

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara yang kaya akan sumber daya alam, yang memungkinkan masyarakat untuk memanfaatkannya dalam upaya meningkatkan perekonomian negara. Industri kimia menjadi salah satu sektor yang memiliki potensi besar dalam mendukung pembangunan ekonomi, karena bahan kimia dianggap sebagai komoditas strategis yang dapat digunakan oleh berbagai sektor industri. Pengembangan industri kimia di Indonesia sangat didorong untuk memenuhi kebutuhan bahan kimia domestik serta mengurangi ketergantungan pada impor. Oleh karena itu, dibutuhkan pembangunan pabrik senyawa intermediet untuk mencukupi pasokan bahan baku dan bahan penunjang dalam negeri. Salah satu bahan yang belum mencukupi kebutuhan industri di Indonesia adalah *ethanolamine*, yang terdiri dari *monoethanolamine* (MEA), *diethanolamine* (DEA), dan *triethanolamine* (TEA).

Monoethanolamine (MEA) adalah senyawa organik yang termasuk dalam kelompok amida dan alkohol, dengan rumus molekul C_2H_7NO . Senyawa ini berbentuk cairan bening dengan bau khas dan bersifat hidrofilik, mudah larut dalam air. MEA banyak digunakan sebagai bahan pengikat dalam pembuatan sabun, deterjen, kosmetik, dan obat-obatan, serta sebagai pelarut dalam pengolahan gas, terutama dalam industri petrokimia (Merck, 2018).

Proses produksi *monoethanolamine* juga menghasilkan produk sampingan, yaitu *diethanolamine* (DEA) dan *triethanolamine* (TEA), yang memiliki berbagai kegunaan industri dan dapat dipasarkan. *Diethanolamine* digunakan dalam pemurnian gas, industri deterjen, tekstil, dan sebagai bahan kimia perantara. Sementara itu, *triethanolamine* banyak dimanfaatkan dalam industri tekstil, kosmetik, karet, dan lainnya (Merck, 2018).

Pendirian pabrik *monoethanolamine* di Indonesia diharapkan dapat memberikan berbagai manfaat, seperti menghemat devisa negara, meningkatkan pendapatan negara, mengembangkan sumber daya manusia dengan teknologi yang ada, serta mendorong pertumbuhan industri lain yang berbasis MEA. Proyek ini didukung oleh ketersediaan

bahan baku yang menguntungkan, seperti amonia yang dapat diperoleh dari PT Panca Amara Utama di Jakarta Selatan, dan etilen oksida yang berasal dari PT Polychem Indonesia di Banten.

1.2 Kapasitas Rancangan

Penentuan kapasitas produksi perlu mempertimbangkan berbagai faktor, seperti aspek teknis, ekonomi, dan kapasitas minimum yang dibutuhkan untuk membangun sebuah pabrik. Dalam aspek teknis, hal yang perlu diperhatikan meliputi peluang pasar serta ketersediaan bahan baku, baik yang berasal dari dalam negeri maupun luar negeri. Kapasitas pabrik yang akan dibangun harus lebih besar atau setidaknya sama dengan kapasitas pabrik yang sudah beroperasi. Berikut adalah beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dalam menentukan kapasitas pabrik *monoethanolamine*:

1.2.1 Kebutuhan MEA di Indonesia

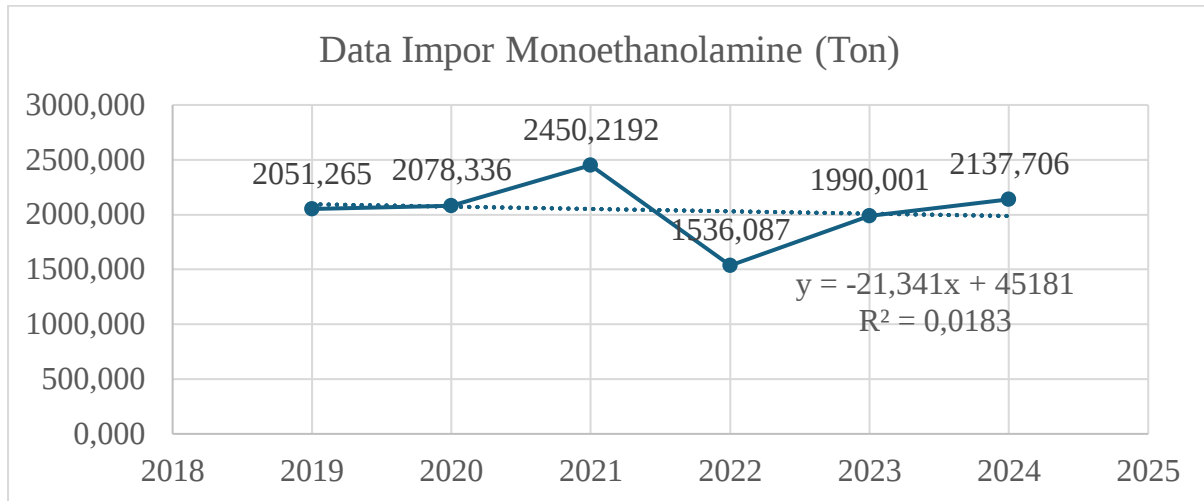
Kebutuhan *monoethanolamine* cenderung semakin meningkat dari tahun ke tahun, seperti terlihat pada tabel impor MEA berikut ini:

Tabel 1.1 Data Impor Monoethanolamine (MEA) di Indonesia
(Badan Pusat Statistik, 2025)

Tahun	Impor (Ton)
2019	2051,265
2020	2078,336
2021	2450,2192
2022	1536,087
2023	1990,001
2024	2137,706

Saat ini, Indonesia mengimpor *monoethanolamine* (MEA) dari Eropa dan Asia. Berdasarkan Tabel 1.1, impor MEA di Indonesia menunjukkan tren peningkatan. Hal ini disebabkan oleh belum adanya pabrik MEA yang beroperasi di Indonesia, sementara permintaan terhadap MEA di sektor industri terus meningkat.

Untuk memprediksi impor MEA pada tahun mendatang, dari data tabel 1.1 diplotkan pada grafik pada gambar 1.1. berikut:



Gambar 1.1 Impor monoethanolamine di Indonesia

Dengan menggunakan metode least square, impor monoethanolamine (MEA) dapat diperkirakan dengan persamaan: $y = -21,341x + 45181$, sehingga pada tahun 2028, dengan x = tahun produksi maka nilai $y = 1901,452$ ton. Jadi, jumlah impor monoethanolamine Indonesia diperkirakan akan mencapai kisaran 1.901,452 ton pada tahun 2028.

1.2.2 Kapasitas Pabrik MEA yang Sudah Beroperasi

Hingga saat ini, pabrik *monoethanolamine* belum dibangun di Indonesia, meskipun permintaan terhadap ethanolamine cukup tinggi. Hal ini disebabkan oleh banyaknya industri di Indonesia yang memerlukan monoethanolamine sebagai bahan baku, seperti dalam pembuatan sabun, deterjen, proses pemurnian gas, serta sebagai penjerap CO₂ di beberapa sektor industri petrokimia, terutama di industri pupuk. Beberapa pabrik yang sudah memproduksi ethanolamine di dunia antara lain:

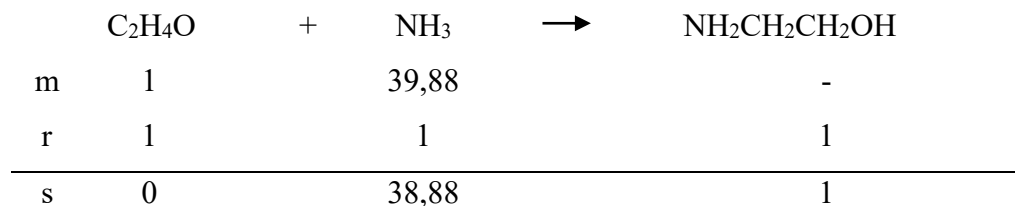
Tabel 1.2 Pabrik Monoethanolamine yang Telah Beroperasi (www.icis.com)

NO	PERUSAHAAN	LOKASI	KAPASITAS (Ton/Tahun)	PROSES PRODUKSI
1.	BASF	Nanjing, China	60.000	Katalitik
2.	BASF	Ludwigshafen, Jerman	100.000	Katalitik

3.	Dow Chemical	Shanghai, China	120.000	<i>Non</i> Katalitik
4.	Dow Chemical	Terneuzen, Belanda	150.000	<i>Non</i> Katalitik
5.	Dow Chemical	Freeport, Texas, Amerika Serikat	200.000	<i>Non</i> Katalitik
6.	Mitsubishi Chemical	Yokkaichi, Jepang	50.000	Katalitik
7.	Sinopec	Beijing, China	100.000	Katalitik
8.	INEOS	Hull, Inggris	50.000	Katalitik
9.	LyondellBasell	Houston, Texas, Amerika Serikat	100.000	Katalitik

1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku utama pembuatan MEA adalah etilen oksida dan *ammonia*. Perhitungan kebutuhan bahan baku dilakukan dengan menghitung menggunakan prinsip stoikiometri mol reaktan dengan perbandingan bahan baku (*ammonia* : etilen oksida) sebesar 39,88 : 1 yang sesuai dengan paten (Johnson, Jr., 1984), yaitu sebagai berikut:



Perhitungan kebutuhan etilen oksida dan amonia menurut stoikiometri diatas ialah:

$$\text{MEA yang dihasilkan dalam ton.mol} = \frac{15.000}{61} = 245,90 \text{ ton.mol}$$

$$\text{Kebutuhan Etilen Oksida dalam 1 mol} = 245,90 \times 44 = 10.819,60 \text{ ton}$$

$$\text{Kebutuhan Amonia dalam 1 mol} = 245,90 \times 17 \times 39,88 = 166.710,364 \text{ ton}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas didapatkan jumlah perkiraan kebutuhan bahan baku dalam pembuatan *monoethanolamine* dengan kapasitas 15.000 ton/tahun ialah sebanyak 10.819,60 untuk etilen oksida dan 166.710,364

ton/tahun untuk *ammonia*. Konversi EO yang dihasilkan dalam pembuatan *monoethanolamine* dengan perbandingan 39,88 : 1 ialah sebesar 98% yaitu sebanyak 14.137,48 ton/tahun. Sesuai dengan (Johnson, Jr., 1984), dalam memaksimalkan penggunaan amonia, sisa amonia yang digunakan dapat di *recycle* kembali untuk mengurangi biaya produksi. Adapun suplai bahan baku ammonia didapatkan dari PT. Panca Amara Utama yang memproduksi ammonia sebanyak 700.000 metrik ton/tahun, sedangkan bahan baku etilen oksida didapatkan dari PT. Polychem Indonesia yang memproduksi etilen oksida sebanyak 50.000 ton/tahun (Pipit Mulyah, dkk., 2020).

1.3 Penentuan Lokasi Pabrik

Kemajuan dan keberlanjutan suatu industri sangat dipengaruhi oleh keputusan mengenai pemilihan lokasi pembangunan pabrik, karena lokasi yang tepat dapat mempengaruhi faktor produksi dan ekonomi yang dihasilkan, serta mempermudah perencanaan ekspansi di masa depan. Beberapa faktor harus dipertimbangkan dalam menentukan lokasi pabrik untuk memperoleh keuntungan jangka panjang dan memudahkan perencanaan perluasan. Lokasi yang strategis akan memberikan kontribusi signifikan baik secara ekonomi maupun teknis. Selain itu, pemilihan lokasi pabrik juga harus mempertimbangkan apakah proses produksi tersebut tergolong *weight loss* atau *weight gain*. Proses *weight loss* menghasilkan produk yang lebih ringan dibandingkan bahan baku, sehingga lebih menguntungkan jika pabrik berada dekat dengan sumber bahan baku. Sementara itu, proses *weight gain* menghasilkan produk yang lebih berat, sehingga akan lebih menguntungkan jika pabrik dekat dengan pasar untuk mengurangi biaya transportasi. Proses produksi *monoethanolamine*, yang menghasilkan produk lebih ringan dibandingkan bahan bakunya setelah melalui beberapa tahap produksi, termasuk dalam kategori *weight loss*. Oleh karena itu, dalam menentukan lokasi pabrik, perlu mempertimbangkan berbagai faktor untuk mendapatkan lokasi yang optimal dengan biaya pembangunan dan transportasi yang minimal. Terdapat tiga lokasi untuk pendirian pabrik *monoethanolamine*, yaitu Palembang, Jakarta Utara, dan Gresik. Penentuan lokasi pabrik dilakukan dengan membandingkan berbagai aspek dalam matriks berikut:

Tabel 1.3 Matriks Penentuan Lokasi Pabrik

Aspek	Palembang	Jakarta Utara	Gresik
Bahan Baku	Ammonia: 223 ribu ton/tahun Etilen Oksida PT Polychem Tbk (Banten) : 22.000 ton/tahun	Ammonia: 700 ribu ton/tahun Etilen Oksida PT Polychem Tbk (Banten) : 50.000 ton/tahun	Ammonia : 1,105 juta ton Pesaing industri ammonia : PT. Pupuk Kujang Etilen Oksida PT Polychem Tbk (Banten) : 50.000 ton/tahun
Skor	1	3	1
Pemasaran	Asia Pulp and Paper (APP) (Riau), PT. Arun NGL (Aceh) dan Pertamina	PT Graha Jaya Pratama Kinerja (Bekasi), PT. Golchem Globalindo (Jakarta Barat), PT. Sarana Mitra Inti Global (Jakarta Barat), dan Pertamina	PT Tjiwi Kimia (Sidoarjo), Wings Group (Surabaya) dan PT. Kao Indonesia (Bekasi)
Skor	2	3	2
Utilitas	Air Sungai Musi	Desalinasi	Desalinasi
Skor	3	3	3
Transportasi	Sarana transportasi yang dimiliki antara lain Pelabuhan Sei- Lais	Sarana transportasi yang dimiliki adalah Pelabuhan Marunda (KBN) untuk transportasi air, transportasi darat untuk distribusi ke lokasi pabrik maupun pemasaran	Terdapat beberapa pilihan pelabuhan dan pilihan transportasi darat untuk distribusi ke lokasi pabrik maupun pemasaran

		berupa akses jalan Tol, dan terdapat akses udara berupa Bandara Halim Perdana Kusuma	
Skor	1	3	2
Pembuangan Limbah	Limbah dapat dibuang di sungai maupun laut setelah melewati proses <i>water treatment</i>	Limbah dapat dibuang di sungai maupun laut setelah melewati proses <i>water treatment</i>	Limbah dapat dibuang di sungai maupun laut setelah melewati proses <i>water treatment</i>
Skor	2	2	2
Peraturan Daerah	Perda Provinsi Sumatera Selatan No. 18 Tahun 2017, Perda Kota Palembang No. 5 Tahun 2022, dan Perda Kota Palembang No. 15 Tahun 2012	Perda Daerah Khusus Ibu kota Jakarta No. 4 Tahun 2018, PP No. 14 Tahun 2015, Perda DKI Jakarta No. 3 Tahun 2018.	Perda Kabupaten Gresik No. 8 Tahun 2011
Skor	3	3	3
Harga Tanah	Rp. 1.000.000 – Rp. 2.200.000/ m ²	Rp. 6.000.000 – Rp. 8.200.000/m ²	Rp. 2.000.000 – Rp. 6.000.000/ m ²
Skor	3	1	2
Tenaga Kerja	Jumlah penduduk kota Palembang pada tahun 2024 sebanyak 1.801.367 jiwa. Terdapat perguruan tinggi yaitu UIN Raden Fatah dan UNSRI	Jumlah penduduk kota Jakarta Utara pada tahun 2024 sebanyak 1.839.801 jiwa. Terdapat perguruan tinggi yaitu UBM, UTA'45, Universitas Katolik	Jumlah penduduk kabupaten Gresik pada tahun 2024 sebanyak 1.309.168 jiwa. Terdapat perguruan tinggi yaitu UISI, ITS, dan UNAIR

Indonesia Atma Jaya, Politeknik Astra, AMAN JAYA, dan STIP Jakarta			
Skor	1	3	2
Sistem Pengupahan dan UMK	Rp. 3.570.000	Rp. 5.067.5381	Rp. 4.522.030
Skor	3	1	2
Geografis	Luas wilayah Kota Palembang adalah sebesar 400,61 km ² . Letak Kota Palembang ini cukup strategis karena dilalui oleh jalur jalan pintas Pulau Sumatera yang menghubungkan antar daerah di Pulau Sumatera yang letaknya sangat rawan terjadi bencana alam gempa dan tsunami	Jakarta Utara memiliki luas 146,66 km ² . Kota Jakarta Utara adalah kota besar dan strategis yang perkembangannya terus bertambah karena dekat dengan pusat kota DKI Jakarta. Jakarta Utara juga merupakan kota pusat industri dan manufaktur dengan akses transportasi yang cukup mudah. Namun, karena wilayah Jakarta Utara rentan terjadinya penurunan tanah dan kenaikan air laut	Kabupaten Gresik memiliki luas 1.191,25 km ² . Kabupaten Gresik merupakan kawasan yang berpotensi berkembang pesat dalam konstelansi Surabaya Metropolitan Area. Gresik berada di Pulau Jawa yang letaknya sangat rawan terjadi bencana alam dan tsunami

	menyebabkan daerah ini rawan rob/banjir		
Skor	2	3	2
Total Skor	21	25	21

*Keterangan : *range* nilai 1-3

Pada **Tabel 1.3** menjelaskan perbandingan beberapa lokasi yang memiliki potensi untuk mendirikan pabrik *monoethanolamine*. Dari ketiga lokasi tersebut, Jakarta Utara memperoleh hasil skor paling tinggi dibandingkan dengan Palembang dan Gresik sehingga dipilih sebagai lokasi pendirian pabrik *monoethanolamine*. Penentuan Jakarta Utara sebagai lokasi yang digunakan sebagai pendirian pabrik didukung oleh faktor-faktor berikut:

1.3.1 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku utama dalam proses produksi *monoethanolamine* adalah amonia dan etilen oksida. *Monoethanolamine* dihasilkan melalui reaksi antara amonia dan etilen oksida, dengan karakteristik produk *weight loss*. Oleh karena itu, pabrik dibangun di lokasi yang dekat dengan pemasok bahan baku untuk efisiensi. Rencana pendirian pabrik berada di Jakarta Utara tepatnya di daerah Cilincing, karena pasokan amonia tersedia dari PT Panca Amara Utama, yang memproduksi sekitar 700.000 ton/tahun. Sementara itu, etilen oksida akan dipasok dari PT Polychem Tbk. Selain itu, katalis yang digunakan dalam proses produksi adalah silica-alumina, yang diperoleh dari *Pingxiang Gophin Chemical Co., Ltd.* di China.

1.3.2 Daerah Pemasaran

Produk *monoethanolamine* banyak digunakan di berbagai industri. Perusahaan yang memiliki potensi sebagai sasaran pemasaran *monoethanolamine* di Jakarta Utara biasanya bergerak pada sektor kosmetik dan bahan kimia seperti PT. Diamond Interest Internasional, PT. Citra Pelita Buana, PT. Interchem Jaya Persada, PT. Sensient Technologies Indonesia, PT. Titian Abadi Lestari, dan PT. Citra Nusa Insan Cemerlang.

1.3.3 Sarana Transportasi

Transportasi yang memadai memiliki peran krusial dalam kelancaran distribusi bahan baku serta produk ke konsumen. Infrastruktur yang tersedia di Jakarta Utara seperti jalan raya, pelabuhan, dan bandara telah berkembang

dengan baik seiring dengan kebijakan Pemerintah Kota Jakarta yang menetapkan wilayah ini sebagai salah satu kawasan industri di Jakarta. Agar distribusi bahan baku, bahan penunjang, dan produk jadi lebih efisien, pabrik sebaiknya dibangun di dekat Pelabuhan dan Bandara. Dalam hal ini, Pelabuhan Marunda dan Bandara Halim Perdana Kusuma dipilih sebagai pusat distribusi untuk pabrik *monoethanolamine*. Pelabuhan tersebut dimiliki oleh PT. Karya Citra Nusantara dan akan dioperasikan melalui kerja sama. Sedangkan untuk Bandara Halim Perdana Kusuma milik PT. Angkasa Pura Indonesia akan dioperasikan melalui kerja sama juga. Dengan infrastruktur yang memadai serta lokasi yang mendukung kegiatan industri, Jakarta Utara menjadi pilihan strategis untuk pembangunan dari pabrik *monoethanolamine*.

1.3.4 Utilitas

Dalam menjalankan proses produksinya, pabrik membutuhkan berbagai fasilitas pendukung, seperti pembangkit listrik, pasokan air untuk proses produksi serta keperluan sanitasi, steam, dan kebutuhan lainnya. Sebagai bagian dari kawasan industri Jakarta Utara, Cilincing telah dilengkapi dengan infrastruktur utilitas yang memadai. Pasokan air untuk pabrik harus berasal dari sumber yang memadai, seperti laut atau sungai. Air ini nantinya akan digunakan untuk proses produksi, pendinginan, serta pembersihan. Dengan letaknya yang dekat dengan Sungai Titram yang mana mengarah langsung ke laut Jawa, pabrik *monoethanolamine* di Cilincing, Jakarta Utara akan memanfaatkan air laut sebagai sumber utama. Sebelum digunakan, air laut akan melalui proses *water treatment* agar memenuhi standar kualitas yang diperlukan. Untuk kebutuhan energi, bahan bakar gas alam akan diperoleh dari PT. Pertamina di wilayah Jakarta. Sementara itu, pasokan listrik dapat diperoleh dari PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara) serta didukung oleh generator sebagai sumber daya cadangan.

1.3.5 Ketersediaan Tenaga Kerja

Tenaga kerja merupakan elemen utama dalam suatu industri, karena perannya yang sangat penting dalam proses produksi. Oleh karena itu, pendirian pabrik harus mempertimbangkan ketersediaan tenaga kerja, baik tenaga lokal maupun tenaga ahli yang berpengalaman di bidangnya. Sumber tenaga kerja dapat berasal dari berbagai jenjang pendidikan sesuai dengan kebutuhan

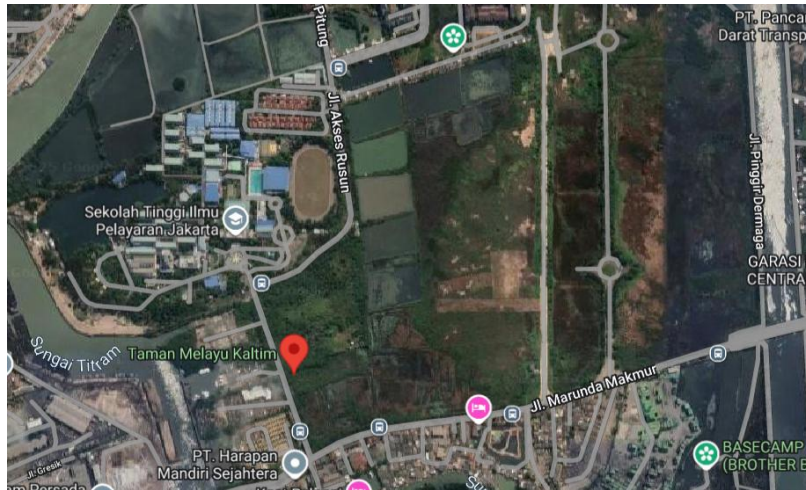
industri. Kota Jakarta Utara memiliki populasi sebanyak 1.839.801 jiwa (Badan Pusat Statistik Kota Jakarta Utara, 2022), dan lokasi pabrik yang relatif dekat dengan permukiman penduduk dan lulusan dari perguruan tinggi di Jakarta Utara yang mampu memenuhi kualifikasi memungkinkan pemenuhan kebutuhan tenaga kerja lokal. Namun, untuk posisi yang memerlukan keahlian khusus dapat didatangkan dari luar kota Jakarta Utara, seperti dari Kalimantan, Sumatra, Sulawesi, atau daerah lainnya, guna memastikan kelancaran operasional produksi dapat berjalan dengan baik dan maksimal.

1.3.6 Pembuangan Limbah

Pabrik akan dibangun di dekat Sungai Titram yang mengalir langsung menuju Laut Jawa, sehingga pembuangan limbah dapat dialirkan ke Sungai Titram. Namun, sebelum dibuang, limbah akan melalui beberapa proses pengolahan khusus agar memenuhi standar pembuangan air limbah yang telah ditetapkan oleh peraturan, sehingga tidak menimbulkan pencemaran pada lingkungan.

1.3.7 Kebijakan Pemerintah

Pemerintah Kota Jakarta telah menetapkan peraturan terkait kawasan industri yang ingin didirikan termasuk pada wilayah Cilincing, Jakarta Utara. Dalam hal ini, peluang investasi dalam produksi monoethanolamine masih sangat terbuka lebar bagi para investor. Hal ini dikarenakan kebutuhan dalam negeri terhadap monoethanolamine masih belum terpenuhi, sementara permintaannya cukup tinggi. Selain itu, pemerintah juga berperan sebagai fasilitator dengan memberikan berbagai kemudahan, seperti perizinan, insentif pajak, serta aspek teknis lainnya yang mendukung pendirian pabrik.

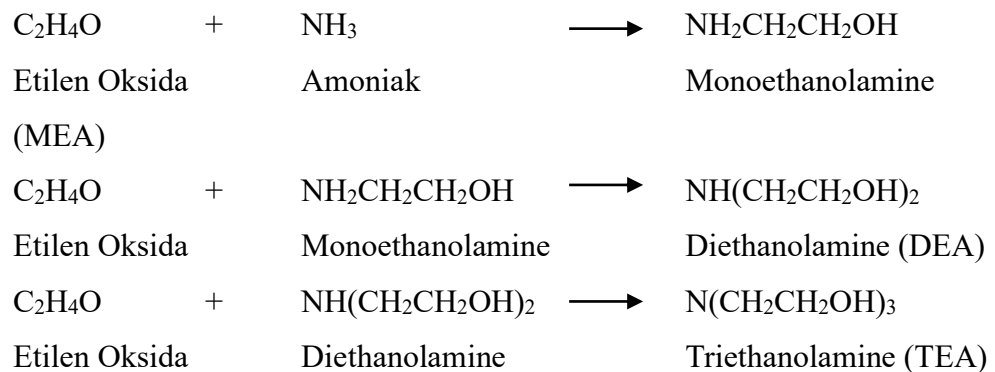


Gambar 1.2 Lokasi Pendirian Pabrik Monoethanolamine

1.4 Tinjauan Proses

1.4.1 Macam-macam Proses Pembuatan MEA

Proses pembuatan monoethanolamine (MEA) dilakukan dengan cara mereaksikan etilen oksida dengan amonia yang menghasilkan senyawa monoethanolamine, diethanolamine, dan triethanolamine. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut (Zahedi, dkk., 2009):



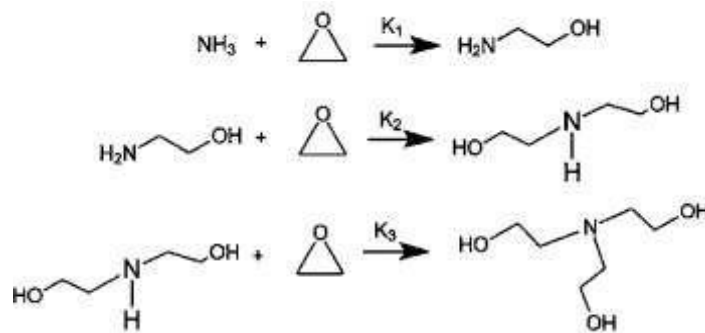
Secara umum, proses pembuatan *monoethanolamine* ada tiga jenis, yaitu:

1. Proses Katalitik

Reaksi pembentukan MEA melibatkan penggunaan katalis berbentuk partikel yang cocok untuk proses fixed bed. Katalis yang dapat digunakan dalam reaksi ini antara lain silica-alumina, zeolit, tanah liat asam, atau logam oksida asam lainnya. Kehadiran katalis mempercepat dan meningkatkan efisiensi proses pembentukan MEA, menghasilkan MEA dengan selektivitas tinggi serta mengurangi pembentukan produk samping, dengan suhu proses berkisar antara 75-132°C. Proses katalitik dinilai menguntungkan secara ekonomi karena produktivitas reaktor yang tinggi berkat peran katalis, dan reaksi katalitik

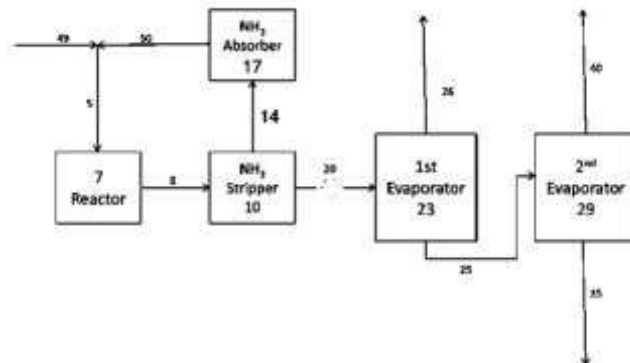
sendiri tergolong sederhana serta bersih. Proses ini harus dilakukan pada fase cair dan tekanan tinggi, setidaknya setara dengan tekanan uap amonia pada suhu tertinggi yang tercapai selama proses, untuk memastikan reaktan tetap berada dalam fase cair selama reaksi berlangsung (Bengt J. G. Weibull & Alfredshem, 1972).

Berikut adalah reaksi proses katalitik pembuatan ethanolamine:



Gambar 1.3 Reaksi Proses Katalitik Pembuatan Ethanolamine

Menurut (Bengt J. G. Weibull & Alfredshem, 1972), Blok diagram pembuatan MEA dapat dilihat pada gambar 1.4. sebagai berikut:



Gambar 1.4 Blok diagram produksi MEA proses katalitik

Perbandingan proses katalitik, aqueous (*non* katalitik) dapat diketahui melalui tabel berikut:

Tabel 1.4 Perbandingan Proses Pembuatan Ethanolamine

Faktor Pembanding	Proses Fermentasi	Proses Aqueous (<i>Non</i> Katalitik)	Proses Katalitik
Tekanan operasi	Tekanan ruang	49,3 – 118,4 atm	34 – 136,1 atm
Suhu operasi	20 – 55 °C	110 – 150 °C	75 – 132 °C

Bahan Baku	Karbon dan <i>recombinant bacterium</i>	<i>Liquid ammonia</i>	Liquid Ammonia (H ₂ O<1%) dan ammonia <i>anhydrous</i>
Sifat Bahan Baku	Tergantung pada bakteri yang digunakan	Larutan amonia lebih aman	<i>Liquid amonia</i> lebih aman dan ammonia <i>anhydrous</i> lebih berbahaya
Produk Samping	CO ₂	TEA dan DEA	TEA dan DEA
Kandungan Air	Produk tidak mengandung air	Diperlukan energi untuk menguapkan kandungan air pada produk sehingga konsumsi energi lebih tinggi	Produk tidak mengandung air sehingga tidak diperlukan tambahan energi untuk menguapkan kandungan air
Konversi	79 g/L	95% (Etilen Oksida)	98% (Etilen Oksida)
Kemurnian	98%	99,6%	99,7%
Molar Ratio	-	1:1 hingga 100:1	10:1 hingga 40:1
Selektivitas	0-100% Ethanolamine	MEA : 76,12%	MEA : 87,04%
(1:40)		TEA : 19,96%	TEA : 10,12%
		DEA : 3,89%	DEA : 2,10%

[1] US Patent 0325245 A1 dan EP 904524 A1

[2] US Patent 5,545,757

[3] US Patent 4,438,281

Pada paten EP 3904524 A1, dijelaskan bahwa proses fermentasi atau biosintesis alami *monoethanolamine* dalam skala besar masih belum dapat diterapkan di industri. Keunggulan dari proses *non* katalitik adalah penggunaan air untuk mempercepat reaksi, namun kelemahannya adalah produk yang dihasilkan harus melalui proses penghilangan air menggunakan stripper, yang menambah biaya. Di sisi lain, keunggulan proses katalitik adalah produk yang dihasilkan langsung memiliki konsentrasi tinggi tanpa perlu pemisahan air, sedangkan kelemahannya adalah penggunaan bahan baku ammonia *anhydrous* atau *liquid ammonia* (H₂O < 1%) yang lebih berbahaya dibandingkan dengan

larutan ammonia ($\text{H}_2\text{O} < 1\%$). Menurut *US Patent 3,697,598*, jika produk mengandung sedikit air, hal ini tidak mempengaruhi hasil produk.

Berdasarkan perbandingan kedua proses, proses katalitik dipilih karena memiliki beberapa keunggulan tambahan, yaitu:

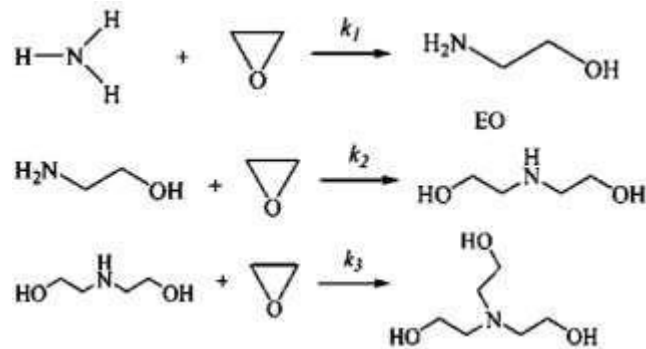
- 1) Reaksi yang stabil pada suhu tinggi
- 2) Selektivitas yang tinggi terhadap MEA
- 3) Konsumsi energi yang rendah
- 4) Proses yang sangat ekonomis karena hampir seluruh etilen oksida bereaksi, kandungan air tidak perlu dihilangkan, umur katalis panjang, dan ammonia dapat didaur ulang
- 5) Konversi produk yang tinggi

Pada reaksi katalitik, katalis yang digunakan harus berupa asam anorganik heterogen, seperti silica-alumina, zeolit, molecular sieve, acid clays atau oksida asam lainnya. Berdasarkan pertimbangan tersebut, dipilih katalis *silica-alumina* ($\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$) karena katalis ini memiliki selektivitas tinggi terhadap MEA, relatif ekonomis, stabil pada suhu tinggi, dan memiliki aktivitas katalitik yang tinggi (Johnson, Jr., 1984).

2. Proses Aqueous (*Non-Katalitik*)

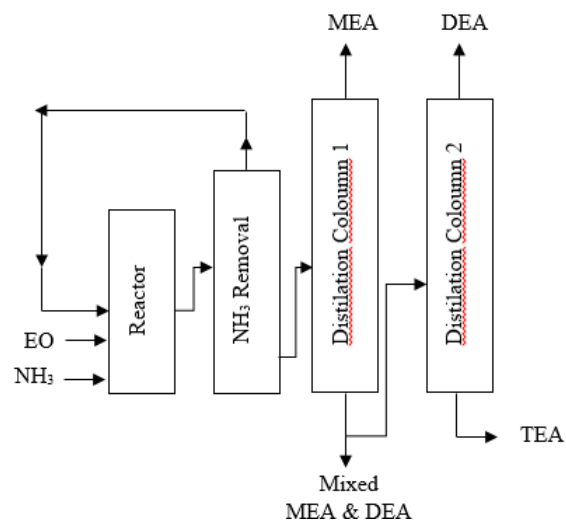
Proses pembentukan MEA ini tidak melibatkan katalis, melainkan hanya mereaksikan ammonia, etilen oksida, dan air dalam reaktor. Produk dari reaksi tersebut kemudian dipisahkan ammonia menggunakan ammonia stripper, sementara air akan dihilangkan dengan evaporator. Dalam proses ini, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, seperti jumlah air yang digunakan. Jika air yang digunakan terlalu sedikit, tekanan operasinya akan tinggi, yang dapat meningkatkan biaya investasi. Sebaliknya, jika air yang digunakan terlalu banyak, tekanan operasinya akan rendah, yang dapat menyebabkan konsumsi energi yang lebih tinggi. Pada *aqueous phase*, ammonia digunakan dalam bentuk cair dengan tekanan rendah, yang mengurangi reaktivitas etilen karena sifat etilen oksida yang mudah meledak. Jika suhu dan tekanan proses terlalu tinggi, etilen oksida dapat bereaksi dengan air membentuk etilen glikol. Oleh karena

itu, suhu reaksi yang lebih rendah dan waktu tinggal yang lama diperlukan dalam proses ini. Berikut adalah reaksi proses pembuatan ethanolamine dalam *aqueous phase*, di mana air bertindak sebagai katalis:



Gambar 1.5 Reaksi Proses Aqueous Pembuatan Ethanolamine

Menurut (Bengt J. G. Weibull & Alfredshem, 1972), Blok diagram pembuatan MEA dapat dilihat pada gambar 1.6. berikut:



Gambar 1.6 Blok diagram produksi MEA proses non-katalitik

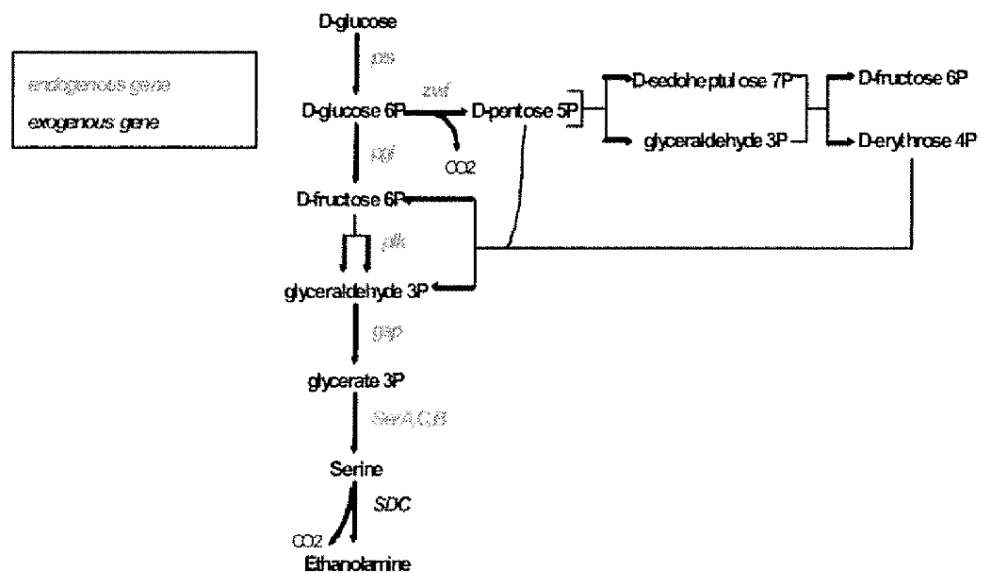
3. Proses Fermentasi

Ethanolamine dihasilkan melalui proses sintesis menggunakan sumber karbon yang dapat difermentasi oleh bakteri *recombinant* yang tumbuh secara *aerobic*. Proses ini memerlukan pembentukan *serine* sebagai produk antara, yang kemudian diubah menjadi ethanolamine oleh tanaman yang mengandung *serine decarboxylase encoded (SDC)* di *Arabidopsis Thaliana*. Proses fermentasi pembuatan ethanolamine melibatkan tiga tahap utama, yaitu:

- Fermentasi oleh bakteri yang dapat menghasilkan ethanolamine
- Konsentrasi ethanolamine dalam bakteri atau lingkungan sekitarnya

c. Isolasi ethanolamine dari kaldu fermentasi dan sisa biomassa, yang dapat dilakukan dalam jumlah tertentu atau sebagai total produk akhir.

Bakteri yang dapat digunakan dalam proses ini antara lain *E. coli*, *C. glutamicum*, dan *S. cerevisiae*. Proses fermentasi dilakukan pada suhu antara 20°C hingga 55°C, umumnya antara 25°C dan 40°C, dengan suhu optimal sekitar 30°C untuk *C. glutamicum* dan sekitar 37°C untuk *E. coli*. Menurut (Figge & Soucaille, 2009), skema proses fermentasi pembuatan Ethanolamine ialah sebagai berikut:



Gambar 1.7 Proses Fermentasi Pembuatan Ethanolamine

1.4.2 Tinjauan Proses Secara Umum

Bahan baku yang terdiri dari *liquid ammonia* dan etilen oksida dari tangki penyimpanan, bersama dengan ammonia yang didaur ulang, dipompa ke dalam *Reaktor Fixed Bed Multitube* yang mengandung katalis silika alumina ($\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$). Reaktor ini beroperasi pada tekanan 100 atm dan suhu 100°C, sehingga terjadi reaksi antara etilen oksida dan ammonia yang menghasilkan *monoethanolamine* (MEA) sebagai produk utama, serta *diethanolamine* (DEA) dan *triethanolamine* (TEA) sebagai produk sampingan. Berdasarkan paten (Johnson, Jr., 1984), pada tekanan 1450 psig dan suhu jaket reaktor 100°C dengan rasio NH_3 dan $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ sebesar 39,88:1, diperoleh selektivitas yaitu 87,04% mol MEA, 10,12% mol DEA, dan 2,10% mol TEA dengan konversi $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ mencapai 98%. Produk dari reaktor kemudian dialirkan ke separator, berupa kolom dan menara distilasi 1, untuk memisahkan ammonia, etilen oksida,

dan air dari produk yang dihasilkan. Hasil atas separator yang sebagian besar berupa amonia, etilen oksida, dan air dialirkan kembali ke reaktor, sementara hasil bawah yang didominasi oleh MEA, DEA, dan TEA diteruskan ke menara distilasi 2. Di menara distilasi 2, terjadi pemisahan antara MEA dengan DEA dan TEA, di mana hasil atas sebagian besar MEA karena titik didihnya lebih rendah daripada DEA dan TEA. Hasil bawah yang lebih banyak berupa DEA dan TEA kemudian dialirkan ke menara distilasi 3, dimana terjadi pemisahan antara DEA dan TEA. Hasil atas menara distilasi 3 sebagian besar berupa DEA, yang memiliki titik didih lebih rendah dibandingkan TEA, sementara hasil bawah menara distilasi 3 didominasi oleh TEA (Trapalis CC et al., 2003).