

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri di Indonesia terus mengalami perkembangan pesat seiring dengan kemajuan zaman. Peningkatan ini berjalan selaras dengan bertambahnya kebutuhan masyarakat akan berbagai produk industri. Salah satu sektor yang mengalami pertumbuhan signifikan adalah industri kimia, yang memiliki peran penting dalam menyediakan bahan baku untuk berbagai sektor manufaktur di dalam negeri. Namun, ketersediaan bahan baku kimia serta bahan penunjang untuk industri kimia dalam negeri masih terbatas. Keterbatasan ini menyebabkan Indonesia masih bergantung pada impor bahan kimia dari luar negeri guna memenuhi kebutuhan industri. Salah satu bahan kimia yang masih bergantung pada impor adalah etilen oksida (WITS, 2023).

Kebutuhan etilen oksida di dalam negeri mengalami peningkatan dalam beberapa tahun terakhir. Hal ini terutama disebabkan oleh meningkatnya permintaan etilen glikol, yang merupakan produk turunan dari etilen oksida. Pabrik etilen glikol di kawasan Merak yang terus berkembang telah memberikan dampak signifikan terhadap kebutuhan etilen oksida. Etilen oksida tidak hanya digunakan sebagai bahan baku utama dalam produksi etilen glikol, tetapi juga berperan penting dalam pembuatan insektisida, etanolamina, glikol eter, dan polietilen oksida (Fachrizal & Anjasmara, 2023).

Etilen oksida, atau yang dikenal juga sebagai oxirene, adalah senyawa organik dengan rumus molekul C_2H_4O . Senyawa ini berbentuk gas yang mudah terbakar, tidak berwarna, dan memiliki aroma manis. Dalam industri, penggunaan etilen oksida sangat luas. Turunan dari etilen oksida banyak digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan deterjen, kosmetik, farmasi, dan berbagai produk lainnya. Menurut penelitian terbaru oleh (Sari et al., 2022), etilen oksida juga memiliki potensi besar dalam pengembangan bahan kimia ramah lingkungan. Studi ini menunjukkan bahwa dengan teknologi katalis yang tepat, produksi etilen oksida dapat dilakukan dengan lebih efisien dan mengurangi dampak lingkungan. Selain itu, penelitian oleh (Johnson et al., 2021) dalam jurnal internasional "*Industrial & Engineering Chemistry Research*" mengungkapkan bahwa penggunaan etilen oksida dalam industri farmasi semakin meningkat, terutama dalam proses sterilisasi alat medis.

Dengan demikian, perkembangan dan pemanfaatan etilen oksida terus mengalami inovasi, baik dari segi produksi maupun aplikasinya dalam berbagai industri. Hal ini menunjukkan pentingnya penelitian dan pengembangan lebih lanjut untuk memaksimalkan potensi etilen oksida dalam mendukung industri kimia di Indonesia.

1.2 Kapasitas Rancangan

1.2.1 Proyeksi Kebutuhan Etilen Oksida di Indonesia

Kebutuhan etilen oksida di Indonesia menunjukkan tren peningkatan dari tahun ke tahun. Berdasarkan data impor dan ekspor etilen oksida dari tahun 2020 hingga 2024, dapat dilakukan analisis lebih lanjut untuk memprediksi kebutuhan di tahun 2029.

Tabel 1. 1 Kebutuhan Impor dan Ekspor Etilen Oksida di Indonesia Tahun 2020 – 2024

Tahun	Kapasitas Impor (Ton)	Kapasitas Ekspor (Ton)
2024	603.067,00	10.764,00
2023	619.597,00	10.764,00
2022	466.567,00	925,00
2021	198.070,00	480,00
2020	119.061,00	480,00

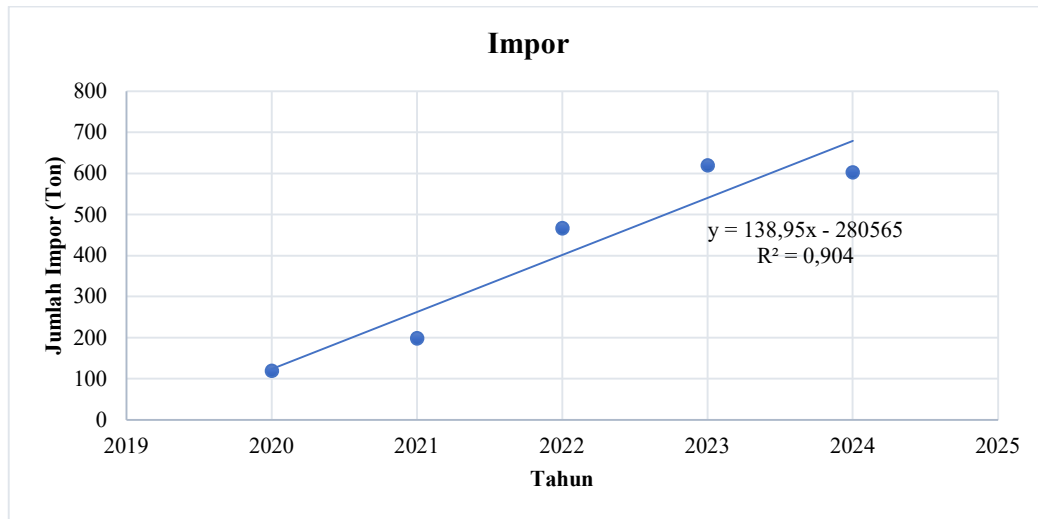
Berdasarkan data pada Tabel 1.1, didapatkan regresi linier: $y = mx + c$. persamaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2.

Keterangan:

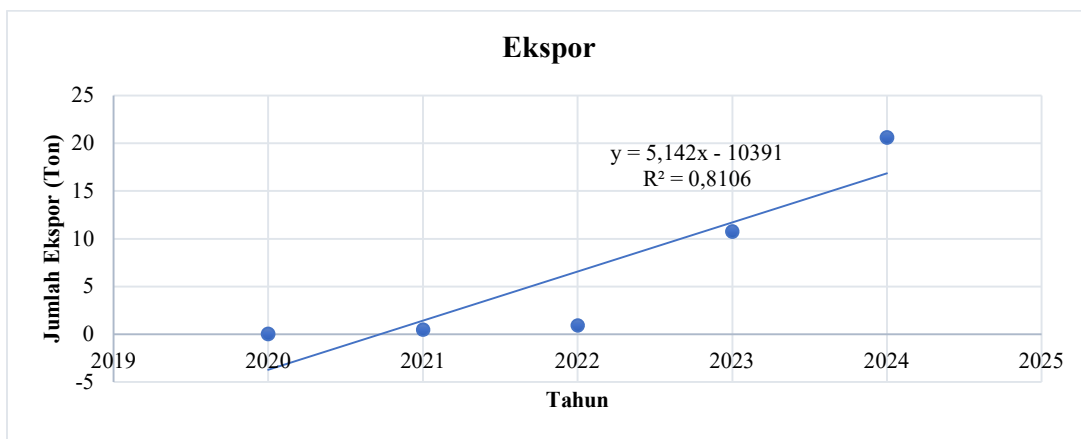
y = Jumlah kebutuhan etilen oksida dalam ton/tahun

x = Tahun ke – n

m dan c = Didapatkan dari pendekatan grafik



Gambar 1. 1 Grafik Impor Etilen Oksida di Indonesia Tahun 2020-2024 (BPS, 2025)



Gambar 1. 2 Grafik Ekspor Etilen Oksida di Indonesia Tahun 2020-2024 (BPS, 2025)

Berdasarkan analisis yang ditampilkan dalam Gambar 1.1 dan Gambar 1.2, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) untuk data impor etilen oksida adalah 0,904. Nilai R^2 tergolong tinggi, dengan ini penentuan kapasitas pabrik pada tahun 2028 yang direncanakan dapat diprediksi dengan regresi linier. Informasi lebih lanjut mengenai data impor dan ekspor etilen oksida dapat ditemukan dalam Tabel 1.2 sebagai berikut.

Tabel 1. 2 Data Impor dan Ekspor Etilen Oksida di Indonesia

Tahun	Impor (Ton/Tahun)	Ekspor (Ton/Tahun)	Kebutuhan	Impor (%)	Ekspor (%)
-------	----------------------	-----------------------	-----------	-----------	------------

2020	119.061,00	480,00	118.581,00	-	-
2021	198.070,00	480,00	197.590,00	66,36	0
2022	466.567,00	925,00	465.642,00	135,56	92,70833333
2023	619.597,00	10.764,00	608.833,00	32,80	1063,675676
2024	603.067,00	10.764,00	592.303,00	-2,67	0
Total	2.006.362,00	23.413,00	1.982.949,00	232,05	1.156,38
i	401.272,40	4.682,60	660.983,00	92,82	462,55

Perhitungan kapasitas pabrik etilen oksida dihitung dengan metode *discounted* yaitu:

$$m = P(1 + i)^m$$

Keterangan:

m = Jumlah produk pada akhir tahun perhitungan

P = Jumlah produk pada tahun terakhir yang diketahui

i = Pertumbuhan rerata pertahun

n = Selisih tahun

Perhitungan kapasitas produksi pabrik etilen oksida sebagai berikut.

1. Perhitungan *Supply*

a. Perhitungan perkiraan nilai impor tahun 2029

$$M_{2029} = P(1+i)^m$$

$$M_{2029} = 137.4153$$

b. Perhitungan nilai produksi pabrik yang sudah berdiri

$$\text{Nilai Produksi} = 147.000$$

2. Perhitungan *Demand*

a. Perhitungan perkiraan nilai ekspor tahun 2029

$$M_{2029} = P(1+i)^m$$

$$M_{2029} = 25.873$$

b. Perhitungan nilai konsumsi tahun 2029

$$M_{2029} = P(1+i)^m$$

$$M_{2029} = 137.4153$$

c. Perhitungan Peluang Pabrik

$$\text{Peluang} = \text{Demand} - \text{Supply}$$

$$\text{Peluang} = (\text{Ekspor} + \text{Konsumsi}) - (\text{Impor} + \text{Produksi})$$

$$\text{Peluang} = 1.348.280 \text{ ton/tahun}$$

1.2.2 Kapasitas Komersial Pabrik yang Sudah Berdiri

Produksi etilen oksida secara global menunjukkan variasi kapasitas yang signifikan antara skala nasional dan internasional. Beberapa perusahaan di Indonesia yang memproduksi etilen oksida memiliki kapasitas produksi yang relatif terbatas dibandingkan dengan perusahaan-perusahaan global. Kapasitas produksi nasional dari beberapa perusahaan di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.3 sebagai berikut.

Tabel 1. 3 Data Kapasitas Pabrik Etilen Oksida di Indonesia

Nama Pabrik	Kapasitas (Ton/Tahun)
PT. Polychem Indonesia	50.000
PT. Prima Ethycolindo	22.000
PT. Essence Indonesia	30.000
PT. Indeso Aroma	25.000
PT. Mane Indonesia	20.000
Jumlah	147.000

Sementara itu, kapasitas produksi etilen oksida dalam skala internasional jauh lebih besar. Beberapa perusahaan global yang memiliki kapasitas produksi tinggi dapat dilihat pada Tabel 1.4 sebagai berikut.

Tabel 1. 4 Data Kapasitas Pabrik Etilen Oksida di Dunia

Nama Pabrik	Kapasitas (Ton/Tahun)
Akzo Nobel, Stenungsund, Sweden	100.000
Kazanorgsintez, Kazan, Russia	80.000
Eastman Chemical, Longview, Texas, US	105.000
BASF, Geismar, Louisiana, US	220.000
Dow Chemical, Pretiss, Canada	250.000
BP Chemicals, United Kingdom	25.000
Sunolin, US	45.000
Shell Chemicals, Louisiana, US	420.000
Anic, Italia	40.000
Jumlah	1.285.000

Dari data di atas, terlihat bahwa kapasitas produksi etilen oksida di skala global sangat jauh lebih besar dibandingkan dengan produksi nasional Indonesia. Untuk mengurangi ketergantungan pada impor dan meningkatkan daya saing industri kimia domestik, Indonesia perlu meningkatkan kapasitas produksi etilen oksida secara berkelanjutan.

Salah satu strategi yang dapat diterapkan adalah dengan membangun lebih banyak pabrik kimia dengan teknologi yang lebih efisien, serta meningkatkan investasi dalam industri bahan baku dan sektor hilir terkait. Dengan demikian, Indonesia dapat menjadi pemain utama dalam industri kimia global, sekaligus memenuhi kebutuhan industri dalam negeri secara mandiri.

Tabel 1. 5 Proyeksi Penentuan Kapasitas Pabrik

Proyeksi kebutuhan	Bahan baku	Terpasang		Kesimpulan	
		min	max	min	max
134	2.336.670	20.000	50.000	20.000	50.000

Berdasarkan data yang disajikan dalam Tabel 1.5, dapat dilihat bahwa proyeksi kebutuhan etilen oksida mencapai 134 ton. Untuk memenuhi kebutuhan ini, diperlukan bahan baku sebanyak 2.336.670 ton. Kapasitas terpasang saat ini menunjukkan variasi yang signifikan, dengan kapasitas minimum sebesar 20.000 ton dan kapasitas maksimum sebesar 50.000 ton.

Dalam menentukan kapasitas produksi yang ideal, diambil nilai tengah antara kapasitas minimum dan maksimum, yaitu sebesar 25.000 ton/tahun. Nilai ini dipilih untuk memastikan keseimbangan antara efisiensi produksi dan kemampuan memenuhi kebutuhan pasar. Dengan kapasitas produksi sebesar 25.000 ton/tahun, Indonesia dapat lebih efektif dalam mengurangi ketergantungan pada impor dan meningkatkan daya saing industri kimia domestik.

Dengan demikian, untuk mencapai tujuan tersebut, Indonesia perlu mengevaluasi dan meningkatkan kapasitas produksi etilen oksida. Hal ini dapat dilakukan dengan membangun pabrik-pabrik baru yang dilengkapi dengan teknologi efisien serta meningkatkan investasi dalam sektor bahan baku dan hilir. Dengan langkah-langkah ini, Indonesia dapat memenuhi kebutuhan industri dalam negeri secara mandiri dan menjadi pemain utama dalam industri kimia global.

1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku merupakan aspek krusial dalam keberlanjutan operasional pabrik. Oleh karena itu, perlu adanya perhatian khusus terhadap pasokan dan pengadaan bahan baku guna memastikan kelangsungan produksi. Salah satu bahan baku utama dalam industri

kimia adalah etilen dan oksigen, yang digunakan dalam berbagai proses produksi, termasuk dalam pembuatan etilen oksida.

Berdasarkan data yang tersedia, produksi etilen dan oksigen di Indonesia telah mencapai angka yang cukup signifikan yang ditunjukkan pada Tabel 1.6 dan Tabel 1.7 sebagai berikut.

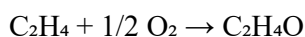
Tabel 1. 6 Kapasitas Produsen Etilen di Indonesia

Nama Pabrik	Kapasitas (Ton/Tahun)
Chandra Asri Petrochemical	860.000
Jumlah	860.000

Tabel 1. 7 Kapasitas Produsen Oksigen di Indonesia

Nama Pabrik	Kapasitas (Ton/Tahun)
Samator Group	366.095
PT Linde Indonesia	102.200
PT Air Products Indonesia	98.550
PT Air Liquide Indonesia	69.350
PT Iwatani Industrial Gas Indonesia	5.475
PT Samator Indo Gas (KITB - Batang)	2.555.000
Jumlah	3.196.670

Untuk menentukan kebutuhan bahan baku dalam produksi etilen oksida, dilakukan perhitungan stoikiometri berdasarkan reaksi kimia utama:



Dimana:

- 1 mol etilen (C_2H_4) bereaksi dengan 0,5 mol oksigen (O_2) menghasilkan 1 mol etilen oksida ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$)
- Massa molar $\text{C}_2\text{H}_4 = 28 \text{ g/mol}$
- Massa molar $\text{O}_2 = 32 \text{ g/mol}$
- Massa molar $\text{C}_2\text{H}_4\text{O} = 44 \text{ g/mol}$

Target produksi etilen oksida adalah 170.000 ton/tahun, maka kebutuhan bahan baku dapat dihitung sebagai berikut.

1. Kebutuhan Etilen (C_2H_4):

$$\text{Mol C}_2\text{H}_4\text{O} = (25.000.000.000 \text{ g}) / (44 \text{ g/mol}) = 568.181.818 \text{ mol}$$

$$\text{Mol C}_2\text{H}_4 = 568.181.818 \text{ mol (karena perbandingan mol 1:1)}$$

$$\text{Massa C}_2\text{H}_4 = 568.181.818 \text{ mol} \times 28 \text{ g/mol} = 15.909.090.904 \text{ g} = 15.909 \text{ ton/tahun}$$

2. Kebutuhan Oksigen (O₂):

$$\text{Mol O}_2 = 0,5 \times \text{Mol C}_2\text{H}_4 = 0,5 \times 568.181.818 \text{ mol} = 284.090.909 \text{ mol}$$

$$\text{Massa O}_2 = 284.090.909 \text{ mol} \times 32 \text{ g/mol} = 9.090.909.088 \text{ g} = 9.091 \text{ ton/tahun}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan bahan baku untuk produksi 25.000 ton etilen oksida per tahun adalah sekitar 15.909 ton etilen dan 9.091 ton oksigen. Ketersediaan bahan baku di Indonesia menunjukkan bahwa produksi ini dapat terpenuhi dengan kapasitas yang ada, sehingga mendukung keberlanjutan dan pengembangan industri kimia di Indonesia.

1.3 Pemilihan Lokasi Pabrik

Dalam menentukan lokasi pendirian pabrik, terdapat beberapa aspek penting yang harus dipertimbangkan, salah satunya adalah karakteristik proses produksi etilen oksida. Salah satu faktor utama dalam pemilihan lokasi adalah menentukan apakah pabrik tersebut termasuk dalam kategori *weight loss* atau *weight gain*.

1. Pabrik dalam kategori *weight loss*

Pabrik yang termasuk dalam kategori *weight loss* adalah pabrik yang menghasilkan produk dengan bobot lebih ringan dibandingkan dengan bahan baku yang digunakan dalam proses produksinya. Oleh karena itu, untuk meminimalkan biaya transportasi bahan baku, pabrik *weight loss* sebaiknya dibangun di dekat sumber bahan baku utama. Dengan lokasi yang strategis ini, biaya logistik dapat ditekan seminimal mungkin sehingga meningkatkan efisiensi operasional pabrik secara keseluruhan.

2. Pabrik dalam kategori *weight gain*

Sebaliknya, pabrik dalam kategori *weight gain* adalah pabrik yang menghasilkan produk akhir dengan bobot lebih besar dibandingkan dengan bahan bakunya. Dalam hal ini, lokasi ideal pabrik *weight gain* biasanya lebih dekat ke wilayah pemasaran atau konsumen akhir. Dengan menempatkan pabrik di area yang strategis, distribusi produk menjadi lebih mudah dan biaya pengiriman dapat ditekan karena produk sudah berada di dekat target pasarnya.

Berdasarkan penentuan kategori *weight loss* dan *weight gain*, maka pabrik etilen oksida tergolong dalam kategori *weight gain* sehingga lokasi harus didekatkan dengan konsumen. Beberapa konsumen terletak di tiga kota besar meliputi Cilegon, Cikarang, dan Jakarta.

Evaluasi penentuan lokasi ditentukan secara kuantitatif berdasarkan perbandingan numerik dengan memberikan skor pada setiap kriteria yang relevan, sehingga dapat mengurangi subjektivitas dalam pengambilan keputusan.

Tabel 1. 8 Penentuan Lokasi Berdasarkan *Scoring*

Kriteria	Bobot (%)	Lokasi			Keterangan
		Cilegon	Cikarang	Jakarta	
Ketersediaan bahan baku	15	5	4	3	Cilegon dekat dengan Pelabuhan
Kedekatan pasar	25	5	4	3	Pasar dapat diakses lebih cepat via tol dan laut
Transport & logistik	15	5	4	4	Cilegon memiliki Pelabuhan Merak dan akses tol Trans-Jawa
Biaya lahan	10	4	3	1	Lahan industri di Cilegon lebih murah
Upah tenaga kerja	10	4	3	2	Upah di Cilegon lebih kompetitif mengingat tenaga kerja yang mumpuni
Utilitas & fasilitas	10	4	5	5	Cikarang lebih unggul dalam fasilitas industri, namun Cilegon juga bersaing
Lingkungan & perizinan	10	4	3	2	Kawasan industri Cilegon sudah memenuhi standar nasional dan internasional
Keamanan & stabilitas	5	4	4	3	Cilegon lebih rendah berisiko kemacetan

Perhitungan skor total

1. Cilegon

$$(5 \times 15) + (5 \times 25) + (5 \times 15) + (4 \times 10) + (4 \times 10) + (4 \times 10) + (4 \times 10) + (4 \times 5) = 455$$

2. Cikarang

$$(5 \times 15) + (4 \times 25) + (4 \times 15) + (3 \times 10) + (3 \times 10) + (5 \times 10) + (3 \times 10) + (4 \times 5) = 380$$

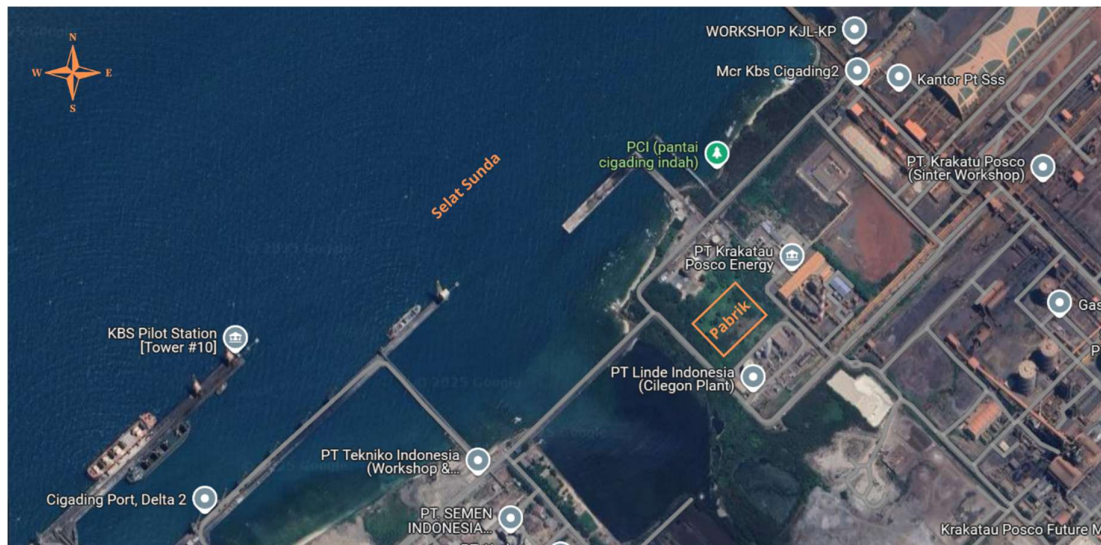
3. Jakarta

$$(3 \times 15) + (3 \times 25) + (4 \times 15) + (1 \times 10) + (2 \times 10) + (5 \times 10) + (2 \times 10) + (3 \times 5) = 295$$

Berdasarkan beberapa pertimbangan tersebut, pabrik etilen oksida direncanakan untuk didirikan di Kawasan Industri Cilegon, tepatnya di Krakatau Industrial Estate Cilegon (KIEC). Pemilihan lokasi ini dilakukan untuk mengoptimalkan keuntungan dari segi teknis maupun ekonomis, mengingat kawasan ini memiliki akses yang baik terhadap bahan baku, tenaga kerja, infrastruktur transportasi, serta fasilitas industri yang mendukung proses produksi dan distribusi.

Selain itu, lokasi ini juga memberikan peluang besar untuk pengembangan pabrik di masa mendatang, baik dalam bentuk ekspansi produksi maupun diversifikasi produk. Dengan keberadaan industri sejenis di kawasan tersebut, sinergi antar perusahaan juga dapat tercipta, memungkinkan efisiensi dalam hal biaya operasional dan logistik.

Pada peta wilayah yang telah dianalisis, ditemukan bahwa area tersebut memiliki lahan yang masih kosong dan direncanakan untuk digunakan sebagai lokasi pembangunan pabrik. Ilustrasi mengenai lokasi pendirian pabrik dapat dilihat pada Gambar 1.1 di bawah ini.



Gambar 1. 3 Lokasi Pendirian Pabrik Etilen Oksida

Dengan mempertimbangkan faktor-faktor di atas, pemilihan lokasi di KIEC diharapkan dapat meningkatkan daya saing pabrik etilen oksida dan memberikan manfaat jangka panjang bagi perusahaan. Secara rinci juga mempertimbangkan beberapa faktor-faktor sebagai berikut.

1.3.1 Faktor Utama

Faktor utama dalam pemilihan lokasi berkaitan langsung dengan keberlangsungan proses produksi dan distribusi produk. Beberapa aspek yang dipertimbangkan antara lain:

1. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku merupakan elemen fundamental dalam proses produksi. Untuk pabrik etilen oksida, bahan baku utama dapat diperoleh dari Chandra Asri Petrochemical Tbk, yang berlokasi tidak jauh dari Krakatau Industrial Estate Cilegon. Selain itu, kebutuhan oksigen untuk produksi dapat dipenuhi oleh PT. Linde Indonesia, yang juga berada di kawasan industri tersebut. Kedekatan lokasi ini memberikan keuntungan dalam hal efisiensi biaya transportasi dan stabilitas pasokan bahan baku, sehingga membantu mengurangi biaya operasional pabrik secara keseluruhan.

2. Kedekatan dengan Pasar dan Industri Terkait

Pabrik etilen oksida dibangun untuk memenuhi permintaan domestik terhadap bahan baku etilen oksida. Beberapa industri yang bergantung pada etilen oksida sebagai bahan baku utama, seperti industri etilen glikol, tersebar di sekitar lokasi pabrik. Beberapa perusahaan yang membutuhkan etilen oksida untuk produksinya antara lain PT. Polychem Indonesia Tbk

(Cilegon), PT. Prima Ethycolindo, dan PT. Yasa Ganesha Putra (Merak). Dengan kedekatan ini, distribusi produk dapat dilakukan lebih cepat dan biaya pengiriman dapat diminimalkan.

3. Akses terhadap Utilitas dan Infrastruktur

Kawasan Krakatau Industrial Estate Cilegon memiliki infrastruktur industri yang lengkap, termasuk akses ke sumber daya listrik, air, dan energi. Pasokan listrik diperoleh dari PLN, sementara kebutuhan air industri dapat dipenuhi oleh pengelola kawasan KIEC. Aksesibilitas yang baik terhadap sumber daya ini menjamin kelangsungan operasional pabrik tanpa kendala besar.

4. Ketersediaan Tenaga Kerja

Provinsi Banten memiliki kepadatan penduduk yang cukup tinggi, sehingga kebutuhan tenaga kerja industri dapat dengan mudah terpenuhi. Selain itu, kedekatan wilayah dengan ibukota Jakarta memungkinkan akses terhadap tenaga kerja terampil dan profesional yang memiliki keahlian di bidang industri kimia. Faktor ini menjadi keunggulan tersendiri dalam mendukung operasional pabrik secara optimal.

1.3.2 Faktor Pendukung

Selain faktor utama, terdapat beberapa faktor pendukung yang turut berperan dalam memastikan kelancaran operasional pabrik dan keberlanjutan bisnis. Faktor-faktor tersebut meliputi:

1. Kondisi Tanah dan Iklim

Struktur tanah di Krakatau Industrial Estate Cilegon dinilai stabil dan cocok untuk pembangunan serta pengembangan pabrik dalam jangka panjang. Kawasan ini telah dirancang secara khusus untuk kebutuhan industri, dengan dukungan iklim yang stabil sepanjang tahun. Hal ini memastikan bahwa risiko geoteknik seperti longsor atau pergeseran tanah dapat diminimalkan.

2. Potensi Perluasan Area Pabrik

Kawasan KIEC memiliki area lahan kosong yang luas, memungkinkan ekspansi pabrik jika diperlukan di masa depan. Keunggulan ini memberikan fleksibilitas bagi perusahaan untuk meningkatkan kapasitas produksi atau menambah fasilitas tambahan seiring dengan pertumbuhan industri.

3. Dukungan Kebijakan Pemerintah

Pemerintah telah menetapkan lokasi ini sebagai salah satu pusat pengembangan industri kimia dan petrokimia di Indonesia. Dengan adanya regulasi yang mendukung serta insentif bagi investor, pemilihan lokasi di Banten memberikan keuntungan dari segi administrasi dan kemudahan perizinan.

4. Ketersediaan Sarana Penunjang Lain

Sebagai kawasan industri terpadu, KIEC dilengkapi dengan berbagai fasilitas pendukung seperti perumahan karyawan, rumah sakit, sarana olahraga, serta pusat kesehatan dan keamanan. Ketersediaan fasilitas ini tidak hanya meningkatkan kesejahteraan tenaga kerja, tetapi juga mendukung produktivitas perusahaan dengan mengurangi hambatan operasional terkait kebutuhan sosial dan logistik.

1.4 Tinjauan Proses

1.4.1 Macam-macam Proses

Produksi etilen oksida pertama kali dilakukan pada tahun 1859 oleh seorang ilmuwan asal Perancis bernama Charles Adolphe Wurtz. Wurtz menemukan bahwa etilen oksida dapat disintesis dengan cara mereaksikan 2-kloroetanol dengan senyawa basa kalium hidroksida (KOH). Proses ini kemudian dikenal sebagai proses klorohidrin, yang pada masa itu menjadi metode utama dalam produksi etilen oksida (Wurtz, 1849).

Dalam skala industri, terdapat tiga metode utama yang pernah digunakan untuk memproduksi etilen oksida, yaitu proses klorohidrin, proses oksidasi langsung, dan proses Celanese.

Pada tahun 1914, produksi etilen oksida dalam skala besar mulai dilakukan dengan menggunakan proses klorohidrin. Metode ini cukup efektif pada masanya, tetapi memiliki beberapa kekurangan, terutama dalam hal dampak lingkungan karena menghasilkan limbah garam klorida yang berbahaya. Oleh karena itu, para ilmuwan terus mencari alternatif yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

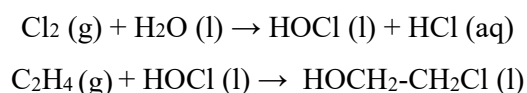
Pada tahun 1931, seorang ilmuwan bernama Lefort menemukan proses oksidasi langsung, yang segera menggantikan metode klorohidrin. Proses ini menggunakan katalis perak untuk mengoksidasi etilen dengan oksigen, menghasilkan etilen oksida dengan efisien yang lebih tinggi serta limbah yang lebih sedikit. Seiring berkembangnya teknologi, proses oksidasi langsung menjadi standar industri global, menggantikan sepenuhnya metode klorohidrin (Mc Ketta & Cunningham, 1976).

Selain metode oksidasi langsung, dikembangkan pula proses Celanese, yang sama-sama menggunakan katalis berbasis perak. Namun memiliki perbedaan pada kondisi operasi, efisiensi, dan pengendalian produk samping yang lebih kompleks. Meskipun memiliki beberapa keunggulan, proses Celanese kurang populer dibandingkan metode oksidasi langsung berbasis katalis perak, yang tetap menjadi pilihan utama dalam industri karena kestabilan katalisnya serta efisiensi produksinya. Hingga saat ini produksi etilen oksida secara global hampir sepenuhnya menggunakan metode oksidasi langsung, karena menawarkan efisiensi tinggi biaya operasional lebih rendah dan dampak lingkungan yang lebih kecil dibanding metode lainnya (Celanese Corp., 2020).

1. Proses Klorohidrin

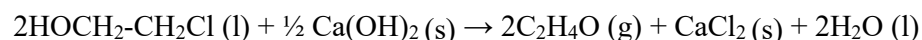
Proses pembuatan etilen oksida menggunakan metode klorohidrin, terdiri dari dua reaksi utama meliputi reaksi pembuatan klorohidrin dan dilanjutkan dengan reaksi pembentukan etilen oksida. Reaksi yang berlangsung dijabarkan sebagai berikut.

Proses pertama disebut sebagai proses klorohidrin, berupa reaksi antara etilen dengan klorin dan air atau asam hipoklorat menghasilkan klorohidrin.



Reaksi ini berlangsung di dalam *packed tower reactor*, yang dipilih untuk menahan korosi akibat penggunaan dari klorin. Kondisi optimal yang berlangsung untuk reaksi ini pada temperature 27-43°C, tekanan 2-3 atm dan selektivitas reaksi sebesar 85-90%. Selama proses reaksi ini berlangsung, dilakukan pengendalian secara ketat terhadap konsentrasi klorohidrin sebesar 7%wt untuk menghindari produk samping berupa etilen diklorida ($\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$), dikloro dietil (Bis(2-chloroethyl) ether, $\text{C}_4\text{H}_8\text{Cl}_2\text{O}$), dan sebagainya.

Proses kedua disebut sebagai proses dehidroklorinasi, berupa reaksi antara klorohidrin dengan kalsium hidroksida menghasilkan etilen oksida.



Reaksi ini berlangsung di dalam *hydrolyzer* berbentuk silinder yang dilengkapi dengan partial condenser beroperasi pada tekanan atmosferis, dipanaskan hingga temperatur 100°C, dan selektivitas reaksi sebesar 90-95%. Proses ini dilakukan dengan penambahan slurry $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sebanyak 10%wt. Hasil etilen oksida berfase gas akan dikondensasikan sebelum dilanjutkan ke proses pemurnian.

Proses klorohidrin memiliki sejumlah kekurangan dibanding dengan metode lainnya, sebagai berikut.

- a. Menghasilkan produk samping yang mengandung klorin, seperti kalsium klorida (CaCl_2).
- b. Membutuhkan bahan baku dalam jumlah besar, terutama klorin.
- c. Memerlukan peralatan tahan korosi yang mahal, karena keberadaan klorin dalam aliran bahan baku.
- d. Proses pemurnian yang kompleks, karena etilen oksida harus melalui serangkaian kolom distilasi yang disusun seri.
- e. Biaya produksi tinggi, sekitar 3–4 kali lebih mahal dibandingkan dengan proses oksidasi langsung (Mc Ketta & Cunningham, 1976).

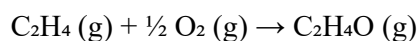
2. Proses Oksidasi Langsung

Teknologi oksidasi langsung merupakan metode yang digunakan untuk menghasilkan etilen oksida melalui reaksi oksidasi katalitik terhadap etilen (C_2H_4) dengan menggunakan oksigen (O_2) sebagai zat pengoksidasi. Reaksi ini berlangsung dengan bantuan katalis berbasis perak (Ag), yang berperan dalam mempercepat konversi etilen menjadi etilen oksida tanpa membentuk produk samping yang berlebihan. Proses pembuatan etilen oksida menggunakan metode oksidasi langsung, terdiri dari dua alternatif sumber zat pengoksidasi (*oxidizing agent*) berupa oksigen teknis dan udara bebas. Oksigen teknis yang digunakan didapatkan dari sumber agen oksidasi dengan kemurnian tinggi mencapai >95 mol %, sedangkan udara didapatkan dari udara bebas yang memiliki banyak kandungan oksigen kemudian diumpankan langsung menuju sistem (Othmer & Kirk, 1998).

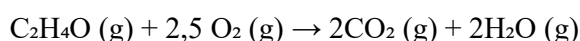
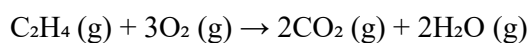
a. Oksidasi Langsung Menggunakan Oksigen Teknis

Pada metode ini, oksigen murni digunakan sebagai agen oksidasi dalam *Fixed-Bed Multitube Reactor* yang beroperasi pada tekanan 10-30 bar dan temperatur sekitar $220\text{--}235^\circ\text{C}$ dengan katalis berbasis perak. Reaksi yang berlangsung dapat dituliskan sebagai berikut.

Reaksi utama:



Reaksi samping:



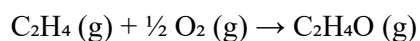
Selektivitas terhadap etilen oksida dalam metode ini mencapai 75-82%, tergantung pada kondisi operasi dan efisiensi katalis. Namun karbon monoksida (CO) juga dapat terbentuk

dalam jumlah signifikan. Untuk mengurangi dampak negatifnya, gas CO harus dihilangkan melalui serangkaian unit pemurnian seperti CO Absorber dan CO₂ Stripper, yang berfungsi untuk menurunkan kadar CO sebelum gas buangan dilepaskan (Othmer & Kirk, 1998).

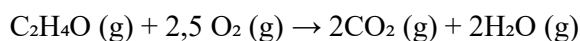
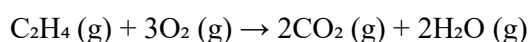
b. Oksidasi Langsung Menggunakan Udara

Pada metode ini, udara yang mengandung sekitar 21% oksigen dan 79% nitrogen diumpankan ke dalam reaktor sebagai agen pengoksidasi. Dikarenakan nitrogen bersifat inert, gas ini tidak berpartisipasi dalam reaksi tetapi berfungsi sebagai pendingin alami dan pengencer (*diluent*) untuk mencegah risiko eksplosivitas.

Reaksi utama:



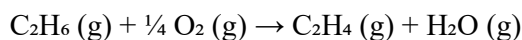
Reaksi samping:



Selektivitas reaksi dalam metode ini cenderung lebih rendah dibandingkan dengan metode oksigen teknis, yakni berkisar antara 63-75%. Namun, metode ini unggul dalam ekonomi karena tidak memerlukan tambahan gas inert khusus, seperti nitrogen murni. Sebagai gantinya proses ini membutuhkan sistem pruging untuk mencegah akumulasi nitrogen dalam reaktor (Othmer & Kirk, 1998).

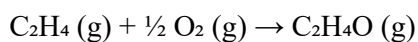
c. Oksidasi Etilen dari Etana

Pada metode ini terdiri dari dua tahapan utama diantaranya, pembuatan etilen melalui proses oxydehydrogenation dan proses oksidasi lanjutan. Proses oxydehydrogenation merupakan reaksi antara etana dengan oksigen menggunakan katalis berbasis molybdenum, vanadium, tantalum, dan niobium (MoVTaNbO). Reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut.

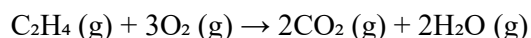


Kemudian dilanjutkan dengan reaksi sebagai berikut, mereaksikan etilen dan oksigen menghasilkan etilen oksida.

Reaksi utama:



Reaksi samping:

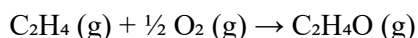


Proses oksidasi dari etana ini memiliki tingkat selektifitas tinggi terhadap etilen oksida mencapai 95%, dan menjadi alternatif yang lebih efisien. Namun perlu diperhatikan bahwa Sebagian etana yang tidak bereaksi dapat menjadi gas inert, sehingga memerlukan sistem pemurnian tambahan untuk menghindari akumulasi di dalam reaktor serta pemisahan produk, sehingga biaya operasionalnya lebih tinggi dibanding metode oksidasi langsung yang lain.

3. Proses Celanese

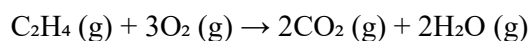
Proses pembuatan etilen oksida menggunakan metode Celanese merupakan pengembangan dari metode oksidasi langsung, dapat menggunakan oksigen teknis maupun udara di dalam reaktor katalitik multi-tube dengan katalis perak. Proses ini mencapai konversi 80,9% dan selektivitas 82,6%. Gas hasil reaksi yang mengandung etilen oksida dilewatkan ke absorber, kemudian CO₂ dipisahkan melalui unit CO₂ removal, menghasilkan etilen oksida murni. Dalam proses Celanese, reaksi yang terjadi adalah oksidasi etilen menjadi etilen oksida dengan bantuan katalis perak. Reaksi ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

Reaksi utama:

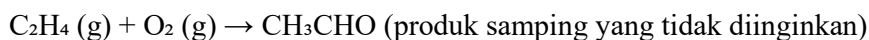


Reaksi samping:

Oksidasi total etilen



Oksidasi parsial etilen



Jika menggunakan udara sebagai oksidator, dibutuhkan dua reaktor: satu untuk reaksi dan satu untuk purging guna menghindari akumulasi nitrogen. Namun, udara meningkatkan kadar CO₂ dalam sistem, menurunkan yield hingga 10–30%. Sebaliknya, jika menggunakan oksigen murni, hanya diperlukan satu reaktor dengan kadar CO₂ lebih rendah, sehingga lebih efisien.

Reaksi berlangsung pada tekanan 10–30 bar dan suhu 200–300°C dalam reaktor fixed-bed multitube dengan inert gas metana. Selain etilen oksida, produk samping seperti CO₂ dan H₂O terbentuk dalam jumlah tinggi, sehingga diperlukan sistem CO₂ absorber dan CO₂ stripper untuk mengurangi kandungan CO₂ serta memungkinkan daur ulang gas ke dalam reaktor (Kirk dan Othmer, 1978). Penggunaan oksigen lebih ekonomis dibanding udara karena mengurangi kebutuhan volume reaktor dan biaya purging.

1.5 Tinjauan Proses Secara Umum

Tabel 1. 9 Pertimbangan Proses Pembuatan Etilen Oksida

Proses	Kelebihan	Kekurangan
Klorohidrin	1. % Yield sebesar 65-75% 2. Bahan baku klorin tersedia banyak 3. Tidak bergantung pada kemurnian oksigen yang tinggi	1. Menghasilkan limbah beracun seperti kalsium klorida. 2. Proses kurang efisien dibandingkan metode oksidasi langsung. 3. Memerlukan pengolahan limbah tambahan untuk mencegah pencemaran.
Oksidasi Langsung: Oksigen Teknis	1. % Yield sebesar 80-90% 2. Tidak menghasilkan banyak produk samping. 3. Lebih ramah lingkungan dibandingkan proses klorohidrin.	1. Memerlukan oksigen teknis dengan kemurnian tinggi, yang lebih mahal. 2. Memerlukan katalis khusus untuk meningkatkan efisiensi reaksi. 3. Investasi awal tinggi untuk infrastruktur yang memadai.
Oksidasi Langsung: Udara	1. % Yield sebesar 70-80% 2. Biaya operasional lebih rendah karena menggunakan udara sebagai sumber oksigen 3. Teknologi relatif lebih sederhana.	1. Menghasilkan lebih banyak produk samping dan gas inert. 2. Membutuhkan sistem pemurnian tambahan untuk memisahkan produk utama. 3. Efisiensi konversi lebih rendah dibandingkan oksigen teknis.
Oksidasi Etana	1. % Yield sebesar 60-75% 2. Dapat menggunakan bahan baku yang lebih murah seperti etana. 3. Lebih fleksibel dalam pilihan bahan baku hidrokarbon.	1. Memerlukan tambahan proses konversi etana ke etilen sebelum oksidasi. 2. Efisiensi reaksi lebih rendah dibandingkan oksidasi langsung etilen.

Proses	Kelebihan	Kekurangan
		3. Perlu investasi tambahan untuk pemisahan produk dan pemurnian.
Celanese	1. % Yield sebesar 85-95% 2. Proses modern dengan efisiensi tinggi. 3. Menghasilkan lebih sedikit limbah dibandingkan metode lainnya.	1. Teknologi relatif baru dan masih dalam pengembangan. 2. Memerlukan katalis yang lebih mahal dan sulit diperoleh. 3. Investasi awal tinggi untuk implementasi teknologi Celanese.

1.6 Proses yang Dipilih

Dalam industri kimia, terdapat berbagai metode yang dapat digunakan untuk memproduksi etilen oksida, salah satunya adalah proses oksidasi langsung. Proses oksidasi langsung ini sendiri terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu oksidasi langsung dengan udara dan oksidasi langsung dengan oksigen teknis.

Dalam perancangan pabrik ini, metode yang dipilih adalah oksidasi langsung menggunakan udara. Pemilihan ini didasarkan pada beberapa faktor utama, terutama terkait dengan efisiensi biaya dan kualitas produk akhir yang dihasilkan. Udara memiliki kemurnian yang lebih rendah dibandingkan dengan oksigen teknis, namun dengan *unir air separation* yang akan menekan jumlah gas inert dengan proses *purging* meliputi CO₂, Argon (Ar), dan *moisture* (H₂O). Metode ini juga lebih ekonomis dibandingkan dengan penggunaan *cryogenic storage* untuk oksigen teknis.

Selain itu, sebagian reaktan yang tidak bereaksi dapat didaur ulang (*recycle*) ke dalam reaktor untuk meningkatkan efisiensi konversi. Hal ini tidak hanya mengoptimalkan penggunaan bahan baku, tetapi juga mengurangi limbah yang dihasilkan dari proses produksi. Kemurnian oksigen yang tinggi hasil dari purifikasi juga berkontribusi langsung terhadap kualitas produk yang dihasilkan, di mana etilen oksida yang diperoleh memiliki tingkat kemurnian yang lebih baik.

Keuntungan utama dari penggunaan udara yang dipurifikasi adalah berkurangnya jumlah gas inert dan meminimalkan pembentukan produk samping yang tidak diinginkan. Dengan

demikian, proses pemisahan antara produk utama dan produk samping menjadi lebih sederhana dan lebih hemat energi. Selain itu, *recycle* reaktan yang tidak beraksi mampu meningkatkan efisiensi konversi dan mengoptimalkan penggunaan bahan baku. Oleh karena itu, oksidasi langsung dengan udara melalui proses purifikasi lebih unggul karena ekonomis dan menghasilkan produk berupa etilen oksida dengan kemurnian tinggi dalam skala industri.

1.7 Kegunaan Etilen Oksida

Etilen oksida memiliki beragam kegunaan, baik dalam aplikasi langsung maupun sebagai bahan baku untuk berbagai produk industri. Secara umum, etilen oksida dikenal sebagai bahan pensteril yang efektif dalam mensterilkan barang-barang yang tidak tahan panas, seperti pakaian, alat-alat rumah tangga, hingga peralatan medis. Dalam dunia medis, etilen oksida digunakan untuk mensterilkan peralatan bedah, kateter, perban, dan alat pacu jantung karena mampu membunuh mikroorganisme tanpa merusak bahan atau kemasan.

Selain penggunaannya sebagai bahan pensteril, etilen oksida juga digunakan sebagai bahan baku untuk menghasilkan berbagai senyawa kimia penting, antara lain:

a. Monoetilen Glikol (MEG)

Senyawa ini dihasilkan dari reaksi antara etilen oksida dan air. Monoetilen glikol berfungsi sebagai agen antibeku pada mesin industri dan bahan baku untuk produksi poliester seperti polietilen tereftalat (PET). Selain itu, MEG juga digunakan dalam sistem penukar panas karena sifatnya yang mampu menurunkan titik beku cairan.

b. Dietilen Glikol (DEG)

DEG dihasilkan dari reaksi lanjutan etilen oksida dengan air. Senyawa ini digunakan sebagai pelunak dalam industri kertas dan lem, serta sebagai solven dalam produk kosmetik dan farmasi. DEG juga digunakan sebagai agen de-icing untuk pesawat terbang.

c. Trietilen Glikol (TEG)

TEG berfungsi sebagai humectant atau agen pelembap dan digunakan sebagai bahan pelarut, pengering gas, dan pengawet. Dalam industri minyak dan gas, TEG digunakan sebagai drying agent untuk menghilangkan kelembaban dari gas alam.

d. Tetraetilen Glikol (TetraEG)

Digunakan sebagai solven ekstraksi dalam pemisahan hidrokarbon aromatik pada industri petrokimia.

e. Polietilen Glikol (PEG)

Polietilen glikol banyak digunakan dalam industri kosmetik, farmasi, pelumas, dan bahan pembantu dalam proses pencetakan keramik.

f. Polietilen Oksida (Polyox)

Produk ini dihasilkan melalui proses polimerisasi etilen oksida, yang digunakan sebagai agen koagulasi dalam bidang pertanian, industri kertas, dan pengemasan.

g. Etilen Glikol Eter

Dihasilkan dari reaksi etilen oksida dengan alkohol. Digunakan sebagai solven cat, minyak rem, dan deterjen serta agen pengekstrak gas seperti SO_2 , H_2S , dan CO_2 .

h. Etanolamin

Hasil reaksi etilen oksida dengan amonia yang digunakan dalam proses tekstil, kosmetik, deterjen, dan pemurnian gas alam.

i. Nonionic Surfactant

Senyawa ini dihasilkan dari reaksi etilen oksida dengan alkilfenol atau polipropilen glikol dan digunakan sebagai pengemulsi dalam proses polimerisasi dan bahan surfaktan dalam industri kertas dan deterjen.

j. Turunan Lain

Produk lain dari reaksi etilen oksida termasuk akrilonitril (dari etilen oksida dan etilen klorohidrin) dan urethane (dari propilen oksida) (McKetta & Cunningham, 1976).