

BAB I

PENDAHULUAN

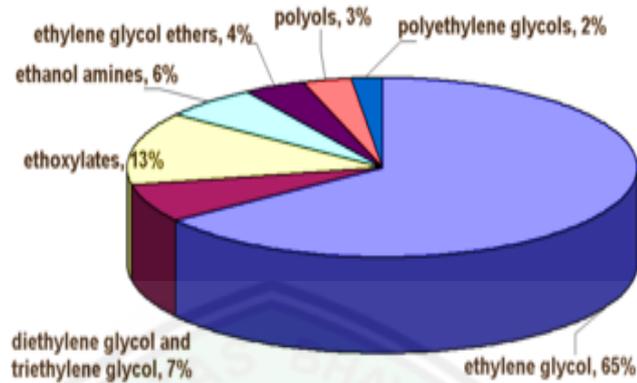
1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang cukup maju dalam sektor industri, banyak kawasan industri bermunculan pada berbagai daerah di Indonesia, hal itu menunjukkan bahwa Indonesia cukup mampu menopang perekonomian dalam negeri melalui banyaknya jenis industri baru, salah satu industri yang cukup berkembang pesat saat ini adalah industri bahan-bahan kimia, dimana dalam pemanfaatannya sangatlah banyak, salah satunya adalah sebagai bahan campuran ataupun bahan baku tertentu untuk memproduksi produk lain (intermediet) ataupun untuk memproduksi produk secara langsung, maka dari itu diharapkan Indonesia dapat memenuhi kebutuhan bahan kimia baik dalam negeri maupun ekspor ke luar negeri.

Salah satu perusahaan kimia yang cukup pesat permintaannya baik didalam maupun diluar negeri adalah industri bahan kimia Etilen Oksida, Etilen Oksida dengan nama lain oxirane ini adalah senyawa organik dengan rumus C_2H_4O , merupakan suatu ether siklik yang terdiri dari alkana dengan atom oksigen terikat pada dua atom karbon alkana, membentuk cincin, Etilen oksida adalah gas yang mudah terbakar, berwarna pada suhu kamar, dengan bau agak manis khas ether, tiga cincin terdiri dari satu atom oksigen dan dua atom karbon. Karena struktur molekul khusus, etilen oksida dengan mudah berpartisipasi dalam reaksi samping, misalnya, membuka cincin dan dengan demikian mudah terpolimerisasi.

Gas ini cukup berbahaya, karena sifat kereaktivitasannya. Meskipun terlalu berbahaya untuk keperluan rumah tangga langsung dan umumnya asing bagi konsumen, etilen oksida digunakan industri untuk membuat banyak produk konsumen serta bahan kimia non-konsumen dan intermediet. Etilen oksida penting bagi produksi deterjen, pengental, pelarut, plastik, dan berbagai bahan kimia organik seperti etilena glikol, ethanolamines, glikol sederhana dan kompleks, eter polyglycol dan senyawa lainnya. Sebagai gas beracun yang tidak

meninggalkan residu pada item itu kontak, murni etilen oksida adalah disinfektan yang banyak digunakan di rumah sakit dan industri peralatan medis untuk menggantikan uap dalam sterilisasi alat tidak tahan panas dan peralatan, seperti jarum suntik plastik sekali pakai.



Gambar 1.1 Penggunaan Etilen Oksida pada tahun 2007

(Sumber: Sri Consulting, 2010)

Dengan kegunaannya yang cukup banyak, maka kebutuhan etilen oksida cukup meningkat termasuk di Indonesia, namun sayangnya sebagian besar kebutuhan Etilen Oksida di Indonesia harus di impor, karena di Indonesia sendiri belum terdapat pabrik untuk memproduksi Etilen Oksida.

Dari potensi yang telah dibahas diatas, maka dari itu kami mencoba mendesain pabrik Etilen Oksida yang diharapkan mampu memenuhi kebutuhan etilen glikol maupun produk lain yang produksinya membutuhkan Etilen Oksida dengan pangsa pasar dalam negeri, sehingga kebutuhan Etilen Oksida dapat didapatkan tanpa harus impor.

1.2 Maksud dan Tujuan

1.2.1 Maksud

Maksud dari perancangan pabrik ini adalah untuk memenuhi kebutuhan Etilen Oksida di Indonesia dan dunia, karena produk ini banyak digunakan sebagai bahan baku maupun bahan *intermediate* pada pabrik kimia, maka dalam

perancangan pabrik ini akan dirancang pabrik kimia yang memproduksi Etilen glikol dengan bahan baku gas Etilen dan Oksigen.

1.2.2 Tujuan

Tujuan dari prarancangan pabrik Etilen Oksida adalah :

1. Untuk meningkatkan jumlah produksi Etilen Oksida yang ada di dalam negeri.
2. Untuk memenuhi kebutuhan industri yang menggunakan Etilen Oksida sebagai bahan baku.
3. Meningkatkan jumlah ekspor Etilen Oksida serta memenuhi kebutuhan dalam negeri
4. Menerapkan disiplin ilmu teknik kimia dalam sebuah prarancangan pabrik kimia.

1.3 Analisa Pasar

1.3.1 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku menjadi hal penting dalam mendirikan suatu pabrik, adapun bahan baku utama dari Etilen Oksida adalah Gas Etilen didapat dari PT. Chandra Asri yang terletak di Cilegon, Banten. Sementara baku udara bisa didapat dari daerah sekitar.

1.3.2 Kebutuhan Produk

Kebutuhan akan Etilen Oksida di Indonesia akan cukup meningkat bila dilihat dari potensi produksi intermedietnya seperti etilen glikol, polietilen glikol, dan pemanfaatannya untuk sterilisasi peralatan medis dengan suhu rendah, selain di dalam negeri, permintaan di luar negeri pun cukup meningkat terutama di wilayah ASEAN, berikut data kebutuhan Etilen Oksida dari beberapa negara di ASEAN dalam satu tahun terakhir (2017) :

Tabel 1.1 Kebutuhan Etilen Oksida di ASEAN

Negara	Impor (Kg/Tahun)
Vietnam	652,9
Thailand	604,5
Singapore	278,4
Filipina	409,6
Malaysia	834,3
China	245,6

Adapun kebutuhan etilen oksida di Indonesia dapat dilihat pada tabel Ekspor-Impor berikut :

Tabel 1.2 Kebutuhan Etilen Oksida di Indonesia

Tahun	Impor (Kg/ Tahun)	Ekspor (Kg/ Tahun)
2014	834,178	139061
2014	1074638	245008
2015	1102210	178953
2016	1031306	389153
2017	1376989	571849

1.4 Penentuan Kapasitas Produksi

Kapasitas Produksi perlu diperhitungkan untuk memastikan hasil daripada proses produksinya dan nilai ekonomisnya. Semua diperhitungkan karena akan mempengaruhi biaya pengeluaran untuk bahan baku dan energi produksi serta pemasukan hasil dari penjualan produknya, di Indonesia sendiri produsen dengan produk utama Etilen Oksida belum ada, satu-satunya perusahaan yang memproduksi Etilen Oksida adalah PT. Polichem Indonesia, namun tidak

menjadikannya sebagai produk utama yang dijual, melainkan sebagai bahan intermediet produksi Etilen Glikol.

Pabrik Etilen Oksida direncanakan akan didirikan pada tahun 2024, dengan mempertimbangkan peluang dari kebutuhan Negara lain berdasarkan data yang tersedia pada table diatas, maka kapasitas pabrik yang direncanakan sebagai berikut :

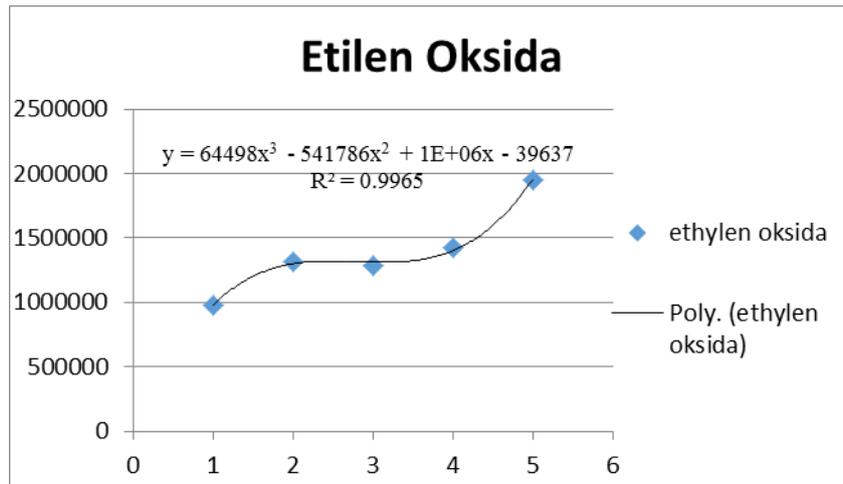
Tabel 1.3 Perencanaan Kapasitas Pabrik

Tahun	Impor (Ton/ Tahun)	Ekspor (Ton/ Tahun)
2013	834,178	139,061
2014	1.074,638	245,008
2015	110,2210	178,953
2016	103,1306	389,153
2017	137,6989	571,849

Untuk mengetahui jumlah kapasitas produksi pabrik Etilen Oksida dapat menggunakan tabel berikut :

Tabel 1.4 Kapasitas Produksi Etien Oksida

Tahun	x	y
2013	1	973,239
2014	2	1.319,646
2015	3	1.281,163
2016	4	1.420,459
2017	5	1.948,838



Gambar 1.2 Kurva Kapasitas Produksi Etilen Oksida

Perhitungan :

Jika diketahui :

$$x^3 = 13^3 = 2197$$

$$x^2 = 13^2 = 169$$

$$x = 13$$

Maka, didapat pada grafik polinomial orde ke-4 dimana hasil R^2 mendekati 1 yaitu dengan nilai 0,9965. Maka didapat kapasitas produksi dengan perhitungan sebagai berikut:

$$y = 64498x^3 - 541786x^2 + 1E+06x - 39637$$

$$y = 64498 (2197) - 541786 (169) + 1000000 (13) - 39367$$

$$y = 141702106 - 91561834 + 13000000 - 39367$$

$$y = 63100905 \text{ kg}$$

$$y = 63.100 \text{ ton/thn}$$

$$y = \mathbf{65.000 \text{ ton/thn}}$$

Dari perhitungan diatas, didapat kapasitas produksi pada tahun 2024 adalah 65.000 ton/tahun, dengan pertimbangan kebutuhan dalam negeri dan kebutuhan luar negeri, serta karena belum pernah adanya pabrik Etilen Oksida di Indonesia.

1.5 Pemilihan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik yang tepat sangat penting dalam perancangan suatu pabrik. Lokasi yang tepat dapat memiliki pengaruh yang besar terhadap keberhasilan pabrik tersebut baik dalam segi teknis maupun ekonomis. Oleh karena itu pabrik Etilen Oksida dengan kapasitas 65.000 ton/tahun direncanakan akan didirikan di **Kawasan Industri Terpadu Wilmar** di daerah Serang, Banten. Adapun faktor-faktor yang mendukung untuk mempertimbangkan lokasi pabrik, antara lain (Peters & Timmerhaus, 1991, Hal 91-95) :

1. Ketersediaan Bahan Baku

Sumber bahan baku adalah faktor yang penting dalam menunjang proses produksi. Pemilihan lokasi ini dikarenakan sumber bahan baku lebih dekat sehingga biaya pengiriman dapat di minimalisir dan untuk pengiriman tidak memakan waktu terlalu lama. Untuk mewujudkan hal tersebut maka lokasi dipilih berdekatan dengan pabrik *supplier* bahan baku yaitu bahan baku Etilen yang didapat dari PT. Chandra Asri yang terletak di kawasan Cilegon, Banten dan bahan baku Oksigen dari PT. Anugrah Gasindo yang terletak di Tangerang, Banten.

2. Transportasi

Transportasi dapat mempengaruhi kelancaran produksi suatu pabrik, karena dalam pengiriman produk maupun penyediaan bahan baku sangat bergantung pada transportasi, transportasi dalam suatu industri dapat mempermudah dan melancarkan dalam proses pengiriman. Oleh sebab itu maka pabrik Etilen Oksida ini didirikan dengan beberapa pertimbangan antara lain Transportasi yang tersedia, dekat dengan pelabuhan, bahan baku dan pasar.

3. Kemudahan Akses Pengiriman

Letak nya yang berada dekat dengan jalan tol akan mudah dalam proses pengiriman, baik untuk pemasokan bahan baku maupun pengiriman produk ke pembeli. Jarak yang dekat pula dengan pelabuhan sehingga memudahkan untuk pengiriman ekspor.

4. Pemasaran Produk

Letak kawasan yang strategis sangat memudahkan untuk komoditi ekspor maupun pengiriman ke pabrik-pabrik di Indonesia yang membutuhkan Etilen Oksida. Konsumen Etilen Oksida sebagian akan di ekspor, sementara sisanya akan dipenuhi untuk keperluan dalam negeri seperti di daerah Karawang untuk produksi Etilen Glikol di PT. Polychem Indonesia, sehingga dapat mengurangi biaya transportasi.

5. Tenaga Kerja

Kawasan ini merupakan salah satu kawasan yang sedang berkembang pesat, sehingga tidak ada kesulitan untuk mendapatkan tenaga kerja. Tenaga kerja ahli dan berkualitas dapat diambil dari lulusan Universitas/Institut di seluruh Indonesia, untuk tenaga kerja non ahli (operator) dapat mengambil dari daerah sekitar dengan radius 20 km dari sekitar.

6. Lingkungan

Lokasi pabrik dipilih pada daerah khusus untuk kawasan Industri sehingga akan memudahkan dalam perijinan pendirian pabrik.

7. Ketersediaan Lahan

Faktor ini berkaitan dengan rencana pengembangan pabrik kedepannya.



Gambar 1.3 Rencana Lokasi Pendirian Ethilen Oksida

1.6 Tinjauan Pustaka

1.6.1 Etilen Oksida

Etilen Oksida atau biasa disebut dengan oxirane adalah senyawa organik dengan rumus kimia C_2H_4O , Etilen Oksida merupakan bahan intermediet yang memiliki banyak pengaplikasian dalam dunia industri, salah satunya adalah sebagai bahan baku utama dari Etilen Glikol dimana dalam penggunaannya Etilen Glikol dapat digunakan sebagai zat pendingin, anti beku, dan bahan mentah dari polyester fiber dan resin (Patent, US 8,815,769 thn. 2014).

Etilen Oksida pertama kali di produksi pada tahun 1859 oleh Whurtz dengan bahan baku Etilen Chlorohidrin (2-chloroetanol) dan larutan Potassium Hidroksida, lalu pada tahun 1931 oleh Lefort berhasil membuat metode baru produksi Etilen Oksida dengan oksidasi langsung menggunakan Etilen dan Udara dengan bantuan Katalis Perak (Kirk-Othmer, 1998).

Etilen Oksida berwujud gas tidak berwarna dengan aroma khas eter, Etilen Oksida dapat bersifat miscible (larut) pada air, alkohol, eter, dan sebagian besar pelarut organik. Pada Fase uap Etilen Oksida mudah terbakar dan meledak bahkan di temperatur ruangan, karena titik didih yang rendah yaitu $10,7^{\circ}C$ (Kirk-Othmer, 1998).

1.6.2 Kegunaan Etilen Oksida

Lebih dari 98% total produksi dari Etilen Oksida dikonversi menjadi banyak sekali derivat atau turunan. Beberapa contoh senyawa yang diproduksi dari Etilen Oksida terangkum dalam tabel dibawah ini :

Tabel 1.5 contoh senyawa yang diproduksi dari Etilen Oksida

Produk yang Menggunakan Bahan Baku Etilen Oksida	Total Konsumsi (%)	Aplikasi Penggunaan
Etilen Glikol sebagai anti-beku	27	Sebagai Pendingin pada kendaraan

Etilen Glikol sebagai Polyester	27	Sebagai Bahan Baku Polyester fibers, films, dan containers
Glycol Ether	6	Sebagai pelarut untuk pernis, resin, enamels, epoxy, coating, water-based coating, tinta printing, agen anti-icing dalam bahan bakar jet
Ethanolamines	9	Sabun dan detergent
Surfactants	14	Detergent
Lainnya	17	Bahan tambahan lainnya

(Kirk-Othmer, 1998)

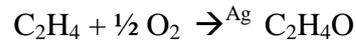
Dengan banyaknya penggunaan Etilen Oksida yang jarang diketahui maka diharapkan perancangan ini dapat direalisasikan agar mampu memenuhi kebutuhan Etilen Oksida tersebut.

1.6.3 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika Reaksi

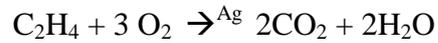
Tinjauan pada reaksi meliputi tinjauan termodinamika dan tinjauan kinetika reaksi. Tinjauan secara Termodinamika digunakan untuk mengetahui sifat reaksi tersebut, membutuhkan panas (*endotermis*) atau melepaskan panas (*eksotermis*), dan juga untuk mengetahui arah reaksi, apakah reaksi tersebut berjalan searah (*irreversible*) atau berbalik (*reversible*). Penentuan panas reaksi berjalan secara eksotermis/endotermis dapat dihitung dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH_f°) pada $P = 1 \text{ atm}$ dan $T = 298 \text{ K}$ serta Energi Gibbs nya (ΔG°) dari masing-masing komponen, sedangkan tinjauan kinetika reaksi adalah untuk mengetahui perubahan konsentrasi pereaksi menjadi produk per satuan waktu, untuk mengetahuinya perlu dilakukan perhitungan $-r_A$ (Laju Reaksi) :

Berikut adalah reaksi yang terjadi dalam pembentukan Etilen Oksida, berikut dengan hasil sampingnya :

Reaksi Utama (I) :



Reaksi Samping (II) :



Harga ΔH_f° 298 Reaksi dan ΔG° 298 Reaksi masing-masing komponen dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1.6 Nilai ΔH_f° 298 Reaksi dan ΔG° 298

BAHAN	ΔH_f° 298 (KJ/mol)	ΔG° 298 (KJ/mol)
Etilen (C ₂ H ₄)	52,510	68,440
Oksigen (O ₂)	0	0
Etilen Oksida (C ₂ H ₄ O)	-52, 630	-13,230
Karbondioksida (CO ₂)	-393,510	-394,370
Air (H ₂ O)	-241,814	-228,590

(Perry's 7th Edition, 1999)

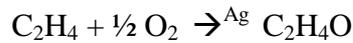
Dari kedua reaksi tersebut dapat dilakukan perhitungan tinjauan Termodinamika dan Kinetika adalah sebagai berikut :

A. Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika dihitung untuk mengetahui apakah yang berjalan dalam produksi berjalan dengan menyerap panas (endotermis) atau menghasilkan panas (eksotermis) dengan mengetahui entalpi pembentukan panas yang dihasilkan (ΔH_f°), serta mengetahui apakah reaksi dapat berjalan atau tidak dengan menghitung besarnya energi gibbs (ΔG°).

(1) Reaksi Utama

Reaksi utama yang terjadi pada produksi adalah sebagai berikut :



Entalpi pembentukan panas pada gas ideal (1 atm, 25°C) :

$$\Delta H_f^\circ = (n. \Delta H_f^\circ \text{Produk}) - (n. \Delta H_f^\circ \text{Reaktan})$$

$$\Delta H_f^\circ = (n. \Delta H_f^\circ \text{Etilen Oksida}) - (n. \Delta H_f^\circ \text{Etilen} + \Delta H_f^\circ \text{Oksigen})$$

$$\Delta H_f^\circ = (-52,630) - ((52,510) + (0))$$

$$\Delta H_f^\circ = -105,14 \text{ KJ/mol}$$

Dari perhitungan diatas, didapat bahwa harga entalpi gas ideal (ΔH_f°) bernilai negatif, sehingga dapat diketahui bahwa reaksi yang terjadi adalah reaksi yang dapat menghasilkan panas (eksotermis), dengan nilai yang cukup tinggi yaitu -105,14 KJ/mol yang dapat diartikan bahwa reaksi menghasilkan panas yang cukup besar.

Besar pembentukan Energi Gibbs pada Gas Ideal (1 atm, 25°C) :

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

$$\Delta G^\circ = (\Delta G^\circ \text{Etilen Oksida}) - (\Delta G^\circ \text{Etilen} + \Delta G^\circ \text{Oksigen})$$

$$\Delta G^\circ = (\Delta G^\circ \text{Etilen Oksida}) - (\Delta G^\circ \text{Etilen} + \Delta G^\circ \text{Oksigen})$$

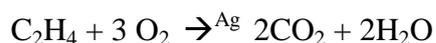
$$\Delta G^\circ = [(-13,230)] - [(68,440) + (0)]$$

$$\Delta G^\circ = - 81,67 \text{ KJ/mol}$$

Dari perhitungan energi gibbs (ΔG°) didapat hasil yaitu -81,67 KJ/mol, hasil negatif menunjukkan bahwa energi yang terjadi dalam produksi dapat berjalan.

Reaksi Samping (II) :

Reaksi samping yang terjadi dalam reaksi adalah sebagai berikut :



Entalpi pembentukan panas pada gas ideal (1 atm, 25°C) :

$$\Delta H_f^\circ = (n. \Delta H_f^\circ \text{Produk}) - (n. \Delta H_f^\circ \text{Reaktan})$$

$$\Delta H_f^\circ = (n. \Delta H_f^\circ \text{ Karbondioksida} + \Delta H_f^\circ \text{ Air}) - (n. \Delta H_f^\circ \text{ Etilen} + \Delta H_f^\circ \text{ Oksigen})$$

$$\Delta H_f^\circ = (-393,510 + (-241,814)) - ((52,510) + (0))$$

$$\Delta H_f^\circ = -687,834 \text{ KJ/mol}$$

Dari perhitungan diatas, didapat bahwa harga entalpi gas ideal (ΔH_f°) bernilai negatif, sehingga dapat diketahui bahwa reaksi yang terjadi adalah reaksi yang dapat menghasilkan panas (eksotermis), dengan nilai yang cukup tinggi yaitu -687,834 KJ/mol yang dapat diartikan bahwa reaksi menghasilkan panas yang cukup besar.

Besar pembentukan Energi Gibbs pada Gas Ideal (1 atm, 25°C) :

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

$$\Delta G^\circ = (\Delta G^\circ \text{ Karbondioksida} + \Delta G^\circ \text{ Air}) - (\Delta G^\circ \text{ Etilen} + \Delta G^\circ \text{ Oksigen})$$

$$\Delta G^\circ = [(-394,370 + (-228,590))] - [(68,440) + (0)]$$

$$\Delta G^\circ = -691,4 \text{ KJ/mol}$$

Dari perhitungan energi gibbs (ΔG°) didapat hasil yaitu -691,4 KJ/mol, hasil negatif menunjukkan bahwa energi yang terjadi dalam produksi dapat berjalan.

B. Tinjauan Kinetika

a. Konstanta Keseimbangan (K)

Tinjauan kinetika dilakukan untuk mengetahui apakah reaksi berjalan searah (Reversible) atau bolak-balik (Ireversible), perhitungan dilakukan dengan menghitung nilai K (konstanta keseimbangan) pada keadaan standar (1 atm, 25°C) dan pada suhu operasi yang berjalan.

Perhitungan harga Konstanta Keseimbangan (K) dapat ditinjau dari rumus sebagai berikut :

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

Atau

$$K = e^{-\Delta G/RT}$$

Dimana :

ΔG° = Energi bebas Gibbs standar, (kJ/mol)

R = Tetapan gas ideal, (0,008314 kJ/mol. K)

T= Temperatur, K

K = Konstanta Keseimbangan

(S. K Dogra & S. Dogra, 1990)

Reaksi Utama (I)

Dari persamaan diatas dapat dihitung konstanta kesetimbangan reaksi utama pada keadaan standar, P = 1 atm dan T = 298 K adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}K_{298} &= e^{\left[\frac{-\Delta G}{RT}\right]} \\K_{298} &= e^{\left[\frac{-81,67}{0,008314 \times 298}\right]} \\K_{298} &= e^{32,971} \\K_{298} &= 2,8 \times 10^{14}\end{aligned}$$

Karena nilai K cukup besar maka dapat disimpulkan reaksi berjalan secara spontan.

Reaksi dijalankan pada temperatur 220°C atau sama dengan 493°K, sehingga harga konstanta kesetimbangan K pada temperatur 493°K dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{K_{operasi}}{K_{298}} = e^{-\frac{\Delta H^\circ_{298}}{R} \left[\frac{1}{T_{operasi}} - \frac{1}{T_{298}} \right]}$$

$$\frac{K_{operasi}}{2,8 \times 10^{14}} = e^{-\frac{-105,14}{0,008314} \left[\frac{1}{493} - \frac{1}{298} \right]}$$

$$K_{operasi} = 1,4 \times 10^7 \qquad K > 1$$

Dari perhitungan diatas harga $K > 1$ sehingga produk tidak dapat kembali menjadi reaktan, diasumsikan bahwa reaksi bersifat *irreversible*.

Jadi dapat disimpulkan bahwa, reaksi yang terjadi dalam produksi adalah dapat bereaksi dengan reaksi *irreversible* (searah).

Reaksi Samping (II)

Dari persamaan diatas dapat dihitung konstanta kesetimbangan reaksi utama pada keadaan standar, P = 1 atm dan T = 298 K adalah sebagai berikut :

$$K_{298} = e^{\left[\frac{\Delta G}{RT}\right]}$$

$$K_{298} = e^{\left[\frac{-691,4}{0,008314 \times 298}\right]}$$

$$K_{298} = e^{279,1}$$

$$K_{298} = 1,63 \times 10^{121}$$

Karena nilai *K* cukup besar maka dapat disimpulkan reaksi berjalan secara spontan.

Reaksi dijalankan pada temperatur 220°C atau sama dengan 493°K, sehingga harga konstanta kesetimbangan *K* pada temperatur 493°K dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{K_{operasi}}{K_{298}} = e^{\frac{\Delta H^{\circ}_{298}}{R} \left[\frac{1}{T_{operasi}} - \frac{1}{T_{298}} \right]}$$

$$\frac{K_{operasi}}{1,63 \times 10^{121}} = e^{\frac{-687,834}{0,008314} \left[\frac{1}{493} - \frac{1}{298} \right]}$$

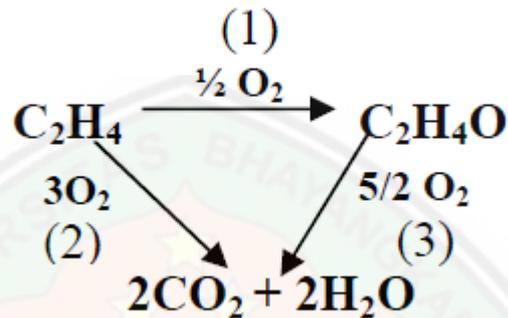
$$K_{operasi} = 3,4 \times 10^{73} \qquad K > 1$$

Dari perhitungan diatas harga *K* > 1 sehingga produk tidak dapat kembali menjadi reaktan, diasumsikan bahwa reaksi bersifat *irreversible*.

Jadi dapat disimpulkan bahwa, reaksi yang terjadi dalam produksi adalah dapat bereaksi dengan reaksi *irreversible* (searah).

b. Konstanta Laju Reaksi (k) dan Laju Reaksi (-r)

Tinjauan kinetika laju reaksi dihitung dengan tujuan untuk mengetahui waktu tinggal didalam reaktor selama proses berlangsung, produksi Etilen Oksida merupakan proses oksidasi antara etilen dan oksigen dimana pada prosesnya terjadi reaksi paralel dengan proses oksidasi parsial yang menghasilkan pembentukan Etilen Oksida (C₂H₄O) dan hasil sampingnya yaitu Karbondioksida (CO₂) dan air (H₂O).



Gambar 1.4 Proses Oksidasi Parsial pembentukan Etilen Oksida

Untuk mengetahui konstanta laju reaksi pembentukan Etilen Oksida dapat dihitung dengan mengetahui laju peruraian dari reaktan, diketahui laju peruraian ethylene (k) pada suhu 220°C adalah 0,0119 lbmol/jam (H. Scot Fogler, 2016).

Sedangkan laju peruraian oksigen (k*) pada suhu 220°C dan tekanan 15 atm adalah sebagai berikut :

$$P_{A_0} = y_{A_0} \cdot P_0 = (F_{A_0}/F_{T_0}) P$$

$$P_{A_0} = [1,08 / (1,08 + 0,54)] (15)$$

$$P_{A_0} = [1,08 / 1,62] (15)$$

$$P_{A_0} = (0,6)(15)$$

$$P_{A_0} = 9 \text{ atm}$$

$$\varepsilon_A = (0,9) (1 - \frac{1}{2} - 1)$$

$$= -0,45$$

$$k^* = k \cdot P_{A_0} (1/2)^{2/3}$$

$$k^* = 0,0119 \cdot 9 (1/2)^{2/3}$$

$$k^* = 0,0119 \cdot 5,931$$

$$k^* = 0,0706 \text{ lbmol/jam}$$

dari perhitungan diatas didapatkan bahwa konstanta laju reaksi etilen (k) adalah 0,0119 lbmol/jam sedangkan untuk oksigen adalah 0,0706 lbmol/jam, sehingga didapat persamaan untuk laju reaksi (-r) adalah sebagai berikut :

$$-r_A = k \cdot C_A C_B + k^* \cdot C_A C_B$$

Dimana :

-r_A = Laju Reaksi

C_A = Konsentrasi pereaksi pertama

C_B = Konsentrasi pereaksi kedua

k = Konstanta laju reaksi etilen

k* = Konstanta laju reaksi oksigen

Maka didapat perhitungan laju reaksi sebagai berikut :

$$-r_A = k \cdot C_A C_B + k^* \cdot C_A C_B$$

$$-r_A = (0,0119 \cdot 0,35 \cdot 0,8) + (0,0706 \cdot 0,35 \cdot 0,8)$$

$$-r_A = (0,03332) + (0,019768)$$

$$-r_A = 0,053088 \text{ lbmol/jam}$$

$$-r_A = 0,053088 \text{ lbmol/jam}$$

$$-r_A = 2,408 \times 10^{-2} \text{ kmol/m}^3 \cdot \text{jam}$$

Jadi laju reaksi produksi Etilen Oksida adalah 0,02408 kmol/m³.jam, maka dapat diketahui bahwa reaksi berlangsung sangat lambat, oleh karena itu dibutuhkan penambahan katalis untuk mempercepat laju reaksi pembentukan

didalam reaktor, reaktor yang digunakan adalah reaktor bed dengan katalis didalamnya atau bisa juga disebut dengan fixed bed reaktor/packed bed reaktor.

Katalis yang digunakan adalah katalis silver yang sudah berada didalam bed reaktor, untuk menentukan laju reaksi dengan katalis digunakan rumus :

$$-r'A = (\text{mol A reacting}) \times (\text{time} \times \text{mass of catalyst})$$

Keterangan :

$-r'A$ = laju reaksi setelah penambahan katalis

Mol A reacting = mol yang bereaksi dalam produksi

Time = waktu tinggal

Mass of catalyst = massa katalis dalam reaktor

(H.Scott Fogler, 2016)

Maka didapat perhitungan :

Diketahui :

Mol A reacting : $2,408 \times 10^{-2} \text{ kmol/m}^3 \cdot \text{jam}$

Time : 1 jam

Mass of catalyst : 721,5 gr

(Patent cooperation treaty, PCT/US2013/077367)

$-r'A = (0,02408)(1 \times 721,5)$

$= 17,373 \text{ kmol/m}^3 \cdot \text{jam}$

1.7 Proses Pembuatan Etilen Oksida

Etilen Oksida merupakan senyawa organik dengan rumus molekul $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$, senyawa ini berbentuk gas tidak berwarna dengan aroma agak manis khas ether, pemanfaatan etilen oksida dalam industri yang cukup banyak, sebagian besar digunakan sebagai bahan baku intermediet untuk memproduksi produk kimia lainnya seperti etilen glikol, polietilen glikol, glycol ether dan sebagainya, hal

inihlah yang menjadi alasan etilen oksida cukup banyak diproduksi dalam skala industri.

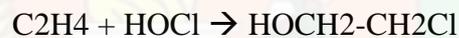
Secara komersial Etilen Oksida bisa diproduksi melalui tiga metode yaitu : **Metode Chlorohydrin, Metode oksidasi dengan udara, dan Metode oksidasi dengan oksigen.**

Sebagai bahan perbandingan, maka masing-masing metode dapat dijelaskan sebagai berikut :

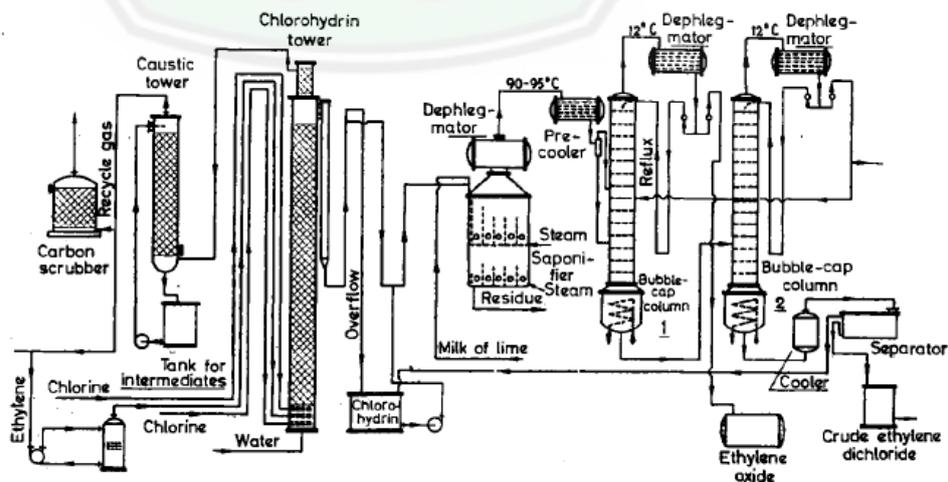
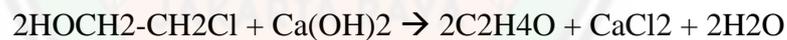
1.7.1 Chlorohydrin Proses

Metode ini merupakan metode yang pertama kali dipatenkan pada tahun 1859 oleh Whurtz untuk memproduksi Etilen Oksida secara massal (Kirk-Othmer 1999), Proses pembuatan etilen oksida pada proses klorohidrin terdiri dari dua reaksi utama yaitu reaksi pembentukan klorohidrin dan reaksi pembentukan etilen oksida dari klorohidrin. Reaksinya sebagai berikut:

- a. Reaksi etilen dengan asam hipoklorit untuk menghasilkan klorohidrin.



- b. Reaksi klorohidrin dengan kalsium hidroksida sehingga diperoleh etilen oksida.



Gambar 1.5 Proses Produksi Metode Klorohidrin

Reaksi klorohidrin berlangsung di dalam reaktor *packed tower* yang terbuat dari material tahan korosi pada kondisi optimum yaitu temperatur 27– 43°C dan tekanan 2-3 atm dengan *selectivity* 85-90%. Pada reaktor pertama ini perlu pengendalian yang cermat untuk menekan terbentuknya produk reaksi samping, yaitu etilen diklorida. Produk dari reaktor pertama berupa cairan etilen klorohidrin yang keluar dari dasar reaktor selanjutnya direaksikan dengan *slurry* Ca(OH)₂ dalam reaktor hidrolisa pada 100°C. *Selectivity* reaksi kedua sebesar 90-95%. Hasil reaktor kedua berupa uap etilen oksida kemudian dikondensasikan untuk diembunkan, dan selanjutnya dialirkan ke unit pemurnian (Faith. Keyes, 1957). Pada proses klorohidrin terdapat beberapa kekurangan jika dibandingkan dengan proses oksidasi langsung, yaitu:

1. Terdapat produk samping yang mengandung klor.
2. Memerlukan bahan baku yang lebih beraneka ragam.
3. Terdapatnya klor dalam aliran bahan baku sehingga dibutuhkan peralatan tahan korosi yang harganya sangat mahal
4. Memerlukan rangkaian alat yang cukup banyak sehingga investasi awal cukup mahal

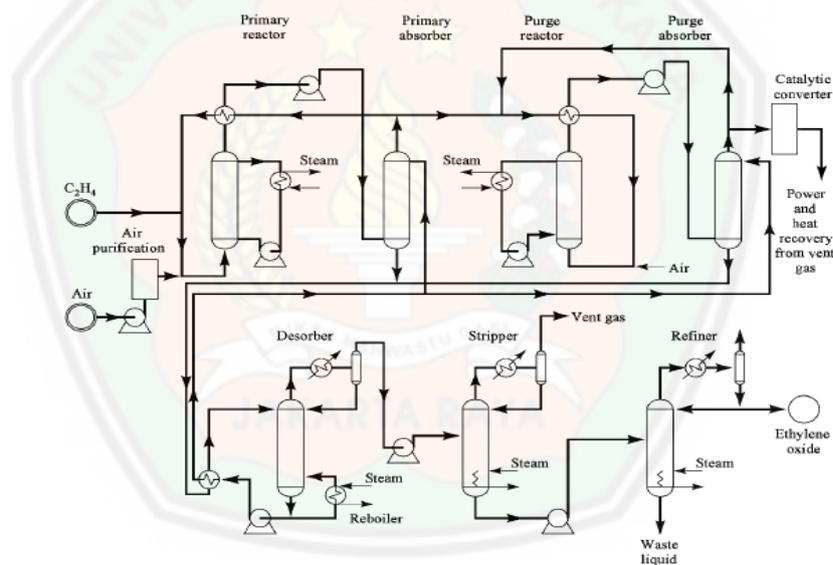
1.7.2 Proses Oksidasi Langsung dengan Udara

Metode oksidasi langsung dengan udara untuk memproduksi etilen oksida pertama kali dipatenkan secara komersial untuk diproduksi massal oleh perusahaan Union Carbide Corp, USA pada tahun 1937 (N.Schondfelt 1965), 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 220-277°C dan tekanannya berkisar antara 10-30 atm dengan katalis perak. *Selectivity* yang dihasilkan berkisar 63-

75% lebih rendah dibandingkan dengan oksidasi langsung etilen dengan menggunakan oksigen. 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.

Reaksi yang terjadi dalam prosesnya adalah :



Gambar 1.6 Proses Produksi Langsung Dengan Udara

Kekurangan dari metode ini adalah :

1. Selektivitas produk yang didapat cukup rendah, yaitu sekitar 60-70 %
2. Perlu dilakukan penanganan khusus untuk memisahkan nitrogen yang terkandung dalam udara
3. Komposisi nitrogen yang lebih besar ketimbang oksigen didalam udara menyebabkan selektivitas etilen oksida yang rendah, oleh karena itu

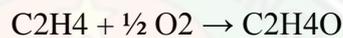
diperlukan proses purging (pemurnian) agar didapat yield dan selektivitas etilen oksida yang tinggi

4. Alat yang diperlukan lebih banyak untuk prosedur pemurnian

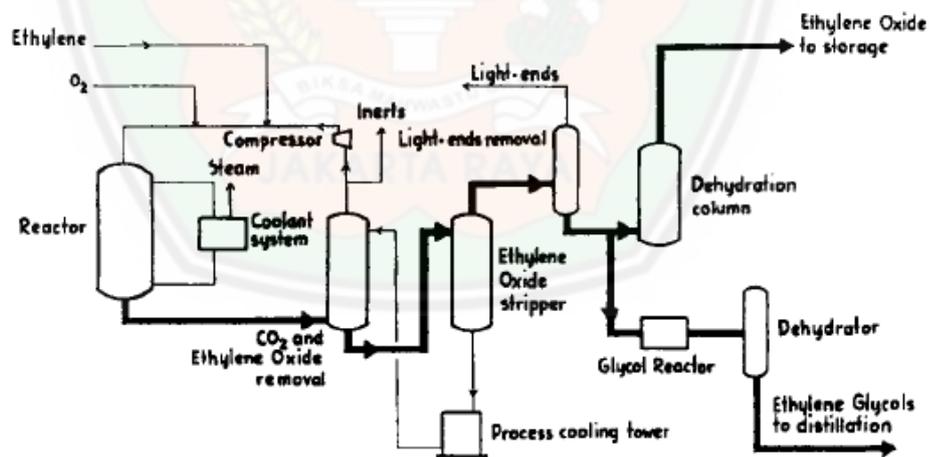
1.7.3 Proses Oksidasi Langsung dengan Oksigen

Metode oksidasi langsung dengan oksigen untuk memproduksi etilen oksida pertama kali dipatenkan secara komersial untuk diproduksi massal oleh perusahaan Shell Oil co, Texas, USA pada tahun 1958 (Kirk-Othmer, 1998). Dalam proses ini terjadi reaksi utama yaitu pembentukan etilen oksida dan reaksi samping menghasilkan karbondioksida dan air.

Reaksi utama :



Reaksi samping :



Gambar 1.7 Proses Produksi Langsung Dengan Oksigen

Reaksi dijalankan dalam reaktor *fixed bed multiTube* dengan kondisi tekanan 10- 30 atm dan suhu 200-300 °C dengan menggunakan katalis perak. *Selectivity* etilen menjadi etilen oksida yang dihasilkan berkisar 50-82%. Selain terbentuk etilen oksida, juga terbentuk produk samping berupa gas CO₂ dan H₂O

dengan kandungan CO₂ yang tinggi. Hal ini menyebabkan diperlukan rangkaian CO₂ absorber dan CO₂ *stripper* untuk mengurangi kadar CO₂ yang dihasilkan dan gas yang akan keluar sebelumnya dapat di-*recycle* ke dalam reactor, sebenarnya metode ini tidak jauh berbeda dengan proses oksidasi dengan udara, hanya saja penggunaan oksigen secara langsung dengan konsentrasi lebih tinggi yaitu >95% memungkinkan mendapatkan hasil produk yang lebih banyak dengan selektivitas yang tinggi, selain itu kadar nitrogen dalam produksi cukup rendah maka tidak diperlukan proses purging untuk memurnikan nitrogen seperti pada proses oksidasi langsung dengan udara.

Kekurangan dari metode ini adalah :

1. Bahan baku berupa oksigen dengan konsentrasi tinggi, maka dibutuhkan biaya yang lebih besar dari segi bahan baku
2. Untuk mengurangi dampak eksotermis dari oksigen, maka diperlukan nitrogen dalam proses produksinya, meskipun dalam konsentrasi yang rendah

Dari ketiga metode diatas, maka dapat dibandingkan dalam tabel berikut :

Tabel 1.7 Perbandingan Parameter 3 Metode Produksi

No	Parameter	Metode Chlorohydrin	Metode Oksidasi dengan Udara	Metode Oksidasi dengan Oksigen
1.	Suhu Operasi (°C)	27-43	220-277	200-300
2.	Tekanan Operasi (atm)	2-3	10-30	10-30
3.	Konversi Produk (%)	95	20-65	8-12
4.	Selektivitas (%)	85-90	63-75	75-82
5.	Katalis	Tidak menggunakan	Perak	Perak

		Katalis		
6.	Reaktor	Packed Bed Reaktor	Fixed Bed Reaktor	Fixed Bed Reaktor
7.	Produk Samping	Etilen Klorida (Klor), Acetaldehid	Karbondioksida dan Air	Karbondioksida dan Air
8.	Biaya	Karena bahan baku yang digunakan cukup banyak, serta prosesnya membutuhkan banyak pemurnian dan pemisahan, maka metode ini membutuhkan modal biaya yang cukup tinggi. (Prospek keuntungan kecil)	Dengan bahan baku udara, maka kadar nitrogen lebih tinggi daripada oksigen, oleh karena itu diperlukan alat yang lebih banyak untuk memurnikan produk dan memisahkan Nitrogen yang ada. (Prospek keuntungan besar)	Bahan baku berupa oksigen lebih mahal dibandingkan dengan bahan baku udara langsung, namun tidak diperlukan banyak pemurnian sehingga alat yang digunakan lebih sedikit. (Prospek keuntungan Besar)

Dari tabel perbandingan diatas, maka dipilih metode produksi **Etilen Oksida dengan Oksidasi Langsung Udara**, dengan pertimbangan sebagai berikut :

- a. Bahan baku yang dibutuhkan lebih murah dibanding metode lainnya
- b. Hasil samping yang dihasilkan tidak berisiko tinggi terhadap lingkungan

- c. Konversi yang dihasilkan cukup banyak jika dibandingkan dengan metode oksidasi langsung dengan Oksigen
- d. Selektivitas yang dihasilkan cukup tinggi

1.8 Deskripsi Proses Produksi Etilen Oksida

Pada proses produksi Etilen Oksida metode oksidasi dengan Udara secara garis besar prosesnya dibagi menjadi 4 bagian, yaitu :

1. Tahap Persiapan Bahan Baku
2. Tahap Oksidasi Pembentukan Produk
3. Tahap Absorpsi Etilen Oksida
4. Tahap Pemurnian

Uraian proses produksi dapat dijelaskan sebagai berikut :

1.8.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Bahan baku utama yang digunakan pada produksi etilen oksida adalah Udara dan Etilen (C_2H_4), dengan bahan baku tambahan yaitu Etilen Dichloride ($C_2H_4Cl_2$).

a. Bahan Baku Etilen

Gas Etilen yang digunakan sebagai bahan baku utama Etilen Oksida di supply dari PT.Chandra Asri dengan spesifikasi kemurnian Etilen 99,95% dan terkandung 0,05% pengotor Etana ikut terbawa bersama gas Etilen (MSDS Gas Etilen PT Chandra Asri), gas Etilen yang di supply masuk ke penyimpanan Spherical Tank (T-01) dengan suhu penyimpanan $32^\circ C$, Etilen dan Ethana fasa gas dari penyimpanan (T-01) dialirkan menuju Heat Exchanger (HE-01) bersamaan dengan umpan Oksigen, Nitrogen, dan EDC agar mencapai suhu reaktor yaitu $220^\circ C$.

b. Bahan Baku Udara

Udara yang ditangkap dari Alam, dihisap dengan menggunakan Blower (BW-01), udara yang masih banyak terdapat kandungan pengotor kemudian dilewatkan menuju filter yang disebut dengan Molecular Sieve Unit (FT-01), filter

yang digunakan mengandung zeolit yang hanya mampu menyaring molekul Nitrogen (N₂) dan Oksigen (O₂), sehingga udara yang dihasilkan murni hanya mengandung Oksigen dan Nitrogen tanpa terkandung pengotor lainnya dan bahan baku siap digunakan untuk produksi Etilen Oksida, Udara yang dialirkan berada pada temperatur ruangan yaitu 32°C, kemudian dilewatkan menuju kompresor (CMP-01) untuk menaikkan tekanan menjadi 15 atm agar sesuai dengan kondisi operasi untuk produksi Etilen Oksida, kandungan dalam udara yang masuk dalam proses adalah 21% Oksigen dan 79% Nitrogen.

c. Etilen Dicloride (C₂H₄Cl₂)

Etilen Diklorida digunakan sebagai bahan inhibitor (penghambat) untuk mengurangi pembentukan karbondioksida, tujuannya adalah agar didapat hasil Etilen Oksida lebih banyak, serta selektivitas lebih tinggi. Pada prosesnya, etilen diklorida dibutuhkan hanya sekitar 1-2 ppm, Etilen Dichloride fase cair dilewatkan terlebih dan masuk bersamaan dengan saluran Etilen, hingga tekanan dan suhu umpan masuk disesuaikan dengan etilen yaitu tekanan 15 atm, dengan temperatur ruangan 32°C.

Seluruh bahan baku yang digunakan berada pada temperatur 32°C dengan tekanan 15 atm, akan tercampur pada mixing point (MP-01), gas campuran pada MP-01 akan dialirkan menuju ke mixing point selanjutnya (MP-02) agar tercampur dengan CO₂, C₂H₄O, H₂O, O₂ dan N₂ sisa yang berasal dari arus-30 *Recycle*, setelah seluruh bahan fresh feed dan *Recycle* tercampur kemudian dilakukan pemanasan terlebih dahulu sebelum masuk ke Reaktor dengan dilewatkan melalui Heat Exchanger (HE-02) agar tercapai suhu sesuai kondisi operasi Reaktor yaitu 220°C dengan tekanan 15 atm.

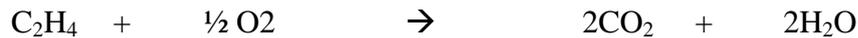
1.8.2 Tahap Oksidasi Pembentukan Produk

Proses reaksi pembentukan Etilen Oksida dilakukan pada reaktor jenis Fixed Bed Multi Tube (R-01) dengan penambahan katalis Silver yang terpasang pada Bed Katalis didalam Reaktor, umpan masuk melalui bagian bawah reaktor dengan kondisi operasi Reaktor (R-01) adalah 220°C tekanan 15 atm, karena reaksinya eksotermis maka reaktor dilengkapi dengan jaket pendingin untuk mengurangi

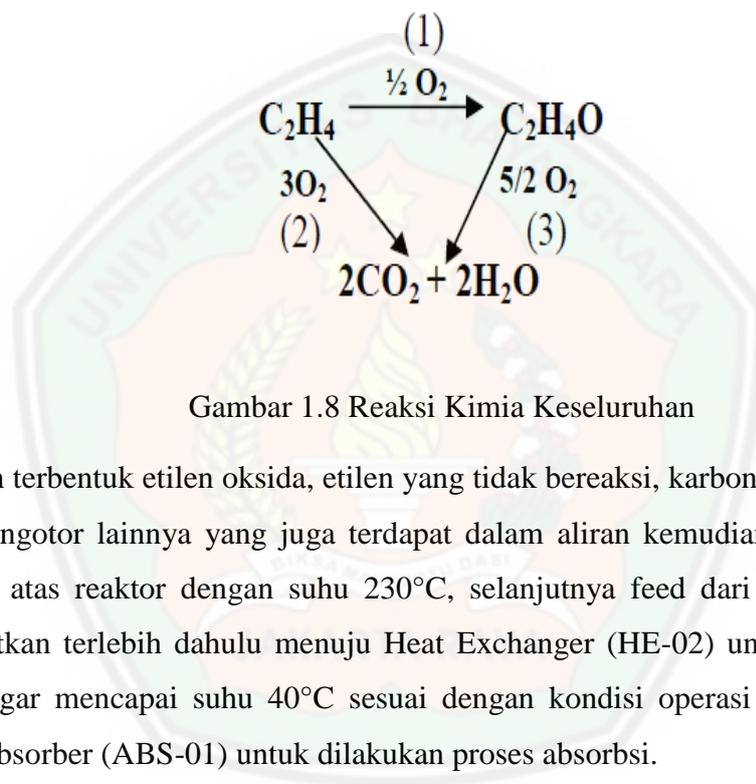
panas reaksi yang dihasilkan. Reaksi kimia yang terjadi didalam reaktor adalah reaksi oksidasi parsial dengan Reaksi kimia sebagai berikut :



Dengan reaksi samping yaitu :



Secara keseluruhan reaksi kimia yang terjadi adalah :



Gambar 1.8 Reaksi Kimia Keseluruhan

Setelah terbentuk etilen oksida, etilen yang tidak bereaksi, karbon dioksida (CO₂), dan pengotor lainnya yang juga terdapat dalam aliran kemudian keluar melalui bagian atas reaktor dengan suhu 230°C, selanjutnya feed dari reaktor tersebut dilewatkan terlebih dahulu menuju Heat Exchanger (HE-02) untuk menurunkan suhu agar mencapai suhu 40°C sesuai dengan kondisi operasi alat selanjutnya yaitu absorber (ABS-01) untuk dilakukan proses absorpsi.

1.8.3 Tahap Absorpsi Etilen Oksida

Etilen Oksida, Nitrogen, Oksigen, Etilen dan sejumlah pengotor lain yang dihasilkan dari reaktor kemudian dialirkan menuju absorber untuk dilakukan tahap absorpsi terhadap Etilen Oksida, media penyerap yang digunakan adalah air yang dapat secara spesifik menyerap Etilen Oksida dengan efisiensi penyerapan Absorber terhadap Etilen Oksida adalah 98%, umpan fase gas absorber masuk melalui bagian bawah absorber terkontak secara countercurrent dengan air yang

dialirkan dari bagian atas absorber, gas yang tidak terserap oleh air akan keluar melalui bagian atas absorber untuk selanjutnya masuk menuju reaktor kedua (R-02) dimana proses dan kondisi operasi pada reaktor kedua (R-02) sama dengan Reaktor pertama (R-01), didalam reaktor kedua dilakukan penambahan fresh ethylene melalui aliran F-32, produk yang dihasilkan pada reaktor kedua (R-02) masuk kembali menuju proses absorber dengan menggunakan Absorber kedua (ABS-02) dengan kondisi operasi serta proses yang sama dengan kondisi Absorber pertama (ABS-01), pada ABS-02 gas yang tidak terserap 70% akan di *Recycle* kembali menuju ke Reaktor-01 sedangkan 30% sisanya akan dibuang ke lingkungan melalui proses *purging*.

Gas Etilen oksida yang terserap pada Absorber-01 dan Absorber-02 yang berubah menjadi fase cair akan turun mengalir ke bagian bawah absorber untuk selanjutnya dilakukan tahap pemurnian dengan menggunakan Stripper (STP-01), hasil keluaran absorber-01 dan absorber-02 akan tercampur pada Mixing Point (MP-04), pada kondisinya Etilen Oksida Fasa cair tersebut berada pada suhu 55°C dan tekanan 15 atm, karena tekanan masih tinggi maka dilakukan ekspansi pipa dengan memperbesar diameter pipa keluar absorber kemudian dilakukan penurunan tekanan kembali menggunakan Pressure reducing valve, setelah tekanan kurang lebih 1 atm, umpan masuk menuju Stripper (STP-01) untuk dilakukan tahap pelucutan C₂H₄O sebagai produk.

1.8.4 Tahap Pemurnian

Tahap pemurnian Etilen Oksida dilakukan dengan menggunakan Stripper (STP-01) dengan kondisi operasi 55°C tekanan 1,5 atm, pada fase ini dilakukan proses pelucutan Etilen Oksida dari campuran air, produk keluar melalui bagian atas Stripper dengan suhu 50°C untuk selanjutnya masuk ke unit penyimpanan produk yaitu tangki *Spherical Tank* (T-03) sedangkan bagian yang tidak terlucuti yaitu air akan keluar melalui bagian bawah Stripper (STP-01) dengan suhu 50°C untuk selanjutnya dilakukan pendinginan dengan dilewatkan HE agar mencapai suhu 40°C untuk selanjutnya masuk ke tangki penyimpanan air (T-04), air yang

tertampung dapat dimanfaatkan sebagai media penyerap pada Absorber-01 (ABS-01) dan Absorber-02 (ABS-02).

Selektivitas etilen oksida yang didapatkan adalah 75% dengan konversi sebanyak 65%, dengan spesifikasi produk sebagai berikut :

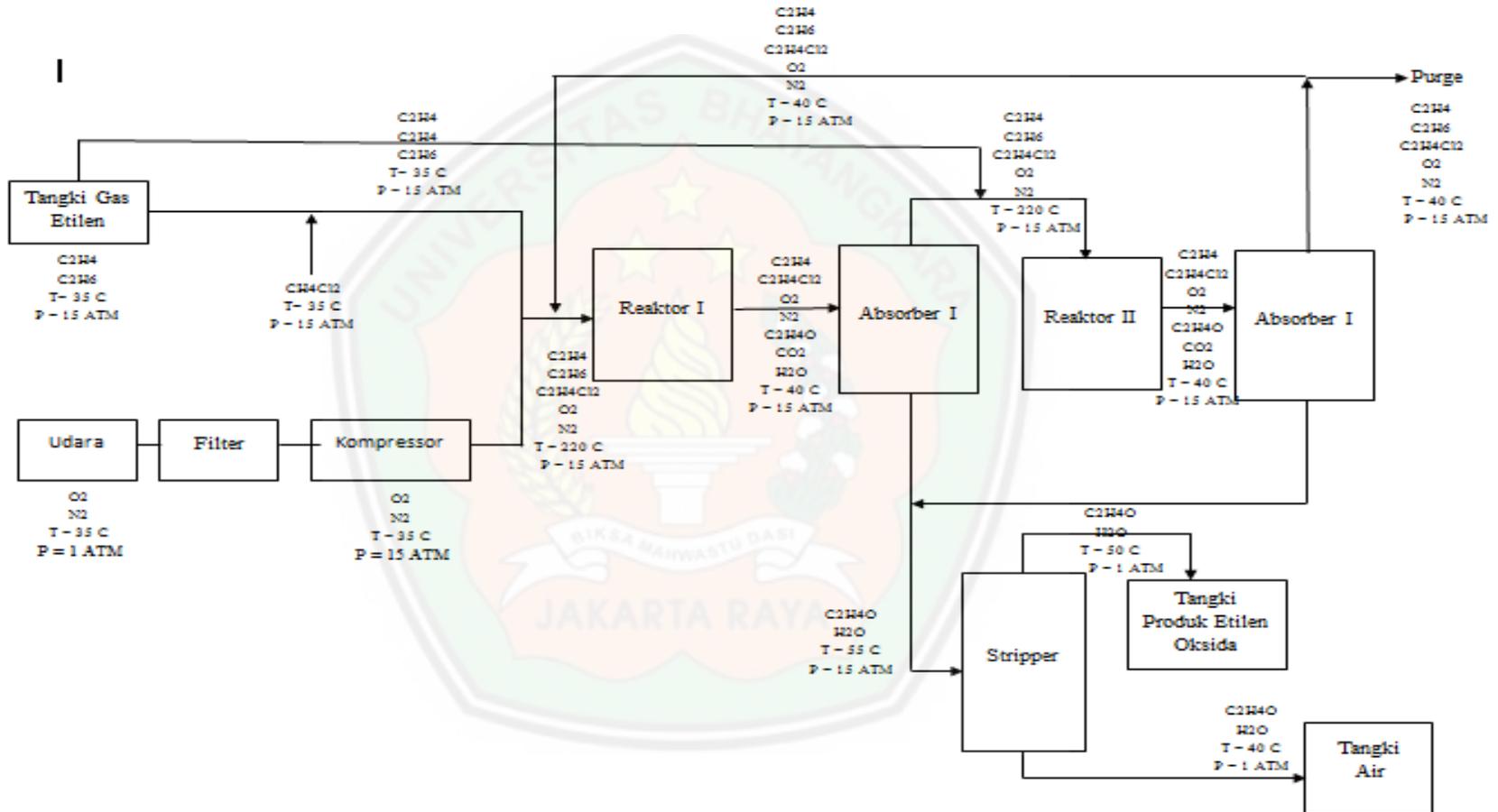
Tabel 1.8 Spesifikasi Produk Etilen Oksida Konversi 65 %

Appearance	clear, colorless
bp at 101.3 kPa	10.8 °C
Water content *	50 mg/kg
CO ₂ content *	10 mg/kg
Aldehyde content *	50 mg/kg
Ethylene oxide content (min.) *	99.5 %

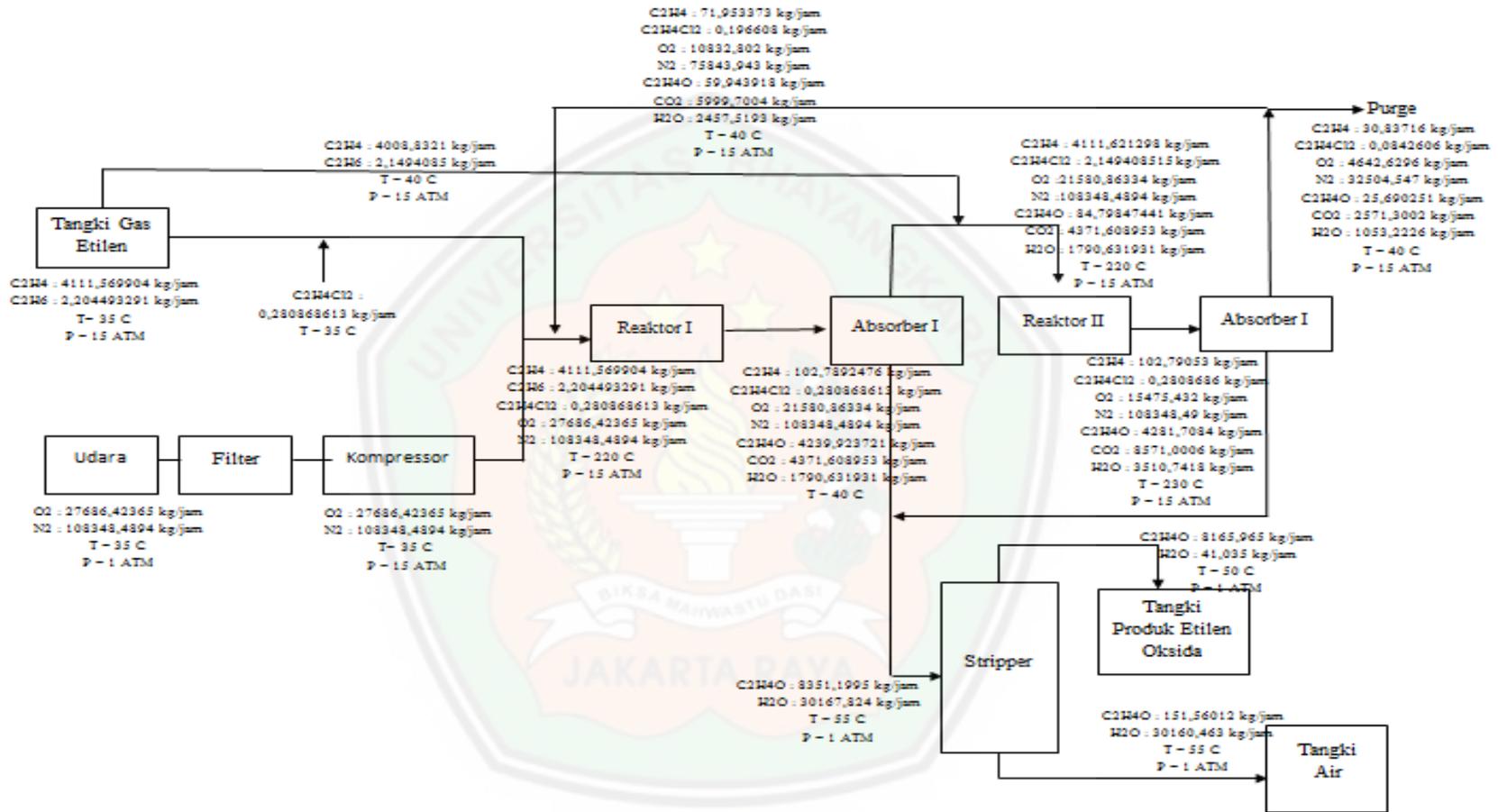
(Ullman's Encyclopedia of Industrial)



1.9 Diagram Alir Kualitatif



1.10. Diagram Alir Kuantitatif



1.11 Spesifikasi Bahan Baku

1.11.1 Bahan Baku Utama

a. Etilen (C₂H₄)

Etilen (Etene) merupakan bahan kimia organik dengan fasa gas, Etilen merupakan senyawa alkena paling sederhana yang terdiri dari empat atom hidrogen dan dua atom karbon yang terhubung oleh suatu ikatan rangkap. Karena ikatan rangkap ini, etena disebut pula *hidrokarbon tak jenuh* atau *olefin*.

Sifat Fisika :

- Rumus Molekul : C₂H₄
- Wujud : Gas Tidak Berwarna
- Berat Molekul : 28,054
- Specific Volume (20°C, 101,32 kPa): 858,3 ml/g
- Densitas Relatif gas (101,325 kPa) : 0,908
- Temperatur Kritis : 9,9°C
- Batas aman di Udara : 3,1-32 % vol
- Densitas fase Uap : 1,261 kg/m³ (0,078 lb/ft³)
- Kelarutan : Larut dalam Air (131 mg/l)
- Titik Didih : -104°C
- Titik Beku : -169°C
- Autoignition Temperatur : 490°C

(MSDS From OSHA, CMA and Canadian WHMIS Standard, 2004)

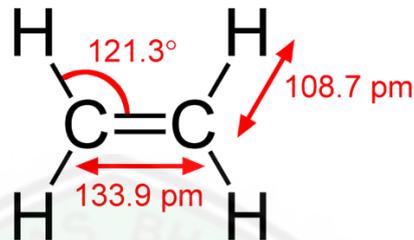
Data Termodinamika :

- Entalpi Pembentukan Standar (25°C): 52,3 kJ/mol
- Energi Gibbs pembentukan Standar : 68,26 kJ/mol
- Entropi Pembentukan Standar : 219,28 J/mol.K
- Standar Kapasitas Panas : 42,86 J/mol.K

(Kirk-Othmer, 1998)

Sifat Kimia :

- Struktur Kimia : Ethylene adalah Molekul Planar dengan jarak ikatan karbon 0,134 nm, dimana jaraknya lebih pendek daripada panjang ikatan C-C 0,153 nm. Jarak C-H dari ikatan adalah 0,110 nm. Sudut yang dibentuk oleh dua ikatan karbon-hidrogen pada molekul 117 sangat dekat dengan sudut 120



Gambar 1.9 Struktur Kimia Ethylene

- Reaktivitas : Etilen merupakan gas yang sangat reaktif, oleh karena itu etilen sering dilibatkan oleh berbagai reaksi kimia dan digunakan sebagai bahan intermediet. Ikatan etilen ganda dapat bereaksi secara cepat untuk membentuk hidrokarbon, derivatnya, ataupun polimer. Prinsip reaksi secara umum meliputi polimerisasi, oksidasi, dan reaksi adisi berupa halogenasi,alkilasi,oligomerisasi, hidrasi, hidroformilasi.

(Kirk-Othmer, 1998)

b. Udara

Udara adalah campuran gas yang terdapat di permukaan bumi dan mengelilingi bumi. Udara tersusun dari campuran dari banyak gas, antara lain nitrogen 78%, oksigen 20%, argon 0,93% dan karbon dioksida 0,30% kemudian sisanya adalah dalam bentuk gas-gas lain, namun sebagian besar dalam produksi Etilen Oksida yang digunakan adalah Oksigen (O₂) dan Nitrogen (N₂) dengan Komposisi 79% Nitrogen dan 21% Oksigen dengan dilakukan penyaringan terlebih dahulu.

Oksigen atau zat asam adalah unsur kimia yang mempunyai lambang O dan nomor atom 8. Dalam tabel periodik, oksigen merupakan unsur nonlogam

golongan VI A (kalkogen) dan dapat dengan mudah bereaksi dengan hampir semua unsur lainnya (utamanya menjadi oksida). Pada temperatur dan tekanan standar, dua atom oksigen berikatan menjadi O₂ (dioksigen), gas yang tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau. Oksigen merupakan unsur paling melimpah ketiga di alam semesta berdasarkan massa (setelah hidrogen dan helium) dan unsur paling melimpah di kerak Bumi. Berdasarkan volume, 20,9% atmosfer bumi adalah oksigen.

Sifat Fisika :

- Rumus Molekul : O₂
- Berat Molekul : 32 g/mol
- Wujud : Gas Tidak Berwarna
- Titik Didih : -183°C
- Titik Lebur : -218,4°C
- Temperatur Kritis : -118°C
- Tekanan Uap : 4,053 kPa (pada -124,1°C)
- Kelarutan dalam air : Larut dalam air (39 mg/l)
- Densitas : 1,429 kg/m³

(MSDS BOC, Manchester No: 000010021701, 2016)

Data Termodinamika

- Entalpi Pembentukan Standar (25°C) : 0
- Energi Gibbs pembentukan Standar : 0
- Entropi Pembentukan Standar : 2,0504 J/mol.K
- Standar Entalpi Pembakaran : 0

(Perry's 7th Edition, 1999)

- C_p gas (50-1500°K) : $29,526 - 8,8999 \cdot 10^{-3} T + 3,8083 \cdot 10^{-5} T^2 - 3,2629 \cdot 10^{-8} T^3 + 8,8607 \cdot 10^{-12} T^4$ J/gmol.K
- μ gas (150-1500 °K) : $44,224 + 5,62 \cdot 10^{-1} T - 1,13 \cdot 10^{-4} T^2$

- k gas (80-1500 °K) : $0,00121 + 8,6157 \cdot 10^{-5} T - 1,3346 \cdot 10^{-8} T^2$ W/m.K

(Yaws, 1992)

Sifat Kimia :

Oksigen merupakan unsur yang reaktif. Dalam keadaan bebas, unsur ini terdapat dalam dua bentuk molekul, yaitu molekul oksigen diatomik (O_2) dan bentuk alotropinya, yaitu molekul triatomik yang dikenal dengan ozon (O_3).



Gambar Oksigen Diatomik

Gambar Oksigen Triatomik (Ozon)

Gambar 1.10 Struktur Molekul Oksigen

Oksigen dapat bersenyawa dengan berbagai unsur. Oksigen yang bersenyawa dengan unsur lain dikenal dengan nama oksida. Oksigen merupakan gas yang mempunyai peran dalam proses pembakaran (unsur pembakar), yang pertama kali dikenali oleh *Carl Wilhelm Scheele* pada saat memanaskan raksa(II) oksida. Penelitian ini kemudian dilanjutkan oleh *Joseph Priestley*, yang kini dikenal sebagai penemu oksigen.

Nitrogen Dalam proses produksi Etilen Oksida, digunakan sebagai gas Ballast untuk meminimalisir reaksi eksotermis dari oksigen yang bereaksi dengan etilen, selain itu fungsi lainnya adalah :

1. Pengencer inert (diluent) dalam aliran sirkulasi gas yang akan berfungsi untuk mengontrol konsentrasi oksigen dan etilen dalam aliran cycle gas
2. Penyerap sebagian panas yang dihasilkan oleh reaksi eksotermis pembentukan etilen oksida

(PT. Polichem, 2007)

Sifat fisika Nitrogen :

- Rumus Molekul : N_2
- Wujud : gas tak berwarna, tak berasa, tak berbau
- Berat Molekul : 28 g/gmol
- Titik didih (1atm) : $-195,65\text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatur kritis : $-146,8\text{ }^\circ\text{C}$
- Tekanan kritis : 3,399 MPa (33,55 atm)
- Densitas relatif (udara) pada 273,15 $^\circ\text{K}$: 0,967
- Viskositas dinamik pada 273,5 $^\circ\text{K}$: $15,9 \cdot 10^{-3}$ mPa.s

(Kirk and Othmer, 1996)

Data termodinamika :

- C_p gas (50-1500 $^\circ\text{K}$) : $29,342 - 3,5395 \cdot 10^{-3} T + 1,0076 \cdot 10^{-5} T^2 - 4,3116 \cdot 10^{-8} T^3 + 2,5935 \cdot 10^{-12} T^4$ J/gmol.K
- μ gas (150-1500 $^\circ\text{K}$) : $42,606 + 4,75 \cdot 10^{-1} T - 9,88 \cdot 10^{-5} T^2$ micropoise
- k gas (80-1500 $^\circ\text{K}$) : $0,00309 + 7,593 \cdot 10^{-5} T - 1,1014 \cdot 10^{-8} T^2$ W/m.K

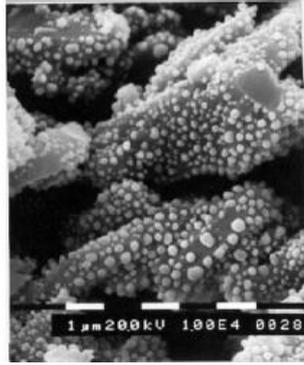
(Yaws, 1992)

1.11.2 Bahan Baku Pendukung

a. Katalis Silver/Perak

Etilen oksida pertama kali diproduksi dalam skala industri oleh Whurtz dengan metode Chlorohidin, hingga pada tahun 1863 Whurtz mulai mencari metode baru untuk produksi Etilen Oksida dengan metode oksidasi namun gagal, akhirnya penelitian tersebut dilanjutkan oleh Lefort pada tahun 1931 dengan metode yang sama namun menggunakan bantuan katalis silver, hingga kini berbagai perusahaan etilen oksida didunia mulai memproduksi etilen oksida metode Oksidasi dengan bantuan katalis Silver (Ullman Encyclopedia of Industrial,2005).

Data mengenai katalis silver adalah sebagai berikut :



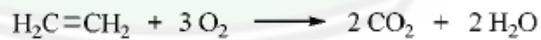
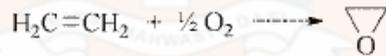
Gambar 1.11 Uji SEM katalis Silver dengan pembesaran 10.000x

(Sumber : *Ullman Encyclopedia of Industrial*,2005)

- Nama Katalis : Silver /Perak
- Rumus Molekul : Ag
- Selektivitas yang didapat : 80-90%
- Diameter Katalis : 3-10 milimeter
- Bentuk Katalis : Pellet
- Usia Katalis pada Produksi : 2-5 Tahun

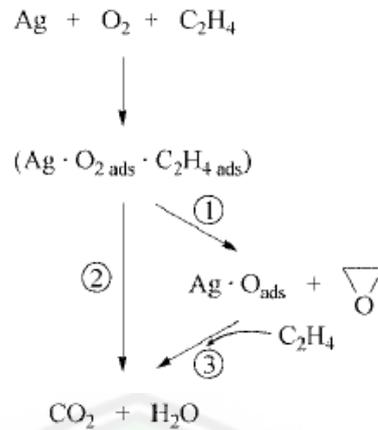
Mekanisme katalis silver pada produksi Etilen Oksida :

Mekanisme Reaksi Utama dan Reaksi Samping :



Gambar 1.12 Mekanisme Reaksi Etilen Oksida

Dengan Penambahan Silver Katalis :



Gambar 1.13 Mekanisme Reaksi Etilen Oksida Dengan Katalis Ag

(Ullman Encyclopedia of Industrial, 2005)

1.11.3. Etilen Dichloride (EDC)

Etilen dichloride (EDC) dalam produksi etilen oksida digunakan sebagai inhibitor (penghambat) pembentukan CO₂ dalam proses produksi, Inhibitor ini akan digunakan di dalam reaktor untuk mengendalikan selektifitas katalis, sehingga proporsi etilen oksida terbentuk lebih banyak dibandingkan produk-produk lain. (PT. Polychem, 2007).

Sifat Fisika

- Bentuk Fisik : Cair tidak berwarna
- Berat Molekul : 98,96 g/mol
- Tekanan Uap : 65 mmHg pada 29°C
- Viskositas : 0,8 mPas
- Titik Didih : 81-85°C
- Titik Lebur : -35°C
- Titik Nyala : 13°C

(MSDS, Verites House Mumbai, India, 2010)

1.12 Spesifikasi Produk

1.12.1 Etilen Oksida

Etilen Oksida merupakan senyawa organik dengan rumus molekul C_2H_4O , senyawa ini berbentuk gas tidak berwarna dengan aroma agak manis khas ether, pemanfaatan etilen oksida dalam industri yang cukup banyak, sebagian besar digunakan sebagai bahan baku intermediet untuk memproduksi produk kimia lainnya seperti etilen glikol, polietilen glikol, glycol ether dan sebagainya, hal ini lah yang menjadi alasan etilen oksida cukup banyak diproduksi dalam skala industri.



Gambar 1.14 Gambar Struktur Molekul Etilen Oksida

Sifat Fisika :

- Rumus Molekul : C_2H_4O
- Berat Molekul : 44,05 g/mol
- Tekanan Kritis : 7,19 Mpa (70 atm)
- Temperatur Kritis : $195,8^{\circ}C$
- Densitas Kritis : 314 kg/m³
- Titik Beku : $-111,7^{\circ}C$
- Titik Didih : $10,8^{\circ}C$ (pada tekanan 1 atm)
- Titik Lebur : $-112,5^{\circ}C$ (pada tekanan 1 atm)
- Batas Ledakan di udara : 3-100% (pada tekanan 1 atm)

(Kirk and Othmer, 1996)

Data Termodinamika :

- Entalpi Pembentukan Standar (25°C) : -52,63 kJ/mol
- Energi Gibbs pembentukan Standar : -13,230 kJ/mol
- Entropi Pembentukan Standar : 24,29 J/mol.K
- Standar Entalpi Pembakaran : -12,180 J/mol.K

(Perry's 7th Edition, 1999)

Sifat Kimia :

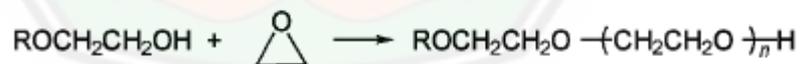
- Etilen oksida merupakan gas yang memiliki sifat reaktivitas yang tinggi, maka dari itu banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku intermediet dalam berbagai industri. Tiga cincin ikatan molekul mudah terbuka dalam setiap reaksi. Reaksi yang terjadi akan sangat eksotermis karena ketegangan cincin yang besar pada etilen oksida.
- Polimerisasi : berat molekul ringan polimer dari etilen oksida, polyetilen glikol, akan terbentuk dengan mereaksikan etilen oksida dengan air atau alkohol dalam kondisi yang layak.

Contoh polimerisasi Etilen oksida adalah :

- a. Reaksi Etilen Oksida dengan nucleophile dan hydroxyetil group



- b. Reaksi antara Etilen Oksida dengan Polimer



- Reaksi Hidrolisis : pada proses ini etilen oksida digunakan untuk memproduksi etilen glikol, dalam prosesnya etilen oksida direaksikan dengan air dengan menghadirkan katalis basa.

Berikut adalah konstanta reaksi Hidrolisis dari Etilen Oksida

Tabel 1.9 Konstanta Reaksi Hidrolisis Dari Etilen Oksida

Temperature, °C	Acidic, k_3 , L/(mol·min) ^b	Neutral, $10^4 k_3$, min ⁻¹ ^c	Basic, $10^2 k_3$, L/(mol·min) ^b
20	0.32	0.22	0.34
30	1.00	0.55	1.0
40	2.5	1.9	3.06
60		11.9	17.0
80		60.6	77

(Kirk and Othmer, 1996)

