

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan sektor industri di Indonesia semakin pesat dan memiliki peran yang sangat strategis dalam mendukung pertumbuhan ekonomi nasional. Sektor ini tidak hanya berkontribusi dalam meningkatkan nilai tambah pada berbagai produk, tetapi juga memperkuat struktur industri secara keseluruhan. Selain itu, industri membuka lebih banyak peluang usaha serta menciptakan lapangan kerja bagi masyarakat, sehingga dapat meningkatkan kesejahteraan dan daya saing tenaga kerja di dalam negeri. Pembangunan industri di Indonesia terus menunjukkan peningkatan signifikan, terutama dalam sektor kimia, farmasi, dan tekstil (IKFT). Pada triwulan III tahun 2024, sektor IKFT mencatat pertumbuhan kumulatif sebesar 4,2%, memberikan kontribusi sebesar 22,46% terhadap industri pengolahan nonmigas dan 3,87% terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) nasional (Indonesia.go.id, 2024).

Industri kosmetik nasional juga mengalami perkembangan pesat, dengan jumlah perusahaan meningkat dari 913 pada tahun 2022 menjadi 1.010 pada pertengahan 2023, dan nilai ekspor produk kosmetik mencapai USD 770,8 juta untuk periode Januari-November 2023. Industri-industri tersebut melakukan inovasi untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Monoetanolamin merupakan salah satu bahan baku yang digunakan dalam pembuatan kosmetik serta berfungsi sebagai penghambat korosi, pelarut, *emulsifier*, dan herbisida. Monoetanolamin juga banyak digunakan dalam industri pemurnian gas, bahan kimia kulit, serta pembuatan semen (Kirk dan Othmer, 1982).

Monoetanolamin merupakan senyawa organik dari golongan amina primer (karena terdapat gugus amino) dan merupakan golongan alkohol primer (adanya gugus hidroksil). Dengan rumus molekul C_2H_7NO , monoetanolamin mempunyai sifat berbentuk cairan kental tidak berwarna, mudah terbakar, serta memiliki bau seperti *Ammonia*. Monoetanolamin merupakan produk *intermediate* yang termasuk

dalam senyawa *ethanolamine* yang mempunyai peranan cukup besar dalam berbagai aplikasi industri. *Ethanolamine* meliputi monoetanolamin (MEA), dietanolamin (DEA) dan trietanolamin (TEA) yang merupakan *derivate* (turunan) *ammonia* dengan satu, dua, atau tiga atom hidrogennya disubstitusi oleh gugus hidroksietil ($-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$). Monoetanolamin (sering disingkat dengan ETA atau MEA) diproduksi dengan mereaksikan Etilen Oksida dengan larutan *Ammonia* di mana reaksi ini juga memproduksi dietanolamin (DEA) serta trietanolamin (TEA) dalam jumlah yang lebih sedikit. Sehingga dalam pendirian pabrik ini selain menghasilkan produk utama Monoetanolamin juga terdapat produk samping berupa dietanolamin dan trietanolamin.

Besarnya kebutuhan industri di Indonesia terhadap Monoetanolamin (MEA) mendorong pentingnya pembangunan pabrik dalam negeri untuk mengurangi ketergantungan pada impor dan memenuhi permintaan domestik maupun ekspor. Pada tahun 2023, Indonesia mengimpor MEA dan garamnya sebesar 2.011.400 kg dengan nilai USD 2.719.470, yang sebagian besar berasal dari Malaysia, China, dan Arab Saudi (World Bank, 2023). Ketergantungan pada impor ini menimbulkan risiko terhadap fluktuasi harga dan ketersediaan pasokan global, yang dapat berdampak pada biaya produksi industri dalam negeri. Oleh karena itu, pendirian pabrik MEA di Indonesia menjadi langkah strategis untuk memperkuat struktur industri dari hulu ke hilir serta menciptakan ekosistem industri yang lebih stabil dan berkelanjutan. Selain itu, produksi MEA lokal juga memiliki potensi besar untuk meningkatkan daya saing Indonesia di pasar internasional dan mendukung pertumbuhan ekonomi nasional.

Pendirian pabrik MEA di Indonesia sejalan dengan upaya pemerintah dalam mendorong hilirisasi industri dan penguatan sektor manufaktur. Dengan memanfaatkan sumber daya lokal dan teknologi terkini, pabrik ini diharapkan dapat memenuhi standar kualitas internasional, mendukung pertumbuhan industri terkait, dan berkontribusi positif terhadap perekonomian nasional. Selain itu, pengembangan industri MEA domestik akan membuka peluang penelitian dan pengembangan lebih lanjut, mendorong inovasi dalam aplikasi MEA di berbagai sektor, serta menciptakan lapangan kerja baru bagi masyarakat. Dengan demikian,

investasi dalam pembangunan pabrik MEA tidak hanya menjawab kebutuhan industri saat ini, tetapi juga mempersiapkan Indonesia untuk menghadapi tantangan dan peluang di masa depan.

1.2 Rumusan Masalah

Kebutuhan Monoetanolamin di Indonesia menunjukkan peningkatan dari tahun ke tahun. Namun sampai saat ini Indonesia masih mengimpor dari negara-negara lain. Maka perlu didirikan pabrik Monoetanolamin dengan bahan baku Etilen Oksida dan *Ammonia*, sehingga dapat mengurangi kebutuhan impor Monoetanolamin di dalam negeri, meningkatkan nilai ekonomis dan devisa negara dengan cara mengeksport produk ke luar negeri.

1.3 Tujuan Pra Rancangan

Adapun tujuan dari prarancangan pabrik Monoetanolamin dari Etilen Oksida dan *Ammonia* adalah sebagai berikut:

1. Sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Kimia dan menerapkan disiplin ilmu Teknik Kimia, khususnya dibidang merancang, proses dan operasi teknik kimia sehingga akan memberikan Gambaran kelayakan prarancangan pendirian pabrik ini.
2. Menambah nilai produksi dalam negeri, sehingga tidak perlu adanya impor dari luar negeri serta dapat meningkatkan nilai ekspor ke luar negeri.
3. Untuk memberikan informasi awal tentang perkiraan tata rancangan pabrik pembuatan Monoetanolamin dari Etilen Oksida dan *Ammonia* dengan menggunakan katalis Silika Alumina.

1.4 Manfaat Pra Rancangan

Ada beberapa manfaat dan dampak positif yang dibutuhkan dari rancangan pabrik ini yaitu :

1. Manfaat bagi Pemerintah adalah untuk memenuhi kebutuhan Monoetanolamin di Indonesia dan menghemat devisa negara.

2. Manfaat bagi masyarakat adalah untuk menciptakan lapangan kerja sekaligus menurunkan laju pertumbuhan pengangguran di Indonesia.
3. Manfaat bagi institusi adalah menjadi suatu bahan penelitian dan pengembangan dalam riset untuk masa yang akan datang.

1.5 Batasan masalah

Adapun batasan masalah dalam prarancangan ini adalah Prarancangan pabrik ini secara teknik hanya difokuskan pada pembuatan Monoetanolamin dari *Etilen Oksida* dan *Ammonia* dengan menggunakan katalis Silika Alumina. Adapun pembuatan *flowsheet* perancangan pabrik ini dibatasi dengan menggunakan *software Aspen Hysys V10* dan P&ID.

1.6 Kapasitas Pabrik

Kapasitas pabrik merupakan faktor yang sangat penting dalam pendirian pabrik karena akan mempengaruhi perhitungan teknis dan ekonomis. Semakin besar kapasitas pabrik kemungkinan keuntungan yang diperoleh akan semakin besar. Namun dalam penentuan kapasitas perlu juga dipertimbangkan faktor lainnya. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas pabrik yaitu:

1.6.1 Data Kebutuhan Monoetanolamin di Indonesia

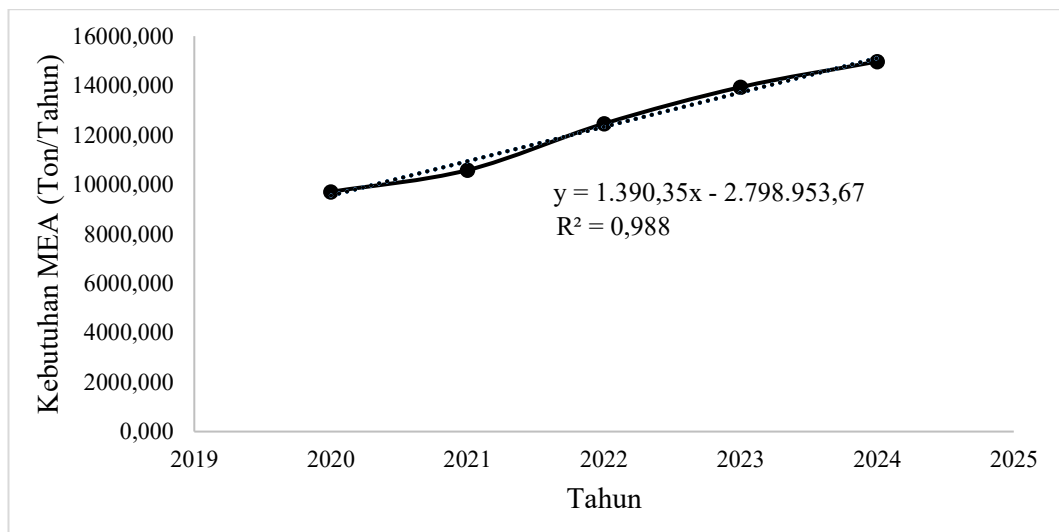
Kapasitas pabrik monoetanolamin ditentukan berdasarkan data impor, dengan mempertimbangkan kebutuhan monoetanolamin di Indonesia yang hingga saat ini masih sepenuhnya bergantung pada impor karena belum adanya pabrik produksi monoetanolamin di dalam negeri. Adapun data Kebutuhan Monoetanolamin di Indonesia tercantum pada Tabel 1.1

Tabel 1.1 Kebutuhan Monoetanolamin di Indonesia

Tahun	Kebutuhan MEA (ton/tahun)
2020	4.419,780
2021	5.020,354
2022	6.568,999
2023	7.098,091
2024	7.774,986

(Sumber: <https://www.bps.go.id>, 2025)

Berdasarkan data kebutuhan monoetanolamin dari tahun 2020 hingga 2024, terjadi tren peningkatan yang menunjukkan adanya permintaan yang terus meningkat. Dengan mempertimbangkan tren peningkatan tersebut, dilakukan ekstrapolasi kebutuhan monoetanolamin di Indonesia untuk tahun-tahun mendatang. Berdasarkan data tersebut maka hasil ekstrapolasi kebutuhan monoetanolamin di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1.1



Gambar 1.1 Data Kebutuhan Monoetanolamin di Indonesia

Berdasarkan Gambar 1.1, persamaan garis yang diperoleh dari tren kebutuhan monoetanolamin di Indonesia adalah:

$$y = 1.390,35x - 2.798.953,67 \dots \dots \dots (1.1)$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa kebutuhan monoetanolamin di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahunnya dengan mengikuti pola garis lurus. Dalam persamaan tersebut, y menyatakan kebutuhan monoetanolamin dalam satuan ton pada tahun tertentu, sedangkan x merepresentasikan tahun yang dihitung. Dengan menggunakan Persamaan (1.1), proyeksi kebutuhan monoetanolamin di Indonesia hingga tahun 2030 dapat dihitung. Hasil ekstrapolasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.2

Tabel 1.2 Data Hasil Ekstrapolasi Kebutuhan Monoetanolamin di Indonesia

Tahun	Kebutuhan MEA (ton/tahun)
2025	16.505,08
2026	17.895,43
2027	19.285,78
2028	20.676,13
2029	22.066,48
2030	23.456,83

Berdasarkan data ekstrapolasi yang diperoleh, kebutuhan monoetanolamin (MEA) di Indonesia mengalami peningkatan yang signifikan setiap tahunnya. Pada tahun 2025, kebutuhan monoetanolamin diperkirakan mencapai 16.505,08 ton/tahun dan terus meningkat hingga mencapai 23.456,83 ton/tahun pada 2030. Walaupun pabrik monoetanolamin di Indonesia belum pernah didirikan, tetapi untuk pemenuhan kebutuhan dalam negeri saja, industri ini masih sangat kecil untuk dibuat ke skala pabrik. China merupakan salah satu negara dengan tingkat konsumsi monoetanolamin yang tinggi, namun masih mengandalkan impor untuk memenuhi kebutuhan industrinya. Dengan adanya pabrik monoetanolamin di Indonesia, peluang ekspor ke China dapat lebih dimaksimalkan.

1.6.2 Data Kebutuhan Monoetanolamin di Dunia

Monoetanolamin merupakan bahan kimia yang banyak digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan deterjen. Emulsifier, dan produk pembersih industri. Selain itu, senyawa ini juga digunakan dalam industri gas alam sebagai agen penghilang gas asam, dalam produksi peptisida, serta sebagai bahan tambahan dalam industri kosmetik dan farmasi. Adapun data kebutuhan monoetanolamin di dunia yaitu Amerika Serikat dan Cina.

1. Data Kebutuhan Monoetanolamin di Amerika Serikat

Kebutuhan impor Monoetanolami pada negara Amerika Serikat dilakukan pengambilan data untuk mengetahui peluang berapa besar Monoetanolamin yang akan meningkatkan nilai ekspor Monoetanolamin di Indonesia pada Pra-rancangan pabrik dengan kapasitas yang akan ditetapkan. Adapun kebutuhan impor

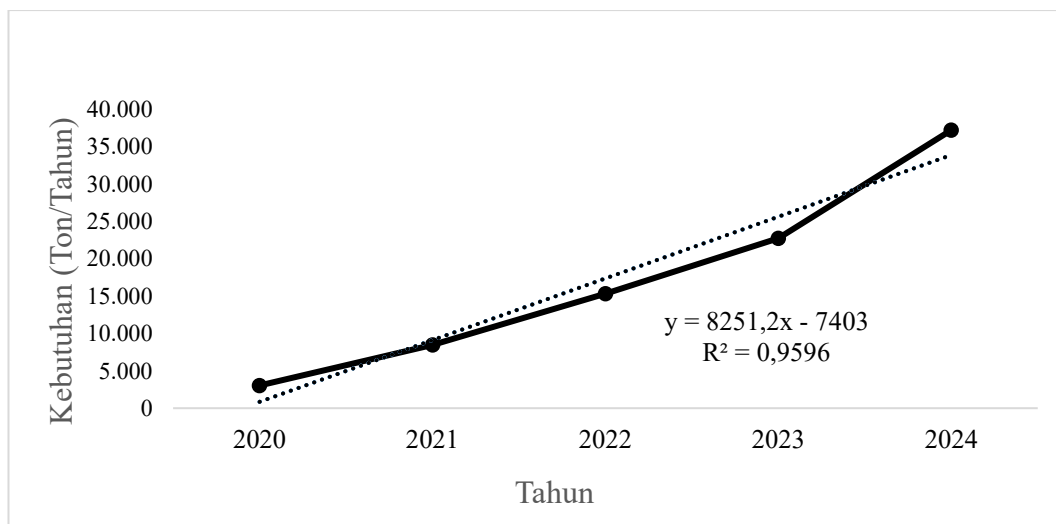
Monoetanolamin pada negara 1Amerika Serikat didapat pada tahun 2020-2024 dapat dilihat pada tabel 1.3.

Tabel 1.3 Data Kebutuhan Monoetanolamin di Amerika Serikat

Tahun	Jumlah Impor (Ton)
2020	3.040
2021	8.484
2022	15.333
2023	22.716
2024	37.180

Sumber: (Statista, 2025)

Dapat dilihat pada tabel 1.3 data kebutuhan impor Monoetanolamin di negara Amerika Serikat dari tahun 2020-2024 terus mengalami peningkatan tiap tahun nya, dengan itu dapat disimpulkan bahwa kebutuhan impor Monoetanolamin di Amerika Serikat masih banyak bergantung pada Monoetanolamin impor. Untuk mengetahui kenaikan kebutuhan Monoetanolamin impor negara Amerika Serikat pada tahun 2030, maka dilakukan ekstrapolasi dari data kebutuhan impor pada tahun 2020-2024, kenaikan data impor dapat dilihat pada persamaan grafik Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Grafik Kebutuhan Impor di Amerika Serikat

Berdasarkan Gambar 1.2 dapat dilihat bahwa persamaan yang diperoleh adalah $y = 8251,2x + 7403$ dengan $R^2 = 0,9596$. Kebutuhan impor Monoetanolamin di Amerika Serikat tiap tahunnya mengalami kenaikan sesuai dengan persamaan

garis lurus: $y = 8251,2x + 7403$ dimana y adalah kebutuhan impor Monoetanolamin pada tahun tertentu dalam ton, sedangkan x adalah tahun ke yang akan diperkirakan. Hasil ekstrapolasi kebutuhan impor Monoetanolamin di Amerika Serikat dapat dilihat pada tabel 1.4.

Tabel 1.4 Data Hasil Ekstrapolasi Kebutuhan Monoetanolamin di Amerika Serikat

Tahun	Jumlah Impor (Tahun)
2025	42.104
2026	50.355
2027	58.607
2028	66.858
2029	75.109
2030	83.360

Dapat dilihat pada Tabel 1.4 bahwa dari data hasil ekstrapolasi kebutuhan impor Monoetanolamin di Amerika Serikat setiap tahunnya terus meningkat. Diperkirakan kebutuhan impor di Amerika Serikat pada tahun 2030 mencapai 83.360 ton.

2. Data Kebutuhan Monoetanolamin di China

Kebutuhan monoetanolamin di China setiap tahunnya dipenuhi melalui produksi dalam negeri serta impor dari berbagai negara untuk memenuhi permintaan industri. Data impor monoetanolamin di China dapat dilihat pada Tabel 1.5

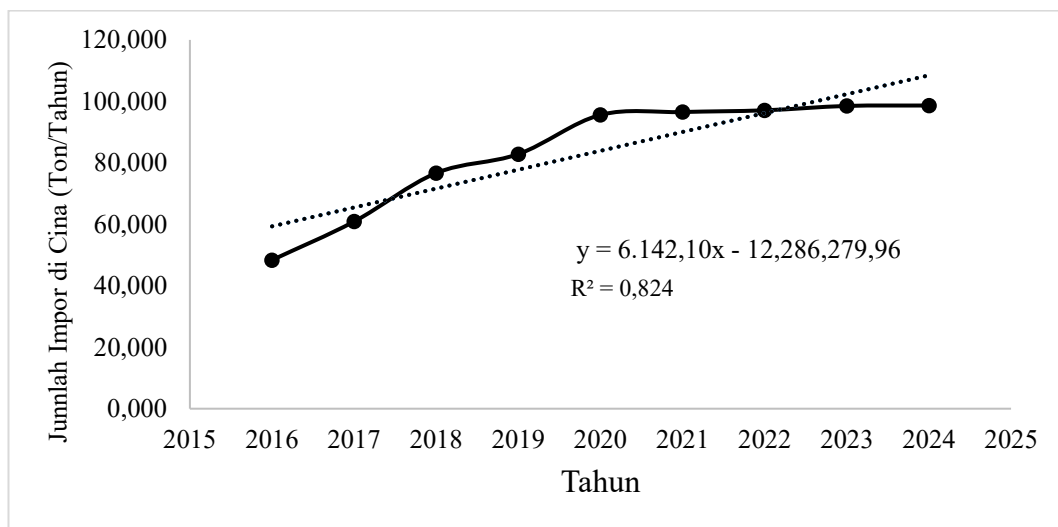
Tabel 1.5 Data Impor Monoetanolamin di China

Tahun	Jumlah Impor (Ton/Tahun)
2016	48.360
2017	60.898
2018	76.687
2019	82.846
2020	95.600
2021	96.535

Tahun	Jumlah Impor (Ton/Tahun)
2022	97.090
2023	98.511
2024	98.658

Sumber: (China Chemical Reporter, 2025)

Berdasarkan data kebutuhan monoetanolamin dari tahun 2019 hingga 2024, terjadi tren peningkatan yang menunjukkan adanya permintaan yang terus meningkat. Dengan mempertimbangkan tren peningkatan tersebut, dilakukan ekstrapolasi kebutuhan monoetanolamin di China untuk tahun-tahun mendatang. Berdasarkan data tersebut maka hasil ekstrapolasi kebutuhan monoetanolamin di China dapat dilihat pada Gambar 1.3



Gambar 1.3 Data Kebutuhan Monoetanolamin di China

Berdasarkan Gambar 1.2, persamaan garis yang diperoleh dari tren kebutuhan monoetanolamin di China adalah:

$$y = 6.142.10x - 12.286.279,96 \dots\dots\dots(1.2)$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa kebutuhan monoetanolamin di China mengalami peningkatan setiap tahunnya dengan mengikuti pola garis lurus. Dalam persamaan tersebut, y menyatakan kebutuhan monoetanolamin dalam satuan ton pada tahun tertentu, sedangkan x merepresentasikan tahun yang dihitung. Dengan menggunakan Persamaan (1.2), proyeksi kebutuhan monoetanolamin di Indonesia

hingga tahun 2035 dapat dihitung. Hasil ekstrapolasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.6

Tabel 1.6 Data Ekstrapolasi Impor Monoetanolamin di China

Tahun	Impor (Ton/Tahun)
2025	114.619,94
2026	120.762,04
2027	126.904,14
2028	133.046,24
2029	139.188,34
2030	145.330,44
2031	151.472,54
2032	157.614,64
2033	163.756,74
2034	169.898,84
2035	176.040,94

Berdasarkan data hasil ekstrapolasi diatas, menunjukkan bahwa kebutuhan monoetanolamin di China dari tahun ke tahun mengalami peningkatan sesuai dengan kebutuhan yang meningkat setaip tahunnya. Peningkatan kebutuhan monoetanolamin di China diproyeksikan terus berlanjut hingga tahun 2035. Untuk memenuhi permintaan tersebut, China memproduksi monoetanolamin secara domestik melalui berbagai pabrik yang beroperasi di dalam negeri. Daftar pabrik monoetanolamin yang terdapat di China dapat dilihat pada Tabel 1.7

Tabel 1.7 Data Kapasitas Produksi Monoetanolamin di China

No	Pabrik	Kapasitas Produksi (ton/tahun)
1	<i>Fushun Northern Chemical Co., Ltd.</i>	6.000
2	<i>Jilin Proteleum and chemical Branch of CNPC</i>	1.160

No	Pabrik	Kapasitas Produksi (ton/tahun)
3	<i>Jiangsu Yixing Yinyan Chemical Co., Ltd</i>	4.000
4	<i>Gaoqiao Petroluem and Chemical Company of Sinopec</i>	900
5	<i>Maoming Petroleum and Chemical Shihua Ci., Ltd.</i>	1.200
6	<i>Sinopec Qingjiang Petroleum and Chemical Company</i>	400
7	<i>Jiaying Jinyan Chemical CO., Ltd</i>	10.000
8	<i>Shanghai Fujia Fine Chemical Co., Ltd</i>	12.000
Jumlah Produksi		35.660

Sumber: (*Chemical Weekly*, 2025).

Berdasarkan hasil ekstrapolasi pada Tabel 1.4, perkiraan kebutuhan monoetanolamin di China pada tahun 2030 mencapai 145.330,44 ton/tahun. Sementara itu, total produksi monoetanolamin dari seluruh pabrik di China hanya sebesar 35.660 ton/tahun, sehingga terjadi kesenjangan antara kebutuhan dan kapasitas produksi domestik. Jumlah monoetanolamin yang belum terpenuhi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$KBT = DK - DP \dots \dots \dots (1.3)$$

Keterangan :

DK : Data Kebutuhan MEA, merujuk pada 2030 (Ton)

DP : Data Produksi MEA, merujuk pada 2030 (Ton)

$$KBT \text{ (di China)} = 145.330,44 - 35.660$$

$$= 109.670,44 \text{ Ton/Tahun}$$

Maka perkiraan data kebutuhan monoetanolamin di China belum terpenuhi di Tahun 2030 sebesar 109.670,44 Ton. Maka penentuan kapasitas pabrik kami dengan jumlah 100.000 didasarkan untuk memenuhi kebutuhan di Indonesia MEA 100% (sebesar 23.456,83 Ton), sehingga pemerintah tidak perlu mengimpor MEA dari luar, dan sisa produksi sekitar 76.543,17 akan di ekspor ke china untuk memenuhi 53,08 % dari total kebutuhan seluruhnya. Dijelaskan pada uraian dibawah ini

Kapasitas pabrik = 100.000 Ton/Tahun
 Kebutuhan MEA di indo (2030) = 23.456,83 Ton/Tahun
 Sisa produksi MEA = 100.000 - 23.456,83 = 76.543,17 ton/tahun

Dari perhitungan, sisa produksi monoetanolamin 76.543,17 akan di ekspor ke china. Perhitungan perkiraan untuk memenuhi kebutuhan di China sebesar dapat diuraikan pada contoh perhitungan dibawah ini.

Kebutuhan MEA di China = 145.330,44 Ton/Tahun

$$A = \frac{\text{Sisa produksi MEA setelah memenuhi kebutuhan di Idn}}{\text{kebutuhan Mea di China}} \times 100\% \dots (1.4)$$

$$A = \frac{76.543,17}{145.330,44} \times 100\%$$

$$A = 52,66 \%$$

Sisa produksi monoetanolamin sebesar 76.543,17 ton/tahun dapat memenuhi sekitar 52,66 % dari total Kebutuhan Monoetanolamin di China. Untuk melihat berapa % produksi pabrik untuk kebutuhan monoetanolamin di indonesia dan di china, dapat dilihat dari penjabaran rumus dibawah ini

Total Produksi = 100.000 Ton/Tahun
 Kebutuhan di indonesia = 23.456,83 Ton/Tahun
 MEA di ekspor ke China = 76.543,17 Ton/Tahun

Dapat dilihat masing- masing kebutuhan monoetanolamin untuk kedua negara ini sebagai berikut :

kebutuhan MEA di indonesia dari % Produksi :

$$\% \text{ Produksi MEA Indonesia} = \frac{\text{kebutuhan MEA di Indonesia}}{\text{Total produksi}} \times 100\% \dots (1.5)$$

$$= \frac{23.456,83}{100.000} \times 100\%$$

$$= 23,456 \% \text{ Dari total produksi}$$

Maka kebutuhan MEA di china dari % Produksi sebesar

$$\% \text{ Produksi MEA China} = (100-23,456) \%$$

$$= 76,544 \% \text{ Dari total Produksi}$$

1.6.3 Data Kapasitas Produksi Monoetanolamin Dunia

Dalam menentukan kapasitas pabrik monoetanolamin yang akan didirikan perlu dipahami ketersediaan monoetanolamin secara global, diperlukan data

mengenai kapasitas produksi di berbagai negara. Kapasitas produksi monoetanolamin di dunia dapat dilihat pada Tabel 1.8.

Tabel 1.8 Data Kapasitas Produksi Monoetanolamin Dunia

Negara	Pabrik	Kapasitas (Ton/tahun)
China	<i>Fushun Northern Chemical Co., Ltd, Jilin Proteleum and chemical Branch of CNPC, Jiangsu Yixing Yinyan Chemical Co., Ltd, Sinopec Qingjiang Petroleum and Chemical Company, Shanghai Fujia Fine Chemical Co., Ltd, Maoming Petroleum and Chemical Shihua Ci., Ltd., Gaoqiao Petroluem and Chemical Company of Sinopec</i>	35.660
Iran	<i>Exc Arak Petrochemical Complex</i>	10.000
AS	<i>Dow, Plaquemine, Los Angles</i>	84.000
AS	<i>Husman, Port Neches, Texas</i>	150.000
AS	<i>Ocidental, Barport, Texas</i>	20.000
AS	<i>Union Carbide, Seadrift, Texas</i>	180.000
Iran	<i>Industrials derivadosdel Etileno</i>	7.000

(Sumber: Chemical weekly, 2025)

Berdasarkan faktor-faktor yang menentukan kapasitas pabrik monoetanolamin yang akan didirikan pada tahun 2030, diperkirakan kebutuhan monoetanolamin di Indonesia akan mencapai 37.955,96 ton/tahun. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, direncanakan pendirian pabrik monoetanolamin dengan kapasitas produksi sebesar 100.000 ton/tahun. Kapasitas ini dipilih dengan mempertimbangkan produksi dari pabrik-pabrik yang telah beroperasi sebelumnya serta meningkatnya permintaan pasar terhadap monoetanolamin.

Produksi monoetanolamin di dunia masih tergolong terbatas, dengan kapasitas produksi di berbagai negara yang relatif kecil. Selain mempertimbangkan data impor dan kebutuhan monoetanolamin secara global, kapasitas produksi pabrik ini juga ditentukan berdasarkan kapasitas pabrik yang telah ada berkisar antara

7.000 – 180.000 ton/tahun. Diharapkan, pendirian pabrik ini dapat memberikan manfaat bagi perekonomian Indonesia, antara lain dengan memenuhi kebutuhan impor dalam negeri, meningkatkan devisa negara melalui ekspor monoetanolamin ke pasar global, serta menyerap tenaga kerja lokal.

1.7 Seleksi Pemilihan Proses

Proses pembentukan produk monoetanolamin menggunakan etilen oksida dan *ammonia* disebut dengan proses Amonolisis, yaitu proses pembentukan senyawa amina dengan mereaksikan senyawa organik dengan *ammonia*. Ada dua metode dalam pembentukannya yaitu dengan proses Amonolisis Etilen Oksida dan Aminasi Metanol.

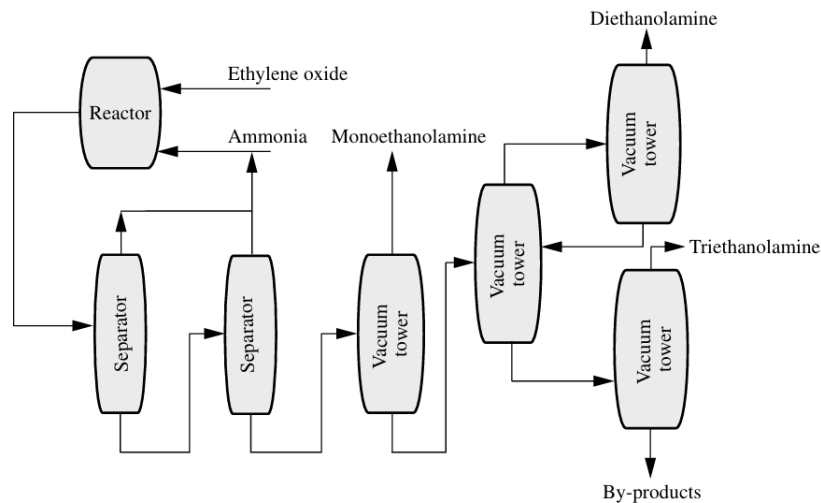
1.7.1 Proses Amonolisis Etilen Oksida (EO)

Proses produksi monoetanolamin (MEA) melalui reaksi amonolisis etilen oksida dengan *ammonia* anhidrat (99–99,5% NH_3) merupakan salah satu metode yang umum digunakan di industri kimia. Proses ini berlangsung dalam fase campuran gas-gas, di mana etilen oksida dalam fase gas direaksikan dengan *ammonia*, yang dapat berada dalam fase gas. Reaksi ini dijalankan pada tekanan sekitar 3 atm dan suhu antara 50 hingga 60°C. Sifat reaksi yang eksotermis menuntut penggunaan sistem pendingin yang efektif untuk menjaga suhu dalam rentang optimal serta mengendalikan laju reaksi agar tidak menghasilkan produk samping dalam jumlah berlebih.

Reaktor yang digunakan dalam proses ini umumnya berupa reaktor *fixed bed multitube* yang diisi dengan katalis berbasis silika-alumina. Jenis reaktor ini memungkinkan pengendalian suhu reaksi yang baik melalui sirkulasi fluida pendingin di luar pipa-pipa reaktor, sehingga sangat sesuai untuk reaksi eksotermis seperti amonolisis etilen oksida. Rasio molar reaktan etilen oksida terhadap *ammonia* yang digunakan adalah 3:1. Konversi etilen oksida dalam sistem ini umumnya tinggi, berkisar antara 85–98%, tergantung pada efisiensi pemisahan dan pengendalian reaksi.

Setelah keluar dari reaktor, campuran hasil reaksi yang terdiri dari MEA, *ammonia* yang belum bereaksi, dan sejumlah pengotor dialirkan menuju separator

pertama. Unit ini berfungsi untuk memisahkan *ammonia* yang tidak bereaksi, yang kemudian dikembalikan ke sistem reaksi sebagai langkah efisiensi proses. Campuran cair yang tersisa kemudian dialirkan ke separator kedua guna pemisahan lanjutan dari sisa *ammonia* dan pengotor lainnya yang tidak diinginkan. Setelah proses pemisahan awal, campuran etanolamin diarahkan ke dalam menara distilasi vakum (*vacuum tower*) pertama. Di dalam menara ini, MEA dipisahkan melalui distilasi vakum pada suhu sekitar 100°C dan dikumpulkan sebagai produk utama. Sisa campuran yang mengandung DEA dan TEA kemudian dikirim ke *vacuum tower kedua* untuk memisahkan DEA, yang juga merupakan senyawa bernilai guna dalam berbagai aplikasi industri. Produk sisa dari tahap ini kemudian dialirkan ke *vacuum tower ketiga*, di mana TEA dipisahkan dan diambil sebagai produk akhir, sementara residu dan senyawa lain yang tidak diinginkan dikeluarkan dari sistem. Adapun *Flowsheet* dasar produksi monoetanolamin dengan proses Amonolisis etilen oksida dapat dilihat pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4 *Flowsheet* dasar produksi monoetanolamin dengan proses Amonolisis etilen oksida (*Chemical and Process Design Handbook*, 2002)

1.7.2 Proses Aminasi Metanol

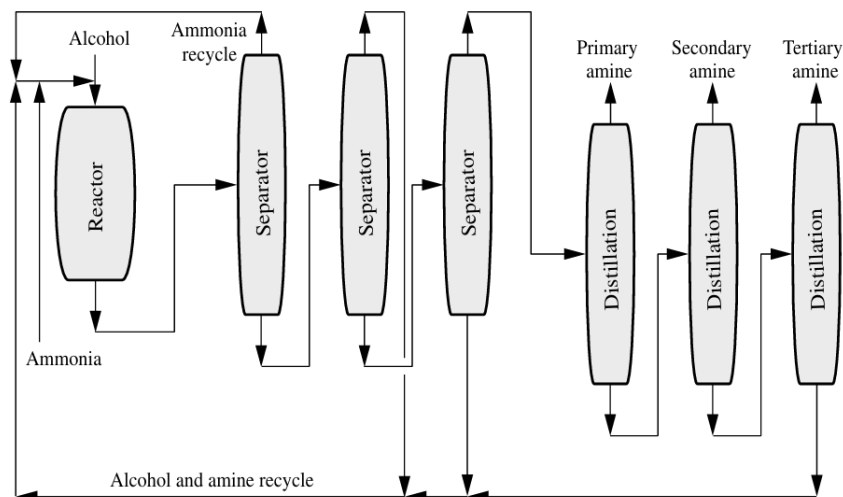
Proses aminasi metanol merupakan salah satu metode penting dalam sintesis etanolamin, yaitu senyawa kimia yang banyak digunakan dalam berbagai sektor industri. Proses ini melibatkan reaksi antara metanol dan *ammonia* yang berlangsung dalam fase gas pada suhu tinggi, yaitu antara 220 hingga 400°C, dan

tekanan sekitar 25 atm. Reaksi ini bersifat eksotermis, sehingga pengendalian suhu menjadi sangat penting untuk menjaga kestabilan sistem dan menghindari pembentukan produk samping secara berlebih.

Dalam industri, reaksi ini umumnya dilakukan menggunakan reaktor tipe *fixed bed tubular* atau *fluidized bed*, yang dirancang untuk menangani reaksi fase gas dengan tekanan dan suhu tinggi. Reaktor dilengkapi dengan sistem pendingin untuk menjaga suhu tetap dalam rentang optimal selama proses berlangsung. Untuk meningkatkan efisiensi dan selektivitas reaksi, digunakan katalis heterogen seperti alumina (Al_2O_3), zeolit, atau katalis berbasis logam seperti CuO-ZnO. Katalis ini berperan penting dalam mempercepat reaksi antara metanol dan *ammonia* serta mengarahkan reaksi agar lebih selektif terhadap pembentukan monoetanolamin (MEA) sebagai produk utama. Rasio molar antara *ammonia* dan metanol yang umum digunakan dalam proses ini adalah antara 3:1 hingga 5:1. Rasio ini bertujuan untuk menekan pembentukan produk lanjutan seperti dietanolamin (DEA) dan trietanolamin (TEA), yang terbentuk melalui reaksi lanjut dari MEA dengan metanol. Meskipun demikian, dalam praktiknya produk samping tersebut tetap terbentuk dalam jumlah tertentu. Konversi metanol dalam sistem ini cukup tinggi, yaitu dapat mencapai lebih dari 80%, tergantung pada kondisi operasi dan efisiensi pemisahan produk.

Setelah reaksi berlangsung di dalam reaktor, campuran gas hasil reaksi dialirkan menuju unit pemisahan awal. Separator pertama digunakan untuk memisahkan *ammonia* yang tidak bereaksi, yang kemudian didaur ulang ke dalam reaktor untuk meningkatkan efisiensi pemakaian bahan baku. Campuran yang tersisa, yang mengandung MEA, DEA, TEA, serta sisa metanol dan senyawa pengotor lainnya, kemudian dialirkan ke separator kedua. Unit ini berfungsi untuk menghilangkan sisa metanol dan pengotor lain yang tidak diinginkan sebelum campuran etanolamin dimurnikan lebih lanjut. Proses pemurnian dilakukan melalui tahap distilasi bertingkat, dengan prinsip pemisahan berdasarkan titik didih masing-masing senyawa. Pada tahap pertama, monoetanolamin dipisahkan sebagai produk utama dengan kemurnian tinggi. Campuran sisanya kemudian dimasukkan ke dalam menara distilasi kedua untuk memisahkan dietanolamin, dan tahap terakhir

digunakan untuk memisahkan trietanolamin. Residu yang tersisa kemudian dikeluarkan dari sistem. Adapun *Flowsheet* dasar produksi monoetanolamin dengan proses aminasi etanol dapat dilihat pada Gambar 1.5.



Gambar 1.5 *Flowsheet* dasar produksi monoetanolamin dengan proses aminasi etanol (*Chemical and Process Design Handbook*, 2002)

1.7.3 Perbandingan Proses

Proses pembuatan monoetanolamin secara umum terdapat dua proses yaitu amonolisis etilen oksida dan aminase methanol katalitik. Untuk menentukan proses produksi yang paling sesuai, diperlukan perbandingan antara berbagai metode yang tersedia. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui keunggulan dan kelemahan masing-masing proses. Adapun perbandingan setiap proses dapat dilihat pada Tabel 1.9.

Tabel 1.9 Perbandingan proses pembuatan monoetanolamin

Aspek	Amonolisis Etilen Oksida	Aminasi Metanol Katalitik
Bahan Baku	Etilen Oksida (EO) + <i>Ammonia</i> (NH ₃)	Metanol (CH ₃ OH) + <i>Ammonia</i> (NH ₃)
Katalis	Silika Alumina	Alumina, Zeolit, CuO-ZnO
Reaktor	<i>Fixed-bed multitube</i>	<i>Fixed bed tubular/fluiized bed</i>
Fase Reaksi	Gas-gas	Gas - gas
Tekanan	1 - 3 atm	25 atm

Suhu	50 - 60°C	220 - 400°C
Produk Utama	Monoetanolamin (MEA)	Monoetanolamin (MEA)
Produk Samping	- Dietanolamin (DEA) - Trietanolamin (TEA)	- Dietanolamin (DEA) - Trietanolamin (TEA)
Perbandingan Reaktan	EO : NH ₃ = 1:1 hingga 3:1	NH ₃ :Metanol = 3:1 hingga 5:1
Konversi	85 - 98%	80%
Kemurnian MEA	99,8%	95%
Energi yang Diperlukan	Lebih rendah (suhu lebih rendah)	Lebih tinggi (suhu lebih tinggi)
Aplikasi Industri	Lebih umum digunakan karena hasil lebih optimal	Kurang umum untuk MEA, lebih sering digunakan untuk metilamina

Setelah dilakukan analisis terhadap kedua proses, maka prarancangan pabrik monoetanolamin dipilih proses amonolisis etilen oksida sebagai metode yang lebih unggul berdasarkan beberapa aspek teknis dan ekonomi. Keunggulan utama dari proses amonolisis etilen oksida adalah kemampuannya menghasilkan monoetanolamin dengan kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses aminasi metanol. Proses ini menggunakan etilen oksida yang direaksikan dengan *ammonia* dalam reaktor *Fixed-bed multitube* atau reaktor *bubble column* pada tekanan yang relatif rendah, berkisar antara 1-3 atm, dan suhu operasi yaitu sekitar 50–60°C. Reaksi ini dapat dilakukan dengan atau tanpa katalis, namun penggunaan katalis alumina-silika meningkatkan selektivitas terhadap produk yang diinginkan serta mengurangi pembentukan produk samping seperti dietanolamin dan trietanolamin. Beberapa alasan utama pemilihan proses ini dibandingkan dengan proses aminasi metanol adalah sebagai berikut:

1. Kemurnian produk monoetanolamin lebih tinggi yaitu 99,8%
2. Tekanan operasi relatif rendah, sehingga peralatan yang digunakan tidak memerlukan desain tekanan tinggi.

3. Konversi yang tinggi yaitu 85-98%, menghasilkan proses yang lebih ekonomis dan efisien.
4. Efisiensi energi karena kondisi operasi yang digunakan rendah.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, proses amonolisis etilen oksida dipilih sebagai metode yang lebih optimal dalam produksi monoetanolamin, karena memberikan hasil yang lebih murni, efisien, serta lebih ekonomis dalam jangka panjang dibandingkan dengan proses aminasi metanol.

1.8 Uraian Proses

1.8.1 Persiapan Bahan Baku

Bahan baku etilen oksida disimpan dalam tangki penyimpanan etilen oksida (V-102) yang berbentuk *spherical tank* pada fase cair dengan suhu 25°C dan tekanan 2 atm. Sebelum masuk reaktor bahan baku etilen oksida dialirkan dengan menggunakan pompa (P-102) berjenis sentrifugal dengan tekanan 3 atm menuju *Heat exchanger I* (E-102) yang berbentuk *double pipe* untuk dipanaskan terlebih dahulu menjadi 52°C. Karena kondisi operasi Reaktor yang berjenis *Fixed Bed Multitube* Reaktor (R-201) bekerja pada suhu (52-60)°C tekanan 3 atm.

Bahan baku *ammonia* disimpan dalam tangki (V-101) penyimpanan *ammonia* yang berbentuk *spherical tank* pada fase cair dengan suhu -18,25°C tekanan 2 atm. Sebelum masuk reaktor bahan baku *ammonia* dialirkan dengan menggunakan pompa (P-101) sentrifugal dengan tekanan 3 atm. Kemudian masuk ke dalam *heat exchanger* (E-101) yang berbentuk *doubel pipe* untuk dipanaskan terlebih dahulu menjadi 52°C. Karena kondisi operasi Reaktor yang berjenis *Fixed Bed Multitube*. Reaktor bekerja pada suhu (52-60)°C tekanan 3 atm.

1.8.2 Tahap Pembentukan Bahan Baku menjadi Produk

Setelah masuk dalam reaktor (R-201), etilen oksida dan *ammonia* terjadi reaksi pada fase gas-gas pada suhu (52-60)°C dan tekanan 3 atm. Reaksi bersifat eksotermis dan *irreversibel* maka dari itu digunakan jenis reaktor alir pipa berjenis *fixed bed reactor* (PFR). Produk keluar reaktor dengan suhu 60°C. Karena kondisi operasi Reaktor PFR bekerja pada suhu (52-60)°C dengan tekanan 3 atm dan kondisi *overall* konversi produk mencapai 98%. Produk keluar reaktor berupa

cairan (campuran monoetanolamin dan *ammonia*) dan uap sisa bahan baku (*ammonia*) sisa reaksi dengan suhu 60°C tekanan 3 atm. Sebelum masuk ke menara distilasi, campuran tersebut akan dipisahkan antara bahan baku dengan produknya. Setelah campuran keluar dari reaktor, campuran akan dipanaskan menggunakan *Heater* (E-201). Suhu keluaran reaktor yang awalnya 60°C akan dinaikkan suhunya menjadi 100°C.

1.8.3 Pemisahan dan Permurnian Produk

Tahap awal pemurnian, produk dialirkan menuju menuju destilasi (D-301) untuk ditingkatkan konsentrasinya menjadi 99%. Distilasi akan memisahkan *ammonia* dan monoetanolamin. Gas *ammonia* akan keluar dari top destilasi dan produk monoetanolamin akan keluar dari *bottom* destilasi. Kemudian produk monoetanolamin akan di *treatment* untuk dimasukkan ke dalam tangki penyimpanan bahan baku (T-301) dengan kondisi operasi 1 atm dan suhu 30°C. *Ammonia* sisa dari hasil pemisahan distilasi, akan dikembalikan ke *mixer* untuk dicampurkan dengan bahan baku sebelum masuk kembali ke reaktor.

1.9 Pemilihan Lokasi Pabrik

Dalam perencanaan suatu pabrik, penentuan lokasi suatu pabrik merupakan salah satu faktor utama dalam menentukan keberhasilan suatu pabrik. Oleh karena itu, pemilihan dan penentuan lokasi pabrik yang tepat merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam suatu perencanaan pabrik. Dalam pendirian suatu pabrik terdapat dua aspek yang perlu diperhatikan yaitu *raw material oriented* dan *market oriented*. Dalam pemilihan lokasi pabrik ini *raw material* lebih diprioritaskan, ini dimaksudkan agar *supply* bahan baku lebih mudah. Lokasi pendirian pabrik monoetanolamin dipilih di daerah Citangkil, Cilegon, Provinsi Banten. Adapun faktor-faktor yang harus dipertimbangkan sebagai berikut:

1.9.1 Faktor Primer

1. Bahan Baku

Bahan baku utama dalam produksi Monoetanolamin adalah *Ammonia* dan Etilen Oksida. Keberadaan sumber bahan baku yang dekat dengan lokasi

pabrik sangat penting untuk mengurangi biaya transportasi dan memastikan ketersediaan bahan baku yang stabil. Etilen Oksida diperoleh dari PT Polychem Indonesia yang berlokasi di Merak, Banten. Kedekatan lokasi ini memungkinkan pengiriman bahan baku yang lebih cepat dan efisien. Sementara itu, *ammonia* diperoleh dari PT Pupuk Kujang yang berlokasi di Cikampek, Jawa Barat. Untuk mengatasi jarak yang jauh, lokasi pabrik yang dekat dengan Pelabuhan Merak menjadi keuntungan tersendiri, karena memudahkan pengiriman bahan baku dari luar pulau dengan jalur laut. Selain itu, ketersediaan air sebagai bahan pendukung dalam proses produksi juga menjadi pertimbangan. Lokasi yang dipilih memiliki akses ke sumber air yang cukup untuk kebutuhan utilitas dan proses industri.

2. Pemasaran Produk

Pabrik Monoetanolamin ini didirikan untuk memenuhi kebutuhan pasar dalam negeri serta sebagian akan diekspor sebagian ke negara-negara tetangga. Sebagian besar konsumen utama MEA, seperti industri kimia dan manufaktur, berlokasi di Pulau Jawa. Dengan akses ke jalur laut dan darat, distribusi produk di Pulau Jawa menjadi lebih efisien melalui transportasi kapal dan truk. Selain itu, lokasi pabrik yang berada di dekat pelabuhan mempermudah pengesporan produk.

3. Transportasi

Sarana transportasi memiliki peran penting dalam distribusi bahan baku maupun hasil produksi. Lokasi pabrik di Citangkil, Cilegon, Provinsi Banten dipilih karena memiliki infrastruktur transportasi yang baik. Selain itu, lokasinya dekat dengan Selat Sunda, memberikan akses transportasi laut yang baik, serta terhubung dengan jalan tol Trans-Jawa dan jalur kereta api, yang mempermudah distribusi bahan baku maupun produk untuk di ekspor.

4. Penyedia Utilitas

Keberadaan sumber daya utilitas seperti air, listrik, dan bahan bakar merupakan faktor penting dalam pemilihan lokasi pabrik. Ketersediaan air untuk utilitas dan proses produksi dapat diperoleh dari sungai Krenceng yang terletak sekitar 4,74 km dari kawasan pabrik, Debit air Sungai

Krenceng yang dipompa ke Instalasi Pengolahan Air (WTP) Krenceng berkisar 2.000 L/dtk. Sungai ini menerima pasokan air dari Sungai Cidanau. Kebutuhan listrik akan dipenuhi melalui *boiler* yang dibangun dalam area pabrik untuk menghasilkan tenaga listrik yang cukup bagi seluruh proses produksi. Sementara itu, bahan bakar seperti gas alam dapat diperoleh dari sumber daya yang tersedia di sekitar Banten dan Cilegon yang merupakan kawasan industri.

5. Tenaga Kerja

Tenaga kerja merupakan faktor penting dalam kelangsungan operasional pabrik. Lokasi pabrik dipilih dengan mempertimbangkan ketersediaan tenaga kerja yang memadai. Tenaga kerja profesional dan non-profesional dapat diperoleh dari wilayah Banten, yang memiliki jumlah penduduk yang cukup banyak. Selain itu, keahlian tenaga kerja dapat ditingkatkan melalui pelatihan dan kerja sama dengan institusi pendidikan serta industri lokal.

1.9.2 Faktor Sekunder

1. Potensi Perluasan Pabrik

Citangkil memiliki lahan industri yang cukup luas, memungkinkan perusahaan untuk melakukan ekspansi seiring dengan meningkatnya permintaan produk. Kawasan ini telah dirancang untuk industri berat, sehingga ekspansi dapat dilakukan tanpa kendala perizinan atau konflik penggunaan lahan. Selain itu, infrastruktur di sekitar kawasan ini terus dikembangkan oleh pemerintah dan pihak swasta untuk mendukung pertumbuhan industri.

2. Karakteristik Lokasi

Citangkil memiliki kondisi geografis yang mendukung kegiatan industri, dengan iklim tropis yang stabil dan risiko bencana alam yang relatif rendah. Kondisi iklim dan lingkungan juga menjadi faktor yang harus diperhitungkan dalam pemilihan lokasi pabrik. Kondisi iklim di Banten relatif stabil sepanjang tahun, dengan suhu berkisar antara 25 – 35°C, yang sesuai untuk operasional pabrik tanpa gangguan cuaca ekstrem. Aspek lingkungan juga diperhatikan untuk memastikan bahwa pabrik tidak

memberikan dampak negatif yang signifikan terhadap ekosistem sekitar. Dengan berada di kawasan industri, pengelolaan dampak lingkungan dapat dilakukan dengan lebih baik, termasuk melalui penerapan standar emisi, pengolahan limbah, serta program tanggung jawab sosial perusahaan.

3. Dukungan Kebijakan Pemerintah

Pemerintah memberikan berbagai insentif bagi industri di Citangkil, termasuk kemudahan dalam perizinan dan regulasi. Selain itu, pendirian pabrik di kawasan ini dapat membantu pemerataan kesempatan kerja, meningkatkan kesejahteraan masyarakat, serta mendukung pembangunan ekonomi daerah. Pabrik yang beroperasi di Citangkil juga diwajibkan untuk menerapkan sistem pengelolaan limbah yang ramah lingkungan guna menjaga keseimbangan ekosistem.

4. Aspek Kemasyarakatan yang Mendukung

Masyarakat di Citangkil telah terbiasa dengan keberadaan industri dan menunjukkan sikap yang akomodatif terhadap perkembangan sektor manufaktur. Selain itu, kawasan ini memiliki ketersediaan tenaga kerja yang cukup, baik dari Cilegon maupun daerah sekitarnya seperti Serang dan Tangerang. Keberadaan fasilitas umum yang memadai, seperti rumah sakit, pusat perbelanjaan, sekolah, serta sarana transportasi yang baik, menjadikan Citangkil sebagai tempat yang nyaman bagi pekerja industri untuk tinggal dan bekerja.

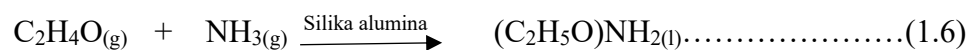
Berdasarkan berbagai pertimbangan di atas, lokasi pabrik Monoetanolamin yang dipilih di daerah Citangkil, Cilegon, Provinsi Banten merupakan pilihan yang strategis. Lokasi ini menawarkan kemudahan akses terhadap bahan baku, pasar, transportasi, utilitas, serta tenaga kerja yang dibutuhkan untuk kelancaran operasional pabrik. Selain itu, faktor iklim yang stabil dan kedekatan dengan kawasan industri mendukung keberlanjutan produksi dengan dampak lingkungan yang terkelola dengan baik. Adapun peta lokasi rencana pendirian pabrik Monoetanolamin, yaitu sebagai berikut dapat dilihat pada Gambar 1.6.



Gambar 1.1 Lokasi Pembangunan Pabrik Monoetanolamin

1.10 Analisa Ekonomi Awal

Kapasitas pabrik merupakan faktor yang sangat penting dalam pendirian pabrik karena akan mempengaruhi perhitungan teknik dan ekonomi. Meskipun secara teori semakin besar kapasitas pabrik kemungkinan keuntungan yang diperoleh akan semakin besar, tetapi dalam penentuan kapasitas perlu juga dipertimbangkan faktor lain yaitu analisa ekonomi awal.



Adapun analisa ekonomi awal untuk reaksi ammonolisis dengan katalis dapat dilihat pada table 1.10

Tabel 1.10 Analisa Ekonomi Awal

	Bahan Baku		Produk
	Etilen Oksida	<i>Ammonia</i>	Monoetanolamin
Berat Molekul	44,05 g/mol	17,031 g/mol	61,08 g/mol
Harga Per Kg	Rp. 16.845,00	Rp. 7.267,00	Rp. 33.200,00
Kebutuhan	1 mol × 44,05 g/mol = 44,05 gr = 0,044 kg	1 mol × 17,03 g/mol = 17,031 gr = 0,017 kg	1 mol × 61,08 g/mol = 61,08 gr = 0,061 kg
Harga Total	0,044 kg × Rp. 16.845 = Rp. 741,18	0,017 kg × Rp. 7.267 = Rp. 123,53	0,061 kg × Rp. 33.200 = Rp. 2.025,20
Analisa Ekonomi	= Produk – Reaktan = Rp. 2.025,20 - (Rp. 741,18 + Rp. 123,53) = Rp. 2.025,20 - Rp. 864,71 = Rp. 1.160,49/kg		

Berdasarkan analisa ekonomi awal maka persentase keuntungan diperoleh berikut:

$$\begin{aligned}
 \% \text{Keuntungan} &= \frac{\text{Rp. 1.160,49/kg}}{\text{Rp. 864,71}} \times 100\% \\
 &= 134,21\%
 \end{aligned}$$

Maka persen keuntungan yang didapat dari analisa ekonomi awal sebesar 134,21% dari produk.