

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan industri khususnya industri yang mengolah bahan mentah menjadi bahan mentah maupun bahan jadi di Indonesia ini terus mengalami peningkatan. Hal ini diharapkan dapat bersaing dengan negara maju lainnya. Di Indonesia saat ini, kawasan industri kimia banyak mengalami pertumbuhan yang signifikan dengan banyak berdirinya pembangunan perusahaan atau pabrik-pabrik kimia. Akan tetapi hal dalam kebutuhan impor produk atau bahan baku dari luar negeri masih terlalu besar dibandingkan dengan ekspor produksi kebutuhan dalam negeri. Untuk itu, maka industri kimia saat ini harus dikembangkan lebih agar tidak selalu bergantung pada negara lain.

Jika bahan baku dan bahan penunjang ini bisa dihasilkan di dalam negeri, hal ini tentunya akan menghemat pengeluaran devisa, meningkatkan ekspor, mengembangkan penguasaan teknologi dan membuka lapangan pekerjaan. Dengan berdirinya pabrik ini diharapkan dapat merangsang berdirinya pabrik lain yang menggunakan produk pabrik tersebut. Selain itu dapat memberikan manfaat lain yaitu membuka kesempatan lapangan pekerjaan, dalam usaha mengurangi jumlah pengangguran dan kemiskinan, karena dalam mendirikan pabrik diperlukan tenaga ahli terdidik, dan meningkatkan pendapatan daerah setempat.

Etilen oksida merupakan senyawa organik golongan eter dengan rumus molekul C_2H_4O yang merupakan hasil oksidasi langsung antara etilen dan udara dengan bantuan katalis perak. Bahan kimia yang juga dikenal sebagai *oxirane* ini berwujud gas tidak berwarna, terkondensasi pada suhu $10^{\circ}C$, mudah terbakar pada suhu ruangan dan berbau manis. Etilen oksida ini banyak dimanfaatkan dalam industri kimia dan farmasi. Secara langsung etilen oksida digunakan sebagai bahan desinfektan yang efektif dan banyak digunakan untuk keperluan rumah tangga. Bidang kedokteran biasa memanfaatkan etilen oksida untuk sterilisasi peralatan bedah, plastik dan alat-alat lain yang tidak tahan panas yang tidak dapat di sterilkan dengan uap. Dalam bidang industri, penggunaan etilen oksida juga

cukup luas. Selain digunakan sebagai bahan baku pembuatan etilen glikol, etilen oksida juga digunakan sebagai bahan insektisida, bahan *intermediet* pembuatan etanol *amine*, glikol eter dan polietilen oksida (Kirk-Othmer, 2007).

Proses pembuatan etilen oksida C_2H_4O ada dua macam yaitu proses *Wurst* (Klorohidrin) dan proses oksidasi langsung dimana proses klorohidrin ini sudah tidak dioperasikan lagi secara komersial. Karena proses klorohidrin lebih mahal tiga sampai empat kali dari pada proses oksidasi langsung. Kemudian proses oksidasi langsung adalah reaksi fase gas antara etilen dan oksigen atau udara dengan katalisator perak pada suhu $220-300^{\circ}C$ dan tekanan 10-30 bar. Proses oksidasi langsung ini menghasilkan *by-product*, selain air dan karbon dioksida, dalam jumlah yang sedikit berbeda dengan proses klorohidrin masalahnya terdapat pada pengolahan limbah dimana cukup banyak mengandung *calcium chloride* dan sejumlah hidrokarbon terklorinasi dan glikol.

Bahan baku utama pembuatan etilen oksida adalah etilen, dengan beroperasinya pabrik etilen Chandra Asri di Merak dengan kapasitas produksi 900.000 ton/tahun maka kebutuhan etilen akan mudah diperoleh dan lebih murah karena melalui jaringan pemipaan. Keuntungan dengan didirikannya pabrik etilen oksida juga memacu pertumbuhan industri hilir, dapat bermanfaat untuk memenuhi kebutuhan etilen oksida didalam negeri, dapat mengurangi ketergantungan impor terhadap negara lain, dapat menghemat devisa negara, dapat menciptakan lapangan kerja baru bagi masyarakat dan dapat menunjang pemerataan pembangunan. Dari banyaknya pertimbangan dan didapatkan banyak keuntungan pendirian pabrik etilen oksida di Indonesia merupakan hal yang tepat, maka dari itu diperlukan suatu perencanaan pendirian pabrik etilen oksida untuk dapat memaparkan bagaimana merancang suatu pabrik etilen oksida dari bahan baku etilen dan udara

1.2 Rumusan Masalah

Etilen oksida secara umum digunakan sebagai bahan pensteril yang baik, selain itu juga digunakan sebagai pestisida. Di dunia kedokteran, etilen oksida dikenal sebagai bahan pensteril peralatan bedah dirumah sakit. Selain sebagai

penggunaan langsung, etilen oksida merupakan bahan baku pembuatan monoetilen glikol, dietilen glikol, trietilen glikol, polietilen glikol, polietilen oksida, dan etilen glikol eter. Oleh karena itu diperlukan suatu perencanaan pendirian pabrik etilen oksida, sehingga dapat memaparkan bagaimana merancang suatu pabrik etilen oksida dari bahan etilen dan udara.

1.3 Tujuan Perancangan

Tujuan perancangan pabrik pembuatan etilen oksida ini adalah menerapkan ilmu disiplin teknik kimia khususnya dibidang rancang, proses, dan operasi teknik kimia sehingga akan memberikan gambaran kelayakan prarancangan pendirian suatu pabrik etilen oksida dari etilen dan oksigen dengan proses oksidasi langsung.

1.4 Manfaat Perancangan

Manfaat yang mungkin dicapai adalah dapat menciptakan lapangan kerja baru bagi masyarakat dan dapat menunjang pemerataan pembangunan serta dapat meningkatkan taraf hidup masyarakat. Dapat memenuhi kebutuhan permintaan etilen oksida didalam negeri, sehingga dapat mengurangi ketergantungan impor terhadap negara lain dan dapat menghemat devisa negara. Disamping itu juga untuk memanfaatkan sumber daya alam dan memberikan nilai ekonomis pada bahan baku agar menjadi produk yang lebih bermanfaat.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penyusunan dan penyelesaian tugas pra rancangan pabrik etilen oksida adalah hanya pada neraca massa, neraca energi, pembuatan *flow diagram hysys* dan *P&ID*, spesifikasi peralatan, unit utilitas, dan analisis kelangsungan ekonomi.

1.6 Kapasitas Perancangan pabrik

Kapasitas pabrik merupakan faktor yang sangat penting dalam pendirian pabrik karena akan mempengaruhi perhitungan produksi dan ekonomis. Semakin

besar kapasitas pabrik kemungkinan keuntungan yang diperoleh akan semakin besar, tetapi dalam penentuan kapasitas perlu juga dipertimbangkan faktor lainnya. Hal yang perlu diperhatikan dalam penentuan kapasitas pabrik yaitu data kebutuhan etilen oksida di Indonesia hingga dunia.

1.6.1 Kapasitas Pabrik Etilen Oksida di Dunia

Data-data kapasitas pabrik yang telah beroperasi penghasil etilen oksida di dunia dapat dilihat pada Tabel 1.1

Tabel 1.1 Data Produksi Etilen Oksida Beserta Kapasitas di Dunia

No.	Negara	Produsen	Kapasitas (Ton/Tahun)
1.	Amerika Serikat	UCC&P	1.052.000
		Shell	1.323.000
		Scientific Design	807.000
2.	Kanada	UCC&P	290.000
		Shell	185.000
3.	Meksiko	Scientific Design	303.000
4.	Brazil	Scientific Design	149.000
5.	Belgium	UCC&P	120.000
6.	Perancis	Shell	170.000
7.	Jerman	Shell	745.000
		Scientific Design	90.000
8.	Italia	UCC&P	60.000
9.	Belanda	Shell	190.000
		UCC&P	150.000
10.	Inggris	Shell	230.000
11.	Swedia	Scientific Design	40.000
12.	Spanyol	Shell	100.000
13.	Bulgaria	Scientific Design	85.000
14.	Republik Ceko	Shell	55.000
15.	Polandia	Shell	80.000
16.	Roma	Scientific Design	70.000
17.	Rusia	Scientific Design	380.000
18.	Jepang	Shell	449.000
		Scientific Design	100.000
		Dow Chemical	210.000
19.	Republik Rakyat Cina	Scientific Design	325.000
		Dow Chemical	60.000
20.	Taiwan	UCC&P	125.000

		Shell	35.000
		Scientific Design	30.000
21.	India	UCC&P	45.000
		Shell	91.000
		Scientific Design	42.000
22.	Korea Utara	Dow Chemical	10.000
23.	Korea Selatan	Shell	180.000
		Scientific Design	160.000
24.	Australia	Scientific Design	30.000
25.	Singapura	Shell	80.000
26.	Turki	Shell	50.000
27.	Arab Saudi	Shell	360.000
		Scientific Design	270.000

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

Kapasitas pabrik yang akan didirikan harus berada di atas kapasitas minimal atau sama dengan kapasitas pabrik yang sedang berjalan dan kapasitas pabrik baru yang menguntungkan. Di Indonesia pabrik Etilen Oksida hanya ada satu yaitu PT Prima Ethycolindo dengan kapasitas terpasang 80.000 Ton/Tahun.

1.6.2 Data Kebutuhan Etilen Oksida di Indonesia

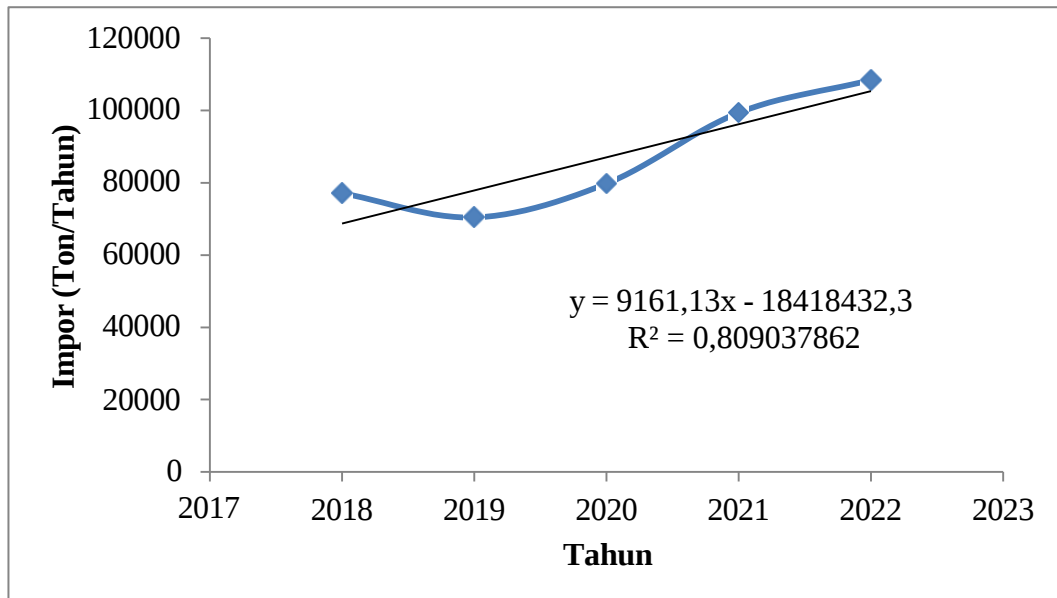
Pendirian pabrik dengan kapasitas tertentu antara lain bertujuan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, membantu perkembangan industri lain yang menggunakan produk tersebut. Kebutuhan impor etilen oksida pada tahun 2018-2020 dapat dilihat pada Tabel 1.2

Tabel 1.2 Kebutuhan Impor Etilen Oksida Dalam Negeri

Tahun	Konsumsi (Ton/Tahun)
2018	77.125,1
2019	70.440,7
2020	79.815,9
2021	99.437,4
2022	108.432,4

(**Sumber** : Badan Pusat Statistik Indonesia, 2018 - 2022)

Dari data kebutuhan etilen oksida dari tahun 2018 sampai 2022 terus meningkat, untuk mengurangi ketergantungan terhadap impor, serta diharapkan Indonesia menjadi negara pengekspor etilen oksida khususnya untuk wilayah Asia, ditargetkan dapat memenuhi kebutuhan etilen oksida khususnya wilayah ASEAN, maka perlu didirikan pabrik etilen oksida agar meningkatkan etilen oksida pada tahun-tahun yang akan mendatang. Berdasarkan data tersebut maka dapat dilihat kebutuhan etilen oksida pada tahun 2028 dengan cara ekstrapolasi data. Hasil ekstrapolasi kebutuhan etilen oksida di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1.1



Gambar 1.1 Grafik Data Kebutuhan Etilen Oksida di Indonesia

Berdasarkan grafik kebutuhan Etilen Oksida (C_2H_4O) di Indonesia didapatkan persamaan garis lurus $y = 9161,13x - 18418432,2$ dengan x sebagai fungsi tahun dan nilai $R^2 = 0,81$. Hal ini dilakukan agar perhitungan kapasitas produksi Etilen Oksida dapat menguntungkan.

$$y = 9161,13x - 18418432,2$$

$$y = 9161,13(2028) - 18418432,2$$

$$y = 160.339,34$$

Sehingga prediksi nilai kebutuhan Etilen Oksida (y) pada tahun tersebut sebanyak 160.339,34 ton/tahun melalui pertimbangan sebagai berikut:

- a. Kapasitas pabrik yang akan didirikan harus berada diatas kapasitas minimal atau sama dengan kapasitas pabrik yang sedang berjalan dan kapasitas pabrik baru yang menguntungkan (Mc. Ketta,1976).
- b. Kapasitas produksi pabrik etilen oksida yang sudah beroperasi di dunia berkisar 10.000 ton/tahun sampai 1.052.000 ton/tahun.
- c. Total kebutuhan dalam negeri pada saat pabrik beroperasi tahun 2028 adalah sebesar 150.000 ton/tahun dan kemungkinan akan terus meningkat.

Tabel 1.3 Data Ekstrapolasi Kebutuhan Etilen Oksida di Indonesia

Tahun	Konsumsi (Ton/Tahun)
2023	114.533,69
2024	123.694,82
2025	132.855,95
2026	142.017,08
2027	151.178,21
2028	160.339,34

(Sumber : Microsoft Excel 2023)

Berdasarkan data konsumsi etilen oksida pada Tabel 1.3 maka pabrik direncanakan akan beroperasi pada tahun 2028 dengan kapasitas 150.000 ton/tahun. Kapasitas perancangan pabrik etilen oksida ini ditetapkan sebesar itu dengan harapan:

1. Dapat memenuhi kebutuhan etilen oksida dalam negeri yang terus meningkat setiap tahun.
2. Dapat memberikan kesempatan bagi berdirinya industri-industri lain yang menggunakan etilen oksida sebagai bahan baku, dan dampak positif dari berkembangnya industri baru tersebut adalah dapat menyerap banyak tenaga kerja dan mengurangi angka pengangguran di Indonesia.
3. Dapat menghemat devisa negara yang cukup besar karena berkurangnya impor etilen oksida serta mengurangi ketergantungan pada negara lain.

1.6.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku merupakan kebutuhan utama bagi kelangsungan produksi suatu pabrik sehingga penyediaan bahan baku sangat di prioritaskan. Bahan baku utama pembuatan etilen oksida yaitu etilen yang diperoleh dari PT. Chandra Asri Petrochemical Center yang memiliki kapasitas produksi 900.000 dan konsentrasi sebesar 99,95% dalam fase gas. Katalis perak (Ag) didapatkan dari Linyi Peace Precious Metal Catalyst Co.,Ltd.,Cina. Mengingat ketersediaan bahan baku yang melimpah dan kebutuhan akan etilen oksida yang sangat besar, maka dapat dipertimbangkan lebih lanjut untuk mendirikan pabrik tersebut.

Pemilihan bahan baku merupakan hal yang penting dalam produksi etilen oksida, karena kemurnian produk yang dihasilkan dan desain pabrik tergantung dari kualitas bahan bakunya. Bahan baku yang digunakan adalah etilen dan oksigen. Beberapa hal yang mendasari pemilihan bahan baku tersebut adalah :

1. Bahan baku yang relatif lebih murah.
2. Bahan baku yang mudah didapat karena telah diproduksi di Indonesia.
3. Bahan baku tersedia cukup banyak sehingga kelangsungan pabrik serta kontinuitasnya dapat terjamin.

1.7 Pemilihan Proses

Pada dasarnya proses pembuatan etilen oksida yang beragam memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Adapun beberapa proses pembuatan etilen oksida secara komersial yang dikembangkan adalah :

1.7.1 Proses Klorohidrin (*Wurst*)

Proses ini dikenal juga dengan proses klorohidrin yang merupakan proses pertama pembuatan etilen oksida dan saat ini sudah tidak dioperasikan lagi secara komersial dikarenakan biaya investasi awal yang terlalu mahal. Proses ini terdiri dari dua reaksi utama yaitu reaksi pembentukan etilen klorohidrin dari asam hipoklorat dan etilen serta reaksi pembentukan etilen oksida dari etilen klorohidrin dan basa Ca(OH)_2 . Reaksinya adalah:



(Kirk-Othmer, 1990)

Proses klorohidrin ini dilakukan dalam *packed towers* pada suhu 27-34°C dan tekanan 2-3 atm dengan yield 45-85%. Untuk menghindari pembentukan produk samping (etilen diklorida, *dichlorodiethyle ether* dan lain-lain) konsentrasi klorohidrin dalam larutan reaksi klorohidrin dipertahankan di bawah 7 wt% (Kirk-Othmer, 1990).

Tahap kedua dari proses, dehidroklorinasi, dilakukan dengan menambah 10% *slurry* Ca(OH)_2 pada larutan klorohidrin yang keluar dari dasar reaktor pertama. Campuran tersebut kemudian dipanaskan sampai 100°C pada *hydrolyzer*, sebuah *vessel* berbentuk silinder dengan kondenser parsial yang beroperasi pada tekanan atmosferis. Reaksi klorohidrin dengan Ca(OH)_2 menghasilkan etilen oksida dengan sedikit produk samping dan juga air. *Yield* yang dihasilkan pada kondisi yang optimal secara teoritis adalah 95%. Aliran uap dari *hydrolizier* dilewatkan melalui pendingin dan dikondensasi secara parsial kemudian diumpankan ke bagian fraksinasi (Mc Ketta, 1984). Proses klorohidrin lebih mahal 3-4 kali daripada proses oksidasi langsung. Kelemahan lain dari proses klorohidrin adalah masalah pengolahan limbah dimana cukup banyak mengandung calcium chloride dan sejumlah hidrokarbon terklorinasi dan glikol. Berikut ini kelebihan dan kekurangan Proses Klorohidrin *Wurst* dapat dilihat pada Tabel 1.4

Tabel 1.4 Kelebihan dan Kekurangan Proses *Wurst*

Kelebihan	Kekurangan
1. Selektivitas proses berkisar 45-95%	1. Biaya produksi lebih mahal
2. Suhu dan tekanan operasi reaksi berkisar 27°C - 43°C dan 2 – 3 bar	2. Perlu <i>treatment</i> limbah cukup banyak
	3. Terdapat produk samping yang mengandung klor
	4. Dibutuhkan peralatan tahan korosi yang harganya sangat mahal
	5. Memerlukan rangkaian alat yang cukup banyak

1.7.2 Proses Direct Oxidation

Proses pembentukan etilen oksida dengan oksidasi langsung ditemukan oleh Lefort pada tahun 1931 dan dikomersialkan pertama kali pada tahun 1937. Oleh karena faktor ekonomi, proses ini mulai menggantikan proses klorohidrin pada tahun 1950.

Prinsip dari proses oksidasi langsung ini adalah reaksi oksidasi fase gas antara etilen dan oksigen atau udara dengan katalisator perak pada suhu 220-300°C dan tekanan 10-30 bar. Berbeda dengan proses klorohidrin, proses oksidasi langsung ini menghasilkan *by product*. Reaksi pembentukan etilen oksida dengan oksidasi secara langsung, antara lain (Hanna Perzon, 2015):



(Kirk-Othmer, 1990)

Pada Proses oksidasi langsung ini diperlukan adanya inhibitor berupa *ethyle chloride* (2,5-3,0 ppm) atau *vinyl chloride* (4-6 ppm) untuk mencegah terjadinya reaksi oksidasi total dan meningkatkan selektivitas etilen oksida.

1. Oksidasi Langsung dengan Oksigen

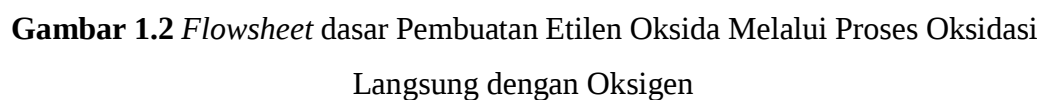
Pada proses oksidasi langsung dengan oksigen ini, dibutuhkan oksigen dengan kemurnian yang tinggi (>95%). Selektifitas etilen oksida dan konversi yang dihasilkan adalah 75-99% (Kirk-Othmer, 1992).

Dalam proses ini terjadi reaksi utama yaitu pembentukan etilen oksida



Reaksi dijalankan dalam reaktor *fixed bed multi Tube* dengan kondisi tekanan 10-20 bar dan suhu 220-277 °C dengan menggunakan katalis perak. *Selectivity* etilen menjadi etilen oksida yang dihasilkan berkisar 75-82%. Meskipun reaksi fundamental dan hasil akhirnya sama, ada perbedaan substansial dalam detail antara proses berbasis udara dan oksigen. Hampir semua perbedaan muncul dari perubahan zat pengoksidasi dari udara. Karena konversi per lintasan yang rendah, kebutuhan untuk menghilangkan etilen oksida secara menyeluruh melalui absorpsi. Sebagai konsekuensi langsung dari aliran pembersihan ini,

Proses berbasis oksigen pada dasarnya menggunakan oksigen murni, mengurangi jumlah gas lembam yang dimasukkan ke dalam siklus dan dengan demikian menghasilkan daur ulang yang hampir sempurna dari etilen yang tidak diubah. Ini menghilangkan kebutuhan akan sistem reaktor pembersih dalam proses berbasis oksigen.



Tabel 1.5 Kelebihan dan Kekurangan Proses Oksidasi Langsung dengan Oksigen

Kelebihan	Kekurangan
1. Konversi tinggi berkisar 75-99%	1. Perlu ditambahkan <i>diluent</i> gas N ₂
2. Selektivitas proses berkisar 75-82 mol%	2. Jika digunakan <i>diluent</i> selain nitrogen, maka dibutuhkan kapasitas <i>purge</i> yang lebih besar dan
3. Relatif membutuhkan lebih sedikit	

katalis	kehilangan dari bahan baku etilen
4. Limbah gas yang dihasilkan sedikit	akan lebih besar
5. Jumlah gas inert dalam siklus relatif rendah	

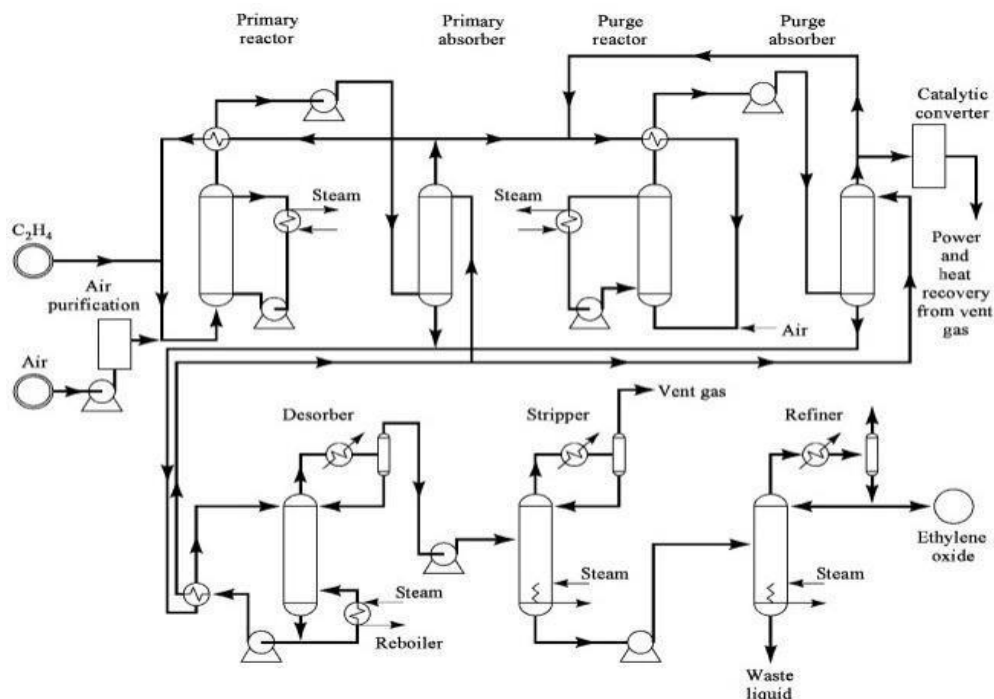
2. Oksidasi Langsung dengan Udara

Pada proses oksidasi langsung dengan udara, komponen nitrogen menjadi komponen dominan pada reaksi campuran gas. Nitrogen merupakan gas inert yang dapat mengurangi eksplosivitas dan juga berfungsi sebagai pendingin selama reaksi (Mc Ketta, 1984). Pembuatan etilen oksida melalui proses ini dengan menggunakan udara bertekanan tinggi yang kemudian dimurnikan guna menghilangkan pengotornya, kemudian dicampurkan dengan etilen dan aliran gas *recycle*. Gas yang telah bercampur lalu diumpankan ke dalam reaktor yang di dalamnya terdapat katalis, agar terjadi reaksi oksidasi menjadi etilen oksida, karbon dioksida, dan air. Untuk memperlambat terbentuknya karbon dioksida, maka ditambahkan inhibitor berupa halida organik seperti etilen diklorida.

Reaksi berlangsung pada temperatur 250-350°C dan tekanannya berkisar antara 20-30 bar dengan katalis perak. *Selectivity* yang dihasilkan berkisar 20-65% lebih rendah dibandingkan dengan oksidasi langsung etilen dengan menggunakan oksigen. Konversi etilen per lintasan dalam reaktor primer dijaga pada 20% -30% untuk memastikan selektivitas katalis 70-80% (Kirk-Othmer,1992).

Proses ini memerlukan volume reaktor yang lebih besar dibanding proses menggunakan oksigen dan untuk mencegah akumulasi nitrogen dalam reaktor dibutuhkan *purging* pada reaktor sehingga membutuhkan biaya investasi yang lebih besar dan proses pengendalian yang lebih cermat. Selain itu pada proses oksidasi menggunakan udara membutuhkan lebih banyak katalis yang digunakan, reaktor yang digunakan lebih banyak (untuk mendapatkan selektifitas yang tinggi), membutuhkan *multi-stage compressors* serta membutuhkan unit pengolahan gas buang yang lebih rumit.

Aliran proses yang keluar dari reaktor dapat mengandung 1-3 mol% etilen oksida. Gas efluen panas ini kemudian didinginkan pada *shell-and-tube heat exchanger* hingga sekitar 35-40°C dengan menggunakan gas aliran umpan reaktor *recycle* dingin dari penyerap primer. Gas produk kotor yang didinginkan dikompresi dalam blower sentrifugal sebelum memasuki penyerap utama. Langkah penting kedua dari proses ini adalah perolehan kembali etilen oksida dari gas produk kotor (Kirk-Othmer, 1992).



Gambar 1.3 Flowsheet dasar Pembuatan Etilen Oksida melalui proses Oksidasi langsung dengan Udara

Kelebihan dan kekurangan pada proses oksidasi langsung dengan udara dapat dilihat pada Tabel 1.6

Tabel 1.6 Kelebihan dan Kekurangan Proses Oksidasi Langsung dengan Udara

Kelebihan	Kekurangan
1. Udara mudah didapat 2. Selektivitas dan konversi proses ini cukup tinggi berkisar 63-75 mol%	1. Memerlukan katalis yang lebih banyak, reaktor lebih banyak (2-3 reaktor seri), <i>air purification</i> ,

dan 20-65%	<i>multi-stage compressor, dan vent gas treating.</i>
3. Tidak diperlukan <i>air fractionation plant</i>	
4. N ₂ pada udara merupakan <i>diluent</i> sebagai pendingin/penyerap panas selama reaksi	

1.8 Perbandingan Proses

Untuk mengetahui beberapa perbandingan pada setiap proses tersebut, dapat dilihat pada Tabel 1.7

Tabel 1.7 Perbandingan Proses Pembuatan Etilen Oksida

	Proses Klorohidrin (<i>wurst</i>)	Proses Oksidasi Udara	
Bahan Baku	Etilen klorohidrin dari asam hipoklorat dan etilen	Etilen, oksigen dan nitrogen	
Tekanan	2-3 bar	20 – 30 bar	
Temperatur	27-43°C	250 – 350°C	
Konversi	n.a	20% - 65%	95%
Kemurnian	90%	95%	
Katalis	-	Perak	Perak
<i>Yield /selectifity</i>	45% - 85%	63% - 75%	75% - 82%
Reaktor	PFR	PFR	PFR

(Sumber : Kirk-Orthmer,1998)

Dari ketiga proses diatas dipilih pembuatan etilen oksida dengan proses oksidasi langsung menggunakan oksigen (O₂) dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Biaya investasi awal yang tidak terlalu tinggi.
2. Selektivitas dan konversi proses yang dihasilkan cukup tinggi
3. Relatif membutuhkan lebih sedikit katalis
4. Limbah gas yang dihasilkan sedikit
5. Jumlah gas inert (N_2) dalam siklus tetap sehingga mudah untuk di control.
6. Produk samping yang dihasilkan tidak terlalu berbahaya
7. Tidak membutuhkan reaktor yang terlalu banyak.

1.9 Uraian Proses

Reaksi pembentukan Etilen Oksida dapat dilakukan pada fase gas antara etilen dan oksigen dengan katalisator perak (Ag). Proses pembuatan etilen oksida secara garis besar dibagi menjadi tahap proses, yaitu :

1. Tahap Persiapan Bahan Baku.
2. Tahap Reaksi.
3. Tahap Pemurnian Hasil.

Menurut (*Europe Patent*, 2020) reaksi yang memiliki selektivitas lebih dari 80% pada *Fixed Bed Reactor* berkatalis di konfigurasi dengan waktu tinggal rata – rata kurang dari atau sama dengan 24 detik terhadap aliran produk etilen oksida berfasa gas.

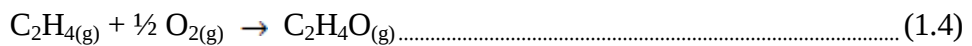
1.9.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Bahan baku Etilen dari PT Candra Asri di pompa menuju tangki penyimpanan (T-101) pada suhu $-71^{\circ}C$ dengan tekanan 5 atm, keluaran tangki (T-101) di pompa untuk menaikkan tekanan menjadi 16,2 menuju ke Vaporizer (vap-101) untuk mengubah fase menjadi gas dengan memanfaatkan aliran keluaran reaktor dengan suhu $260^{\circ}C$ dan tekanan 16 atm. Keluaran Vaporizer (vap-101) dengan suhu $60^{\circ}C$ dan tekanan 16 atm di alirkan menuju *Heater* (E- 102) untuk menaikkan suhu menjadi $220^{\circ}C$. Kemudian keluaran dari *Heater* (E- 102) dialirkan menuju Reaktor (R-201). Bahan baku oksigen melalui *air separation process* (ASP) dengan suhu $30^{\circ}C$ dan tekanan 2,5 atm di alirkan menuju kompresor (K-101) untuk menaikkan tekanan menjadi 16 atm dengan suhu $304^{\circ}C$. Keluaran dari kompresor (K-101) di alirkan menuju ke *Heater* (E-

101) untuk menurunkan suhu menjadi 220°C dan tekanan 16 atm, selanjutnya di alirkan menuju Reaktor (R-201).

1.9.2 Tahap Reaksi

Proses pembuatan etilen oksida dengan oksidasi langsung menggunakan *Plug Flow Reactor* (PFR) dengan katalis perak (Ag) yang dijaga pada kondisi suhu 220°C - 277°C dan tekanan 10 - 20 atm. Reaktan etilen dan oksigen pada suhu 220°C dan tekanan 16 atm diumpankan pada reaktor (R-201) dengan fasa gas. Didalam reaktor akan terjadi reaksi oksidasi (reaksi bersifat eksotermis dan *irreversible*), reaksi dapat dilihat pada persamaan 1.4



Etilen teroksidasi membentuk etilen oksida dan besarnya konversi etilen dapat mencapai 95%. Suhu sangat mempengaruhi konversi terbentuknya etilen oksida. Reaksi berlangsung didalam reaktor plug aliran (PFR) pada suhu 220°C dan tekanan 16 atm dengan bantuan katalis perak (Ag), karena reaksi bersifat eksotermis dan *irreversible* maka reaksi disertai dengan pelepasan panas, akibatnya akan terjadi peningkatan suhu. Untuk mencegah hal tersebut digunakan pendingin. Keluaran reaktor yang bersuhu 220°C pada tekanan 16 atm, kemudian diturunkan tekanannya dengan menggunakan Exp-201 menjadi 4,1 atm dengan suhu 116,7°C. Hasil reaksi didinginkan oleh Cooler-201 menjadi 40°C pada tekanan 4 atm.

1.9.3 Pemurnian dan Penyimpanan Produk

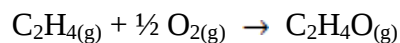
Tahap ini bertujuan untuk memisahkan produk yaitu etilen oksida dari campuran gas dan kemudian di murnikan hingga mencapai komposisi yang diinginkan. Gas keluaran Cooler (E-201) dengan suhu 148°C pada tekanan 10 atm di alirkan menuju Menara Absorber (MA-301) dalam fase gas. Disini etilen oksida akan diserap oleh air sebagai absorben. Air penyerap dimasukkan dari puncak menara dan gas berupa keluaran reaktor (R-201) dari bawah menuju atas dan terjadi kontak antara air penyerap dengan gas. Keluaran absorber yang bersuhu 61°C pada tekanan 10 atm dialirkan menuju Menara Distilasi (D-301) dengan tujuan untuk pemurnian produk etilen oksida. Hasil keluaran atas menara distilasi adalah produk etilen oksida yang telah di kondensasi yang bersuhu 29°C

dan tekanan 2 atm. Sebagian hasil atas akan di kembalikan ke menara distilasi sedangkan yang lainnya di alirkan menuju tangki penyimpanan (T-401). Sedangkan keluaran bawah Menara distilasi merupakan air yang langsung dialirkan menuju *water treatment*.

1.10 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan thermodinamika 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 (ΔH°_f) pada 16 atm dan 220°C (493,15 K). Pada proses pembentukan etilen oksida terjadi reaksi sebagai berikut:

Ditunjukkan dari segi termodinamikanya dengan harha-harga ΔH°_f masing-masing komponen pada suhu 220°C (493,15 K).



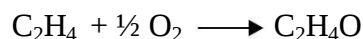
Tabel 1.8 Harga ΔH°_f masing-masing komponen untuk reaksi I

Komponen	harga ΔH°_f (kJ/mol)	harga ΔG°_f (kJ/mol)
C ₂ H ₄	46,8329531	80,2864503
O ₂	0,00	0,00
C ₂ H ₄ O	-59,304235	15,0659655

(Sumber: Yaws, 1999)

1. Mencari nilai ΔH°_f 493,15 K pada reaksi utama.

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



Maka, ΔH_{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 :

ΔG° = Energi bebas gibbs

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

T = Temperature (K)

K = Kontanta kesetimbangan reaksi

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

ΔG_{reaksi} (493,15 K)

Reaksi utama

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

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

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

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

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

Harga ΔG_{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:

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

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

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

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

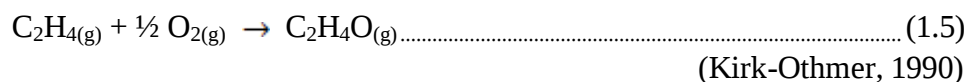
$$K_{298,15} = \exp^{(0.0263242)}$$

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

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

1.11 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 1.7.



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. Berikut harga bahan baku dan produk dari situs Badan Pusat Statistik berdasarkan nilai kurs US\$ 1 = Rp 14.913,95 tertera pada Tabel 1.9

Tabel 1.9 Harga Bahan Baku dan Produk

Bahan Dasar	Berat molekul	Harga Rp/Kg
Etilen	28 gr/mol	13.710
Etilen Oksida	44 gr/mol	17.751

Bahan Baku :

$$\begin{aligned} 1. \quad \text{Etilen (C}_2\text{H}_4) &= 1 \text{ mol} \\ &= 1 \text{ mol} \times 28 \text{ gr/mol} \\ &= 28 \text{ gr} \\ &= 0,028 \text{ kg} \\ &= 0,028 \text{ kg} \times \text{Rp. } 13.710 \\ &= \text{Rp. } 383,88 \end{aligned}$$

$$\text{Total Harga Bahan Baku} = \text{Rp. } 383,88$$

Konversi Produk:

$$\begin{aligned} \text{Etilen Oksida (C}_2\text{H}_4\text{O)} &= 1 \text{ mol} \\ &= 1 \text{ mol} \times 44 \text{ gr/mol} \\ &= 44 \text{ gr} \\ &= 0,044 \text{ kg} \\ &= 0,044 \text{ kg} \times \text{Rp. } 17.751 \\ &= \text{Rp. } 781,044 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Analisa Ekonomi} &= \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan Baku} \\ &= \text{Rp. } 781,044 - \text{Rp. } 383,88 \\ &= \text{Rp. } 397,164 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Net Profit Margin} &= \frac{\text{Analisa Ekonomi}}{\text{Bahan Baku}} \times 100\% \\ &= \frac{397,164}{383,88} \times 100\% \\ &= 103,46\% \end{aligned}$$

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.