BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri kimia berperan penting dalam menyediakan bahan baku dan produk antara yang dibutuhkan berbagai sektor manufaktur, seperti petrokimia, pengolahan gas alam, deterjen, kosmetik, dan farmasi. Salah satu produk intermediet yang banyak digunakan adalah monoethanolamine (MEA) dengan rumus molekul C_2H_7NO. Senyawa ini dimanfaatkan sebagai penyerap gas asam pada proses pengolahan gas serta sebagai bahan baku maupun bahan tambahan dalam industri deterjen, kosmetik, dan farmasi (Merck, 2018).

Kebutuhan monoethanolamine di Indonesia hingga saat ini masih dipenuhi melalui impor karena belum terdapat fasilitas produksi komersial di dalam negeri. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) periode 2020–2025, volume impor MEA mencapai rata-rata 2.086,83 ton per tahun dengan laju pertumbuhan sebesar 3,46% per tahun. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa permintaan MEA domestik terus meningkat, sementara pasokan dari industri nasional masih belum tersedia. Selain menghasilkan MEA sebagai produk utama, proses produksinya juga menghasilkan diethanolamine (DEA) dan triethanolamine (TEA) yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan dimanfaatkan secara luas di berbagai sektor industri.

Berdasarkan tingginya kebutuhan impor, peningkatan permintaan pasar, serta ketersediaan bahan baku berupa amonia dan etilen oksida dari industri petrokimia dalam negeri, pendirian pabrik monoethanolamine di Indonesia memiliki prospek yang baik. Keberadaan pabrik ini diharapkan dapat mengurangi ketergantungan impor, menjamin ketersediaan pasokan bagi industri pengguna, serta meningkatkan nilai tambah industri kimia nasional. Oleh karena itu, diperlukan perancangan pabrik monoethanolamine yang sesuai dengan kebutuhan dan kondisi industri di Indonesia.

1.2 Kapasitas Rancangan

Penetapan kapasitas produksi suatu pabrik harus dilakukan secara menyeluruh dengan memperhatikan berbagai pertimbangan, khususnya aspek teknis dan ekonomi, serta batas kapasitas minimum yang masih memungkinkan untuk direalisasikan. Dari sudut pandang teknis, hal-hal yang perlu dianalisis mencakup peluang pasar dan ketersediaan bahan baku, baik yang bersumber dari dalam negeri maupun luar negeri. Kapasitas pabrik yang direncanakan sebaiknya berada pada tingkat yang setara atau

lebih tinggi dibandingkan dengan pabrik sejenis yang telah beroperasi, agar proses produksi dapat berlangsung secara efisien dan pabrik memiliki kemampuan bersaing. Oleh karena itu, diperlukan kajian terhadap sejumlah faktor utama dalam menentukan kapasitas pabrik monoethanolamine.

1.2.1 Kebutuhan MEA di Indonesia

Kebutuhan monoethanolamine di Indonesia menunjukkan kecenderungan meningkat dari tahun ke tahun, sebagaimana ditunjukkan oleh data impor MEA yang disajikan pada Tabel 1.1.

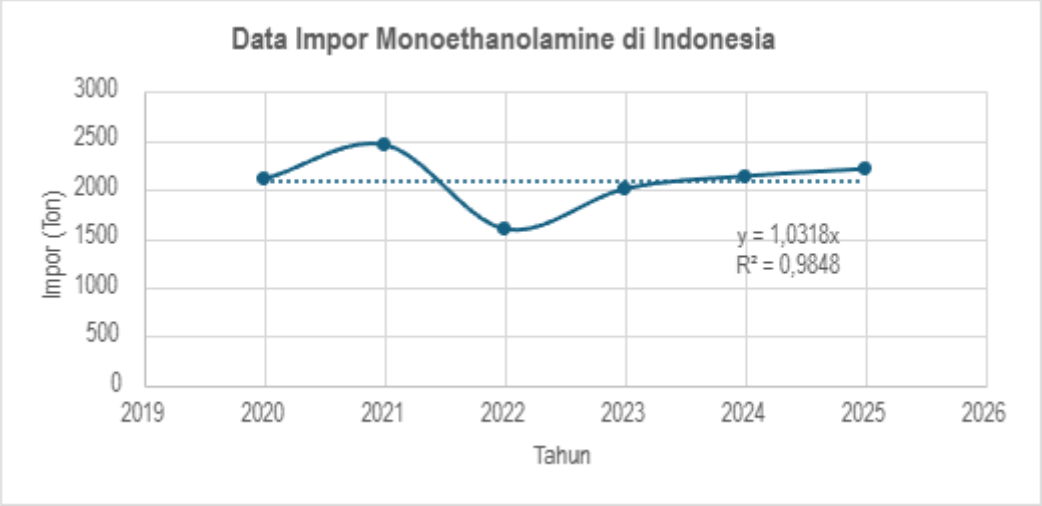
Tabel 1.1 Data Impor Monoethanolamine (MEA) di Indonesia

(Badan Pusat Statistik, 2025)

Tahun	Impor (Ton)
2020	2107,376
2021	2456,806
2022	1595,919
2023	2011,404
2024	2137,706
2025	2211,745

Data tersebut menunjukkan bahwa hingga saat ini pemenuhan kebutuhan monoethanolamine (MEA) di Indonesia masih didominasi oleh produk impor, terutama yang berasal dari kawasan Eropa dan Asia. Berdasarkan informasi pada Tabel 1.1, volume impor MEA secara umum memperlihatkan kecenderungan meningkat dari tahun ke tahun. Kondisi ini terjadi karena belum terdapat pabrik monoethanolamine yang beroperasi pada skala industri di dalam negeri, sementara permintaan MEA di berbagai sektor industri terus mengalami pertumbuhan.

Oleh karena itu, data impor MEA yang disajikan pada Tabel 1.1 digunakan sebagai dasar dalam melakukan proyeksi kebutuhan monoethanolamine pada masa yang akan datang. Data tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Data Impor monoethanolamine di Indonesia

Berdasarkan analisis menggunakan metode least square, diperoleh persamaan regresi yang digunakan untuk memperkirakan besarnya impor monoethanolamine. Hasil proyeksi untuk tahun 2030 dengan menggunakan persamaan y=1,0318x, di mana x merupakan tahun proyeksi, menunjukkan bahwa nilai y untuk x=2030 sebesar 2.094,554 ton. Dengan demikian, impor monoethanolamine di Indonesia diperkirakan mencapai sekitar 2.094,554 ton pada tahun 2030.

1.2.2 Kapasitas Pabrik MEA yang Sudah Beroperasi

Hingga saat ini Indonesia belum memiliki pabrik monoethanolamine yang beroperasi secara komersial, meskipun kebutuhan MEA terus meningkat untuk industri sabun dan deterjen, pemurnian gas, serta sebagai penyerap karbon dioksida (CO_2) pada industri petrokimia. Sementara itu, monoethanolamine telah diproduksi secara komersial oleh berbagai perusahaan kimia besar di dunia. Informasi mengenai beberapa pabrik monoethanolamine beserta kapasitas produksinya disajikan pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Pabrik Monoethanolamine yang Telah Beroperasi
(Independent Commodity Intelligence Services (ICIS), 2023

No	Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)	Proses Produksi
1	BASF	Nanjing, China	60.000	Katalitik
2	BASF	Ludwigshafen, Jerman	100.000	Katalitik

No	Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)	Proses Produksi
3	Dow Chemical	Shanghai, China	120.000	Non Katalitik
4	Dow Chemical	Terneuzen, Belanda	150.000	Non Katalitik
5	Dow Chemical	Freeport, Texas, Amerika Serikat	200.000	Non 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

Kapasitas produksi monoethanolamine di dunia berkisar antara puluhan ribu hingga ratusan ribu ton per tahun dengan teknologi proses katalitik maupun non-katalitik. Data ini digunakan sebagai salah satu dasar penentuan kapasitas pabrik yang dirancang.

1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku utama pabrik monoethanolamine (MEA) adalah amonia (NH_3) dan etilen oksida (EO). Penetapan kapasitas produksi didasarkan pada ketersediaan bahan baku serta kemudahan pasokannya untuk menjamin kontinuitas operasi pabrik.

1.2.3.1 Amonia (NH_3)

Amonia merupakan bahan baku utama dalam produksi monoethanolamine dan digunakan dalam jumlah berlebih (excess ammonia) untuk meningkatkan selektivitas pembentukan MEA serta menekan pembentukan produk samping berupa DEA dan TEA (Johnson Jr., 1984). Untuk kapasitas produksi monoethanolamine sebesar 14.000 ton per tahun, kebutuhan amonia dihitung berdasarkan rasio mol amonia

terhadap etilen oksida sebesar 39,88 : 1. Perhitungan kebutuhan bahan baku dilakukan menggunakan data berat molekul berikut.

- Monoethanolamine (MEA) = 61 kg/kmol
- Amonia (NH_3) = 17 kg/kmol

Jumlah MEA yang diproduksi per tahun:

$$n_{MEA} = \frac{14.000.000}{61} = 229.508{,}20\ kmol/tahun$$

Kebutuhan amonia secara teoritis:

$$m_{NH_3\ teori} = 229.508{,}20\ x\ 17 = 3.901.639\ kg/tahun$$

Dengan penggunaan amonia berlebih:

$$m\ NH_3\ = 3.901.639\ x\ 39{,}88 = 155.567.564\ kg/tahun$$

Kebutuhan amonia untuk produksi monoethanolamine diperkirakan sebesar 155.567,56 ton/tahun. Jumlah tersebut masih jauh di bawah kapasitas produksi amonia nasional, sehingga ketersediaannya dinilai mencukupi untuk mendukung operasional pabrik. Amonia yang tidak bereaksi selanjutnya dipisahkan dan direcycle kembali ke dalam proses.

1.2.3.2 Etilen Oksida

Etilen oksida merupakan bahan baku utama lainnya dalam pembuatan monoethanolamine. Senyawa ini diproduksi oleh industri petrokimia berbasis etilena dan tersedia di kawasan industri Cilegon, Banten, sehingga memperkuat dasar pemilihan lokasi pendirian pabrik. Berat molekul etilen oksida adalah sebesar 44 kg/kmol.

Kebutuhan etilen oksida dihitung berdasarkan reaksi stoikiometri pembentukan MEA:

$$EO + NH_3 \rightarrow MEA$$

Dengan perbandingan mol 1:1 antara EO dan MEA, maka kebuthan etilen oksida Adalah:

$$mEO = 229.508{,}20\ x\ 44 = 10.098.361\ \frac{kg}{tahun}$$

Atau setara dengan 10.096,36 ton/tahun

Kebutuhan etilen oksida masih dapat dipenuhi oleh kapasitas produksi dan jaringan distribusi industri petrokimia nasional, sehingga pasokannya dapat terjamin secara berkesinambungan. Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan bahan baku dan evaluasi ketersediaannya, kapasitas produksi monoethanolamine sebesar 14.000 ton/tahun dinilai layak untuk direalisasikan karena didukung oleh ketersediaan amonia dan etilen oksida yang mencukupi.

1.3 Penentuan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi efisiensi operasional, biaya produksi, dan pengembangan pabrik di masa mendatang. Oleh karena itu, penentuan lokasi perlu mempertimbangkan berbagai aspek teknis dan ekonomi agar diperoleh lokasi yang paling menguntungkan.

Selain aspek tersebut, pemilihan lokasi juga mempertimbangkan karakteristik proses produksi. Produksi monoethanolamine tergolong proses weight loss karena massa produk lebih kecil dibandingkan total massa bahan baku yang digunakan. Oleh sebab itu, pabrik lebih menguntungkan apabila didirikan di dekat sumber bahan baku untuk menekan biaya transportasi. Berdasarkan pertimbangan tersebut, lokasi yang dikaji meliputi Cilegon, Gresik, dan Bontang yang selanjutnya dibandingkan menggunakan matriks penilaian pada Tabel 1.3.

Tabel 1.3 Matriks Penentuan Lokasi Pabrik

Aspek	Cilegon	Gresik	Bontang
Bahan Baku	Amonia: ±600 ribu ton/tahun (kawasan industri Banten & distribusi Pupuk Kujang). Etilen Oksida: PT Polychem Indonesia Tbk (Banten) ±50.000 ton/tahun.	Amonia: ±1,1 juta ton/tahun dari PT Petrokimia Gresik dan industri pupuk Jawa Timur. Etilen Oksida: PT Polychem Indonesia Tbk (Banten) ±50.000 ton/tahun (jalur laut).	Amonia: ±2,7 juta ton/tahun dari PT Pupuk Kalimantan Timur. Etilen Oksida: dipasok dari Pulau Jawa (Banten).
Skor	2	3	2
Pemasaran	PT Golchem Globalindo (Jakarta	PT Petrokimia Gresik, PT Tjiwi Kimia	Terbatas pada industri Kalimantan Timur

	Barat), PT Sarana Mitra Inti Global (Jakarta Barat), Pertamina.	(Sidoarjo), Wings Group (Surabaya), serta industri kimia dan manufaktur di kawasan industri Jawa Barat.	dan pengiriman ke Jawa.
Skor	2	3	1
Utilitas	Air industri, listrik PLN, gas bumi tersedia di kawasan industri.	Air industri, listrik PLN, gas bumi, dan utilitas kawasan industri terintegrasi.	Air industri dan listrik tersedia, namun terbatas pada kawasan tertentu.
Skor	3	3	2
Transportasi	Pelabuhan Merak dan Ciwandan, akses jalan nasional dan tol.	Pelabuhan Gresik dan Tanjung Perak, akses Tol Trans-Jawa, jalur laut dan darat lengkap.	Pelabuhan Bontang tersedia, namun jarak distribusi ke pasar utama jauh.
Skor	2	3	1
Pembuangan Limbah	Limbah dibuang ke laut/sungai setelah melalui IPAL.	Limbah dibuang ke laut/sungai setelah melalui IPAL kawasan industri.	Limbah dibuang ke laut setelah melalui IPAL.
Skor	2	2	2
Peraturan Daerah	Perda Provinsi Banten No. 2 Tahun 2017 dan Perda Kota Cilegon No. 5 Tahun 2019.	Perda Kabupaten Gresik No. 8 Tahun 2011 tentang RTRW Kabupaten Gresik.	Perda Kota Bontang No. 8 Tahun 2012 tentang RTRW Kota Bontang.
Skor	3	3	3
Harga Tanah	Rp 2.000.000 – Rp 6.000.000/m²	Rp 3.000.000 – Rp 5.000.000/m²	Rp 1.500.000 – Rp 3.000.000/m²
Skor	1	2	3

Tenaga Kerja	Tenaga kerja industri tersedia, lulusan perguruan tinggi Jabodetabek.	Tenaga kerja industri melimpah, lulusan ITS, UNAIR, dan UISI.	Tenaga kerja tersedia, namun jumlah tenaga ahli terbatas.
Skor	2	3	2
Sistem Pengupahan dan UMK	UMK Kota Cilegon ±Rp5.500.000.	UMK Kabupaten Gresik ±Rp5.200.000.	UMK Kota Bontang ±Rp3.700.000.
Skor	2	2	1
Geografis	Kawasan industri padat, dekat Selat Sunda, rawan kemacetan.	Kawasan industri berkembang dalam Surabaya Metropolitan Area dengan akses logistik luas.	Terletak di Kalimantan Timur, jauh dari pusat pasar nasional.
Skor	2	3	2
Total Skor	22	25	19

Berdasarkan hasil penilaian pada Tabel 1.3, Gresik memperoleh nilai tertinggi sehingga dipilih sebagai lokasi pendirian pabrik monoethanolamine. Pemilihan ini didasarkan pada beberapa faktor pendukung berikut.

1.3.1 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku utama produksi monoethanolamine adalah amonia dan etilen oksida, sehingga lokasi pabrik perlu mempertimbangkan kemudahan akses pasokan kedua bahan tersebut. Pabrik direncanakan berlokasi di Gresik dengan pasokan amonia dari PT Petrokimia Gresik yang berkapasitas sekitar 1,1 juta ton per tahun, sedangkan etilen oksida dipasok dari PT Polychem Indonesia Tbk melalui jalur transportasi laut. Katalis silica-alumina (SiO_2–Al_2O_3) diperoleh dari produsen internasional sesuai kebutuhan proses.

1.3.2 Daerah Pemasaran

Monoethanolamine (MEA) memiliki prospek pasar yang baik karena digunakan pada industri pupuk, petrokimia, pulp dan kertas, serta deterjen. Lokasi pabrik di Gresik memberikan keuntungan pemasaran karena berada di

kawasan industri utama Jawa Timur dan dekat dengan pusat industri di Surabaya, Sidoarjo, dan sekitarnya.

Potensi pasar didukung oleh keberadaan perusahaan besar seperti PT Petrokimia Gresik, PT Tjiwi Kimia, Wings Group, serta berbagai industri petrokimia, energi, dan manufaktur lainnya. Kedekatan lokasi pabrik dengan konsumen utama memberikan keuntungan dalam distribusi dan efisiensi biaya transportasi sehingga mendukung kelayakan pendirian pabrik monoethanolamine di Gresik.

1.3.3 Sarana Transportasi

Transportasi yang memadai sangat penting untuk kelancaran distribusi bahan baku dan produk jadi. Infrastruktur di Gresik termasuk Pelabuhan Gresik dan Pelabuhan Tanjung Perak, akses tol Trans-Jawa, serta jalur laut dan darat yang lengkap, memfasilitasi transportasi bahan baku maupun produk jadi secara efisien. Dengan dukungan jaringan transportasi yang luas ini, Gresik menjadi lokasi strategis untuk pembangunan pabrik monoethanolamine.

1.3.4 Utilitas

Proses produksi memerlukan dukungan berbagai utilitas, antara lain pasokan listrik, air untuk keperluan proses, pendinginan, dan sanitasi, serta steam sebagai penunjang operasi. Kawasan industri Gresik memiliki ketersediaan infrastruktur utilitas yang memadai, seperti air industri, jaringan listrik dari PT PLN, serta pasokan gas bumi. Air industri dimanfaatkan dalam kegiatan produksi, sistem pendinginan, dan pembersihan peralatan. Kebutuhan energi termal dipenuhi melalui suplai gas alam dari PT Pertamina, sedangkan kebutuhan listrik dipasok oleh PT PLN dengan dukungan generator sebagai sumber listrik cadangan. Kelengkapan fasilitas utilitas tersebut mendukung kelangsungan operasi pabrik secara andal dan efisien.

1.3.5 Ketersediaan Tenaga Kerja

Ketersediaan tenaga kerja menjadi salah satu faktor penting dalam menunjang kelancaran operasional pabrik. Kawasan industri Gresik memiliki tenaga kerja industri yang relatif melimpah dan berpengalaman. Selain itu, keberadaan perguruan tinggi di Jawa Timur seperti Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Universitas Airlangga (UNAIR), dan Universitas Internasional Semen Indonesia (UISI) mendukung tersedianya tenaga kerja terdidik dan

terampil, sehingga kebutuhan operator, teknisi, dan tenaga ahli dapat terpenuhi dengan baik.

1.3.6 Pembuangan Limbah

Pabrik akan dibangun di kawasan industri Gresik, sehingga limbah cair dari proses produksi akan dialirkan melalui Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) kawasan industri sebelum dibuang. Proses pengolahan ini memastikan limbah memenuhi standar pembuangan yang telah ditetapkan oleh peraturan lingkungan, sehingga tidak menimbulkan pencemaran di lingkungan sekitar. Dengan sistem pengolahan limbah yang memadai, pabrik dapat beroperasi secara aman dan ramah lingkungan.

1.3.7 Geografis

Secara geografis, Gresik terletak di kawasan industri yang berkembang pesat dan merupakan bagian dari Surabaya Metropolitan Area. Lokasi ini memiliki akses transportasi dan logistik yang baik, sehingga memudahkan distribusi bahan baku maupun produk jadi ke berbagai wilayah di Jawa serta untuk kegiatan ekspor melalui pelabuhan. Selain itu, dukungan pemerintah daerah dalam bentuk kemudahan perizinan dan kebijakan industri menjadikan Gresik sebagai lokasi yang strategis untuk pendirian pabrik monoethanolamine.

1.4 Tinjauan Proses

1.4.1 Macam-Macam Proses Pembuatan MEA

Proses sintesis monoethanolamine (MEA) dilakukan melalui reaksi antara etilen oksida dan amonia. Reaksi ini tidak hanya menghasilkan monoethanolamine, tetapi juga membentuk produk samping berupa diethanolamine dan triethanolamine. Menurut Zahedi dkk., (2009), persamaan reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut.

C_2H_4O	+	NH_3	→	$NH_2CH_2CH_2OH$
Etilen Oksida		Amonia		Monoethanolamine (MEA)
C_2H_4O	+	$NH_2CH_2CH_2OH$	→	$NH(CH_2CH_2OH)_2$
Etilen Oksida		Monoethanolamine		Diethanolamine (DEA)
C_2H_4O	+	$NH(CH_2CH_2OH)_2$	→	$N(CH_2CH_2OH)_3$
Etilen Oksida		Diethanolamine		Triethanolamine (TEA)

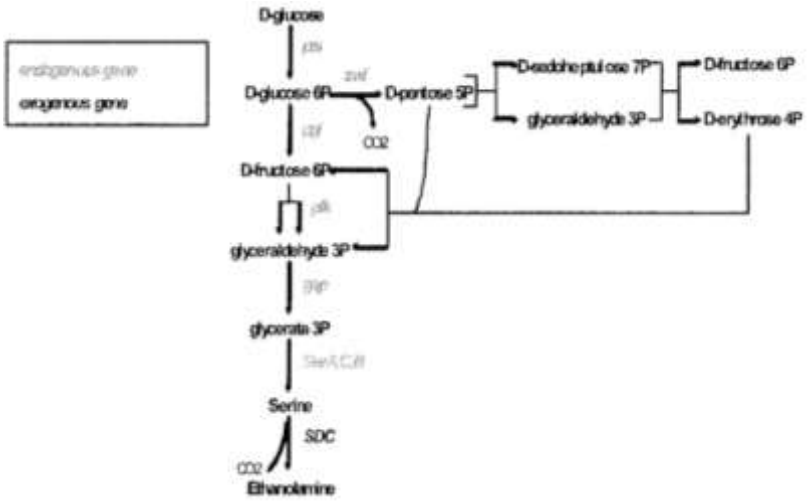
Secara umum, proses produksi monoethanolamine dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. **Proses Fermentasi**

Ethanolamine dapat diproduksi melalui proses fermentasi menggunakan bakteri rekombinan yang tumbuh secara aerob. Pada proses ini, serine berperan sebagai senyawa antara yang dikonversi menjadi ethanolamine oleh enzim serine decarboxylase yang diekspresikan oleh gen SDC dari *Arabidopsis thaliana*.

Secara umum, proses fermentasi meliputi tahap fermentasi, peningkatan konsentrasi ethanolamine, dan pemisahan produk dari media fermentasi serta biomassa. Pemisahan dapat dilakukan secara parsial maupun menyeluruh sesuai spesifikasi produk yang diinginkan.

Mikroorganisme yang umum digunakan antara lain *Escherichia coli*, *Corynebacterium glutamicum*, dan *Saccharomyces cerevisiae*. Proses berlangsung pada suhu 20–55°C dengan suhu optimum sekitar 30°C untuk *C. glutamicum* dan 37°C untuk *E. coli*. Diagram alir proses fermentasi produksi ethanolamine ditunjukkan pada Gambar 1.2.



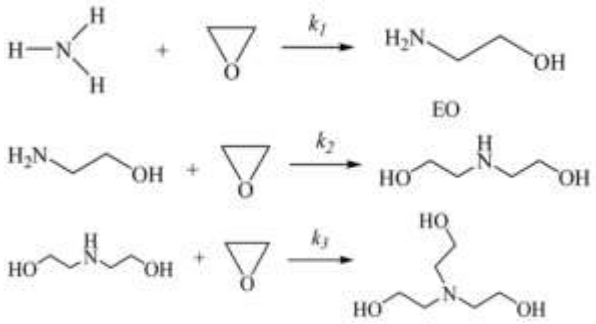
Gambar 1.2 Diagram Alir Biokimia Fermentasi pada Produksi Ethanolamine

2. **Proses Katalitik**

Proses katalitik merupakan metode produksi monoethanolamine yang menggunakan katalis padat pada reaktor fixed bed. Katalis yang umum digunakan antara lain silica-alumina, zeolit, tanah liat asam, dan berbagai logam oksida asam.

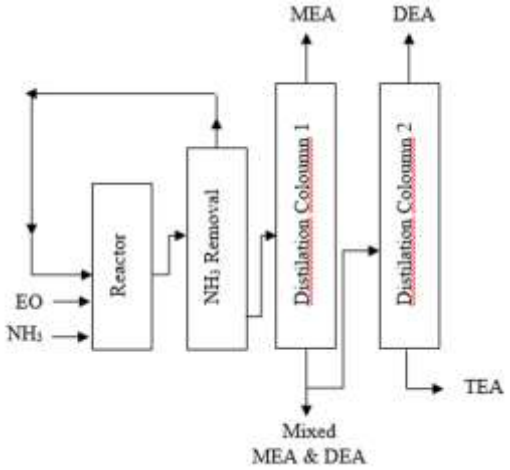
Penggunaan katalis berfungsi meningkatkan laju reaksi, efisiensi proses, dan selektivitas monoethanolamine sekaligus menekan pembentukan produk samping. Proses ini umumnya berlangsung pada suhu 75–132°C.

Dari aspek ekonomi, proses katalitik memiliki produktivitas reaktor yang tinggi serta lebih mudah dioperasikan dan dikendalikan. Reaksi dijalankan pada fase cair dengan tekanan yang cukup untuk mempertahankan seluruh reaktan tetap berada dalam fase cair selama proses berlangsung (Bengt J. G. Weibull & Alfredshem, 1972). Reaksi pembentukan ethanolamine melalui proses katalitik ditunjukkan pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Reaksi Proses Katalitik Pembuatan Ethanolamine

Blok diagram pembuatan MEA dapat dilihat pada Gambar 1.4 sebagai berikut.



Gambar 1.4 Blok Diagram Produksi MEA Proses Katalitik

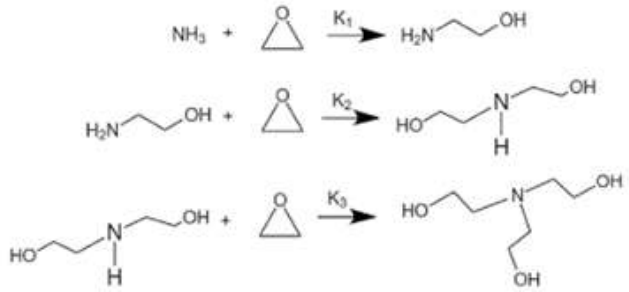
3. Proses Non-Katalitik

Proses non-katalitik (*aqueous process*) merupakan metode produksi monoethanolamine tanpa penggunaan katalis, dimana

amonia, etilen oksida, dan air direaksikan secara langsung di dalam reaktor. Produk hasil reaksi kemudian dipisahkan dengan menghilangkan amonia menggunakan *ammonia stripper* dan memisahkan air melalui evaporator.

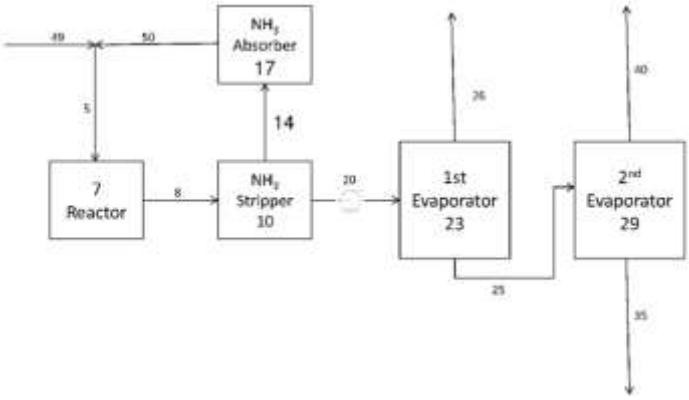
Dalam proses ini, jumlah air yang digunakan menjadi parameter penting karena memengaruhi kondisi operasi. Penggunaan air yang terlalu sedikit menyebabkan tekanan operasi tinggi dan meningkatkan biaya investasi, sedangkan penggunaan air berlebih meningkatkan kebutuhan energi proses. Selain itu, air berperan menjaga amonia tetap berada pada fase cair dan menurunkan reaktivitas etilen oksida sehingga risiko ledakan dapat dikurangi.

Pengendalian suhu dan tekanan tetap diperlukan untuk mencegah terbentuknya etilen glikol sebagai produk samping akibat reaksi antara etilen oksida dan air. Reaksi pembentukan ethanolamine melalui proses aqueous ditunjukkan pada Gambar 1.5.



Gambar 1.5 Reaksi Proses Non-Katalitik Pembuatan Ethanolamine

Blok diagram proses pembuatan monoethanolamine dengan metode aqueous dapat dilihat pada Gambar 1.6 berikut.



Gambar 1.6 Blok Diagram Produksi MEA Proses Non-Katalitik

Perbandingan proses fermentasi, katalitik dan aqueous (*non* katalitik) dapat diketahui melalui Tabel 1.4 berikut:

Tabel 1.4 Perbandingan Proses Proses Pembuatan Ethanolamine

Faktor Pembanding	**Proses Fermentasi**[1]	**Proses Aqueous (*Non* Katalitik)** [2]	**Proses Katalitik** [3]
Tekanan operasi	Tekanan ruang	136-340 atm	35 – 137 atm
Suhu operasi	20 – 55°C	130 – 225°C	50 – 132°C
Bahan Baku	Karbon dan *recombinant bacterium*	*Liquid* ammonia	Liquid Ammonia (H_2O<1%) dan ammonia anhydrous
Sifat Bahan Baku	Tergantung pada bakteri yang digunakan	Larutan amonia lebih aman	*Liquid* amonia lebih aman dan ammonia *anhydrous* 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	Produk tidak mengandung air sehingga tidak diperlukan

		sehingga konsumsi energi lebih tinggi	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 (1:40)	0-100% Ethanolamine	MEA : 76,12% TEA : 19,96% DEA 3,89%	MEA : 87,04% TEA : 10,12% DEA : 2,10%

[1] US Patent 0325245 A1 dan EP 904524 A1

[2] US Patent 5,545,757

[3] US Patent 4,438,281

Berdasarkan EP Patent 3904524 A1, proses fermentasi belum dapat diterapkan secara komersial untuk produksi monoethanolamine skala besar karena efisiensi proses yang rendah serta tahapan pemisahan produk yang kompleks.

Proses non-katalitik memiliki keunggulan berupa penggunaan air sebagai media reaksi, namun memerlukan tahap pemisahan air menggunakan stripper atau evaporator yang meningkatkan kebutuhan energi dan biaya operasi. Sebaliknya, proses katalitik mampu menghasilkan monoethanolamine dengan konsentrasi tinggi tanpa memerlukan pemisahan air, sehingga lebih sederhana dan ekonomis. Meskipun menggunakan amonia anhidrat yang memiliki risiko lebih tinggi, keberadaan air dalam jumlah kecil tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap rendemen produk (US Patent 3,697,598).

Berdasarkan perbandingan kedua proses, dipilih proses katalitik karena memiliki selektivitas tinggi terhadap monoethanolamine, konsumsi energi yang lebih rendah, serta keekonomian yang lebih baik. Katalis yang digunakan adalah silica-alumina (SiO_2–Al_2O_3) yang memiliki aktivitas dan stabilitas

yang baik serta relatif ekonomis untuk aplikasi industri (US Patent 4,438,281).

1.4.2 Tinjauan Proses Secara Umum

Bahan baku berupa amonia cair dan etilen oksida dari unit penyimpanan, bersama dengan aliran amonia hasil daur ulang, dialirkan ke dalam reaktor fixed bed multitube yang berisi katalis silika-alumina (SiO_2–Al_2O_3). Reaktor dioperasikan pada tekanan sekitar 100 atm dan suhu ±100°C untuk memfasilitasi reaksi antara etilen oksida dan amonia. Reaksi ini menghasilkan monoethanolamine (MEA) sebagai produk utama, serta diethanolamine (DEA) dan triethanolamine (TEA) sebagai produk samping.

Menurut US Patent No. 4,438,281, pada kondisi operasi tekanan 1450 psig, suhu jaket reaktor 100°C, dan rasio molar amonia terhadap etilen oksida sebesar 39,88:1, diperoleh selektivitas sebesar 87,04% mol MEA, 10,12% mol DEA, dan 2,10% mol TEA, dengan konversi etilen oksida mencapai 98%.

Aliran keluaran dari reaktor selanjutnya diarahkan ke unit pemisahan awal berupa separator yang terdiri atas kolom dan menara distilasi pertama. Pada tahap ini, amonia, etilen oksida, dan sebagian air dipisahkan dari campuran produk. Aliran atas yang didominasi oleh amonia, etilen oksida, dan air dikembalikan ke reaktor sebagai aliran recycle, sedangkan aliran bawah yang mengandung MEA, DEA, dan TEA dialirkan ke menara distilasi kedua.

Pada menara distilasi kedua, monoethanolamine dipisahkan dari komponen yang memiliki titik didih lebih tinggi, yaitu DEA dan TEA. Produk atas menara ini didominasi oleh MEA, sedangkan fraksi bawah yang mengandung DEA dan TEA diteruskan ke menara distilasi ketiga. Pemisahan lanjutan dilakukan pada menara distilasi ketiga untuk memisahkan DEA dan TEA, di mana produk atas kaya akan DEA dan produk bawah didominasi oleh TEA karena memiliki titik didih paling tinggi (Kirk-Othmer et al., 1998).