjalan dengan lancar mengingat kemungkinan bencana alam misalnya tanah longsor, gempa bumi, maupun banjir bandang jarang terjadi.

I.3.7 Faktor Penunjang

Pemerintah telah menetapkan Cilegon sebagai kawasan industri faktor ketersediaan energi listrik, iklim, air, bahan bakar bukanlah suatu kendala karena telah dilakukan pertimbangan sebelum penetapan kawasan tersebut. Maka dari itu Cilegon dapat dikatakan layak dijadikan pabrik etilen oksida di Indonesia.

I.4. Tinjauan Pustaka

Etilen oksida adalah gas yang tidak berwarna, sangat reaktif, dan mudah terbakar dan diproduksi sebagai monomer polietilen. Etilen oksida menyebabkan efek toksik jika terhirup. Menghirup terlalu banyak gas etilen oksida dapat menyebabkan gejala seperti pusing, kejang (tiba-tiba), dan koma. Nama lain untuk senyawa ini adalah epoksietan, oksiran, dimetiloksida. Reaktivitas etilen oksida yang tinggi disebabkan oleh kompresi yang sangat ketat dari ikatan antar atom dalam molekul etilen oksida. Seperti terlihat pada gambar di bawah ini, sudut ikatan antar atom karbon pada senyawa etilen oksida adalah 60° , sedangkan sudut ikatan antar atom karbon adalah $109,5^\circ$ (Clark, 2003).



Gambar I. 3 Struktur etilen oksida

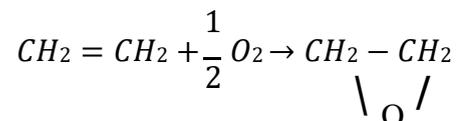
Etilen oksida merupakan produk yang dihasilkan dari reaksi oksidasi etilen dengan 118 oksigen. Etilen sendiri dapat dihasilkan dari perengkahan hidrokarbon seperti etana, nafta, *gas oil*, *hydrowax* menjadi etilen atau dapat pula melalui proses *oxide hydrogenation* etana (Hessel, 2001).

I.4.1. Dasar Reaksi dan Mekanisme Reaksi

Dasar reaksi pembentukan etilen oksida:



Mekanisme reaksi pembentukan etilen oksida:



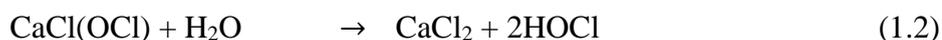
Proses pembentukan etilen oksida dengan proses oksidasi langsung antara etilen dengan udara dan etilen dengan oksigen lalu etilen dengan klorohidrin dalam skala industri berlangsung pada suhu 250°C dan tekanan 25 atm dengan bantuan katalis perak.

I.4.2. Tinjauan Proses

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

1. Proses Klorohidrin

Proses klorohidrin terdiri dari dua tahap yaitu proses produksi etilen-klorohidrin sebagai zat antara dan proses dehidroklorinasi etilen-klorohidrin dengan sodium atau kalsium hidroksida. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut: (Ketta, 1979).



Reaksi pembentukan kalsium oksiklorida dilakukan dengan melewatkan gas klorin melalui bubuk kapur dan etilena dengan tekanan 43 psi pada suhu 20 °C. Menggelembungkan gas klorin melalui larutan oksiklorida dan menghasilkan etilena klorohidrin. Membuat etilen oksida dengan mereaksikan etilena klorohidrin dengan natrium hidroksida pada suhu 15-25 °C dan tekanan 36 psi (Ketta, 1979).

2. Proses Oksidasi Langsung

Prinsip proses oksidasi langsung ini adalah oksidasi fasa uap etilen dengan oksigen atau udara menggunakan katalis preak pada suhu 220-300 °C dan tekanan 10-30 bar. Berbeda dengan proses klorohidrin, proses oksidasi langsung ini hanya menghasilkan sedikit produk sampingan selain air dan karbon dioksida (Perzon, 2015).

a. Proses oksidasi langsung menggunakan oksigen

Pada proses ini reaksi utamanya adalah pembentukan etilen oksida dan reaksi sampingnya menghasilkan karbon dioksida dan air (Ketta, 1979).

Reaksi utama:



Reaksi samping:



Reaksi berlangsung dalam *reactor fixed bed multitube* dengan tekanan 25 atm pada suhu 250 °C dengan bantuan katalis perak. Konversi perlintasan adalah 15% tetapi selektivitasnya cukup tinggi yaitu 75%. Selain pembuatan etilen oksida, produk sampingnya berupa CO₂ dan H₂O, sehingga menggunakan rangkaian pemisah CO₂ dan penyerap CO₂ agar mengurangi kandungan CO₂ dari gas yang keluar dari penyerap sebelum dikembalikan ke reaktor.

Sebagai tambahan untuk mencegah efek eksplosif etilena pada oksigen, gas *diluent* dalam bentuk nitrogen murni atau etana murni harus ditambahkan ke dalam *siklus* reaktor (Ketta, 1979).

b. Oksidasi langsung menggunakan udara

Pada proses ini berlangsung reaksi utama yaitu pembentukan etilen oksida, dan reaksi sampingnya berupa karbon dioksida dan air (Ketta, 1979).

Reaksi utama:



Reaksi samping:



Menggunakan udara dengan kandungan nitrogen tinggi menghilangkan kebutuhan akan gas pengencer untuk mencegah eksploitasi dan juga bertindak sebagai pendingin reaksi. Ketika bereaksi dengan udara sebagai oksidan, produk sampingan CO₂ dan H₂O terbentuk. Investasi yang lebih ekonomis menguntungkan.

Selain itu, tidak diperlukan pengencer khusus selama proses reaksi. Namun, karena udara kaya nitrogen digunakan sebagai oksidan, pembersihan diperlukan untuk mencegah penumpukan nitrogen (Ketta, 1979).

Proses ini terdiri dari reaksi utama dan reaksi samping. Pada dasarnya reaksinya sama dengan oksigen industri, menggunakan suhu 250 °C, tekanan 10-30 bar dan katalis perak.

I.4.3. Pemilihan Proses

Terdapat 3 proses yang dapat digunakan dalam pembuatan etilen oksida seperti yang telah dijelaskan diatas, proses yang dapat digunakan ialah oksidasi langsung etilen menggunakan udara, oksidasi langsung etilen menggunakan

oksigen teknis, dan khlorohidrin. Untuk mengetahui beberapa perbandingan pada setiap proses tersebut, dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. 4 Kelebihan dan kekurangan dari proses pembuatan etilen oksida

Variabel/ Parameter	Proses Khlrohhidrin	Proses Oksidasi Oksigen	Proses Oksidasi Udara
Suhu	27 - 43 °C	220 – 280 °C	220 – 280 °C
Tekanan	2 – 3 atm	10 – 20 atm	10 – 30 atm
Konversi	n.a	8% - 12%	85%
Selektivitas	85% - 95%	75% - 82%	99%
Produksi Samping	Kalsium Klorida, Air	Karbon Dioksida, Air	Karbon Dioksida, Air

Dari ketiga jenis proses diatas dapat dilihat perbedaan proses dalam pembuatan etilen pada beberapa perbandingan berdasarkan data suhu, tekanan, konversi, yield dan lainnya terdapat pada tabel dibawah ini:

Tabel 1. 5 Perbandingan beberapa proses pembuatan etilen oksida

Jenis Proses	Kelebihan	Kekurangan
Proses Klorohidrin	Yield etilen oksida yang tinggi mencapai 80%	Biaya produksi tinggi
	Selektivitas proses 45-85% mol	Jumlah limbah yang signifikan
	Menggunakan <i>reactor packed tower</i> karena tidak membutuhkan katalis	Kebutuhan klorin tinggi
Proses Oksidasi langsung dengan oksigen	Selektivitas proses 50-82% mol	Perlu penambahan gas N ₂ atau metana agar mencegah eksplosivitas etilen terhadap oksigen.
		Memerlukan fractionation plant untuk menghasilkan oksigen dngan kemurnian tinggi
	Jumlah gas <i>inert</i> di siklus relatif konstan	Membutuhkan CO ₂ <i>removal section</i>

		Menggunakan reaktor <i>fixedbed multitube</i> karena membutuhkan katalis
Proses Oksidasi Langsung dengan Udara	Udara mudah didapatkan.	Untuk mencapai selektivitas yang sama (proses oksidasi dengan oksigen), membutuhkan air <i>purification</i> , <i>vent gas treating</i> , dan <i>multi-stage compressor</i> .
	Selektivitas metode ini adalah 63-75%.	
	N ₂ di udara merupakan pengencer sebagai pendingin selama reaksi berlangsung	
	Jauh lebih aman dan lebih mudah ditangani	Menggunakan <i>reactor fixed bed multitube</i> karena membutuhkan katalis

Dari ketiga proses diatas dipilih proses oksidasi langsung dengan udara, karena pertimbangan sebagai berikut: (Mc. Ketta, 1979).

1. Proses paling sederhana dan bahan yang digunakan tidak terlalu berbahaya.
2. Selektifitas dan konversi yang dihasilkan cukup tinggi.
3. Biaya investasi yang tidak terlalu tinggi.
4. Jumlah gas *inert* (N₂) dalam siklus tetap sehingga mudah untuk di kontrol.

I.4.4. Tinjauan Kinetika

Dari kinetika, laju reaksi etilen untuk membentuk etilen oksida meningkat dengan meningkatnya suhu. Menurut Persamaan Arrchenius (Hawkes, 1992).

$$k = A e^{-E_a/RT}$$

$$\ln k = A - \frac{E_a}{RT}$$

Dimana:

k = konstanta kecepatan reaksi

A = faktor frekuensi tumbukan

E_a = energi aktivasi

R = konstanta gas

T = suhu

Dari persamaan diatas, harga A, E_a, dan R konstan. Sehingga harga konstanta kecepatan reaksi (k) hanya dipengaruhi oleh suhu, dimana dengan kenaikan suhu maka kecepatan reaksinya akan semakin besar.

Dari Dettwiler 1979 diperoleh harga konstanta kecepatan reaksi (k) untuk reaksi pembentukan etilen oksida adalah:

$$r = k_1 \frac{(Pc)K_{C_2H_4}}{1 + (Pc) \cdot K_{C_2H_4}}$$

$$r = k_2 \frac{(Pc)K_{C_2H_4}}{1 + (Pc) \cdot K_{C_2H_4}}$$

Dimana

k_1, k_2 = konstanta kecepatan reaksi 1 dan reaksi 2
(mol gram katalis⁻¹. detik⁻¹)

$$k_1 = 40,69 \exp\left[\frac{-76970}{RT}\right]$$

$$k_2 = 1,34 \exp\left[\frac{-63070}{RT}\right]$$

$K_{C_2H_4}$ = konstanta keseimbangan *over-all*, bar⁻¹

$$K_{C_2H_4} = 1,84 \times 10^{-4} \exp\left[\frac{-53550}{RT}\right]$$

T = suhu reaksi, K

R = konstanta gas ideal, J. mol⁻¹. K⁻¹

(Pc) = tekanan parsial etilen, bar

$$K_{C_2H_4} = 1,84 \times 10^{-4} \exp\left[\frac{-53550}{RT}\right]$$

$$K_{C_2H_4} = 41,050 \text{ bar}^{-1}$$

2 4

I.4.5. Tinjauan Termodinamika

Reaksi eksotermis atau endotermis dapat ditentukan dengan menghitung kalor reaksi (ΔH) pada suhu 25 °C (298 K) dan tekanan 1 atm menggunakan persamaan reaksi:

Reaksi utama :



Reaksi samping :



Dalam masing-masing komponen harga ΔH°_f pada 298 K adalah: (Smith, 1987).

$$\Delta H^{\circ}_f \text{C}_2\text{H}_4 = 52510 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H^{\circ}_f \text{O}_2 = 0 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H^{\circ}_f \text{C}_2\text{H}_4\text{O} = -52630 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H^{\circ}_f \text{H}_2\text{O} = -241814 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H^{\circ}_f \text{CO}_2 = -393510 \text{ J/mol}$$

Jika $\Delta H = (-)$ reaksi bersifat eksotermis

Jika $\Delta H = (+)$ reaksi bersifat endotermis

Untuk reaksi (1):

Dalam hubungan ini:

$$\Delta H^{\circ}_{298(1)} = \sum \Delta H^{\circ}_{\text{Produk}} - \sum \Delta H^{\circ}_{\text{reaktan}}$$

$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}_{298(1)} &= -52630 \text{ J/mol} - (52510 \text{ J/mol} + 0 \text{ J/mol}) \\ &= -105140 \text{ J/kmol} \\ &= -105,14 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Untuk reaksi (2):

$$\Delta H^{\circ}_{298(2)} = \sum \Delta H^{\circ}_{\text{Produk}} - \sum \Delta H^{\circ}_{\text{reaktan}}$$

$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}_{298(2)} &= (-393510 \text{ J/mol} \times 2) + (-241814 \text{ J/mol} \times 2) - \\ &\quad (52510 \text{ J/mol} + (3 \times 0 \text{ J/mol})) \\ &= -1323158 \text{ J/kmol} \\ &= -1323,158 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas maka disimpulkan yaitu nilai ΔH masing-masing reaksi adalah negatif sehingga kedua reaksi bersifat eksotermis. Reaksi dapat bersifat searah atau bolak-balik, seperti yang ditunjukkan oleh nilai konstanta kesetimbangan (K) menurut persamaan (Smith, 1987).

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

Dimana:

ΔG^0 = energi bebas Gibbs

R = konstanta gas

T = suhu

K = konstanta keseimbangan reaksi

Vant't Hoff menyatakan bahwa pengaruh suhu pada konstanta kesetimbangan (Persamaan 1.12): (Perry's, 2008).

$$\frac{d \ln K}{d \cdot T} = \frac{-\Delta G^0}{R \cdot T^2}$$

Dimana ΔG^0 :

$$\Delta G^0 \text{ C}_2\text{H}_4 = 68840 \text{ J/kmol}$$

$$\Delta G^0 \text{ O}_2 = 0 \text{ J/kmol}$$

$$\Delta G^0 \text{ C}_2\text{H}_4\text{O} = -13230 \text{ J/kmol}$$

$$\Delta G^0 \text{ H}_2\text{O} = -228590 \text{ J/kmol}$$

$$\Delta G^0 \text{ CO}_2 = -394370 \text{ J/kmol}$$

Untuk reaksi (1.13):

$$\Delta G^0 \text{ reaksi (1.13)} = \Sigma \Delta G^0_{\text{produk}} - \Sigma \Delta G^0_{\text{reaktan}}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^0 \text{ reaksi (1.13)} &= -13230 \text{ J/kmol} - (68840 \text{ J/kmol} + 0) \\ &= -82070 \text{ J/kmol} \\ &= -82,070 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Untuk reaksi (1.14):

$$\Delta G^0 \text{ reaksi (1.14)} = \Sigma \Delta G^0_{\text{produk}} - \Sigma \Delta G^0_{\text{reaktan}}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^0 \text{ reaksi (1.14)} &= (-228590 \text{ J/kmol} \times 2) + (-394370 \text{ J/kmol} \times 2) - \\ &\quad (68840 \text{ J/kmol} + (3 \times 0)) \\ &= -1314760 \text{ J/kmol} \\ &= -1314,760 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Untuk reaksi (1.13):

$$\Delta G^0_{298} = -RT \ln K_{298}$$

$$-82,070 \text{ KJ/mol} = - (0,008314 \text{ KJ/mol} \times 298\text{K} \times \ln K_{298})$$

$$\ln K_{298} = 33,125$$

$$K_{298} = 2,4 \times 10^{14}$$

$$\ln \left[\frac{K_2}{K_1} \right] = \left[\frac{-\Delta H_{298}}{R} \right] \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]$$

$$\ln \left[\frac{K_{523}}{K_{298}} \right] = \left[\frac{-\Delta H_{298}}{R} \right] \left[\frac{1}{T_{523}} - \frac{1}{T_{298}} \right]$$

$$\ln \left[\frac{K_{523}}{K_{298}} \right] = \left[\frac{-(-105,14 \text{ kJ/mol})}{0,008314 \text{ kJ/mol}} \right] \left[\frac{1}{523 \text{ K}} - \frac{1}{298 \text{ K}} \right]$$

$$\ln \left[\frac{K_{523}}{K_{298}} \right] = -18,25$$

$$\left[\frac{K_{523}}{K_{298}} \right] = 1,186 \times 10^{-8}$$

$$K_{523} = 1,186 \times 10^{-8} \cdot 2,4 \times 10^{14}$$

$$K_{523} = 2,484 \times 10^6$$

Untuk reaksi (1.14):

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

$$-1314,760 \text{ kJ/mol} = -(0,008314 \text{ kJ/mol K} \cdot 298 \text{ K} \cdot \ln K_{298})$$

$$\ln K_{298} = 530,665$$

$$\ln \left[\frac{K_2}{K_1} \right] = \left[\frac{-\Delta H_{298}}{R} \right] \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right]$$

$$\ln \left[\frac{K_{523}}{K_{298}} \right] = \left[\frac{-\Delta H_{298}}{R} \right] \left[\frac{1}{T_{523}} - \frac{1}{T_{298}} \right]$$

$$\ln \left[\frac{K_{523}}{K_{298}} \right] = \left[\frac{-(-1323,158 \text{ kJ/mol})}{0,008314 \text{ kJ/mol}} \right] \left[\frac{1}{523 \text{ K}} - \frac{1}{298 \text{ K}} \right]$$

$$\ln K_{523} - \ln K_{298} = -229,7756$$

$$\ln K_{523} - 530,665 = -229,7756$$

$$\ln K_{523} = 300,909$$

$$K_{523} = 1.942426 + 130$$

Kedua reaksi bersifat searah (*irreversible*) karena nilai K sangat besar untuk setiap reaksi.

