



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Pembangunan di Indonesia era globalisasi saat ini berkembang pesat, seiring dengan kebijakan pemerintah yang menitikberatkan pembangunan sektor industri. Pemerintah memberikan angin segar terhadap pertumbuhan industri, khususnya pada industri kimia. Pembangunan industri kimia ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri, dan dapat membuka lapangan pekerjaan baru.

Etanolamin merupakan senyawa organik dari golongan amina primer (karena terdapat gugus amino) dan merupakan golongan alkohol primer (adanya gugus hidroksil). Dengan rumus molekul  $C_2H_7NO$ , etanolamin mempunyai sifat berbentuk cairan kental tidak berwarna, mudah terbakar, serta memiliki bau seperti amoniak.

Etanolamin juga disebut 2-aminoetanol atau monoetanolamin (sering disingkat dengan ETA atau MEA) diproduksi dengan mereaksikan etilen oksida dengan larutan amoniak dimana reaksi ini juga memproduksi dietanolamin serta trietanolamin. Etanolamin juga memiliki peranan penting dalam kebutuhan rumah tangga maupun kebutuhan industri, antara lain sebagai bahan dalam produksi surfaktan seperti detergen, bahan baku tekstil, bahan kimia kulit, dan *emulsifier*. Etanolamin juga digunakan dalam pemurnian gas dan sebagai bahan campuran dalam pembuatan semen.

Dari kegunaan tersebut, etanolamin memiliki peranan penting dalam memenuhi kebutuhan negeri. Sampai saat ini etanolamin masih didatangkan dari luar negeri. Oleh karena itu, dengan mempertimbangkan kebutuhan dalam negeri yang meningkat, diharapkan pendirian pabrik etanolamin ini selain dapat memenuhi kebutuhan negeri juga dapat memberikan keuntungan-keuntungan sebagai berikut



- a. Menghemat sumber devisa negara  
Pendirian pabrik ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan etanolamin negara sehingga ketergantungan untuk impor terhadap etanolamin dapat dikurangi.
- b. Menggunakan bahan baku amoniak dan etilen oksida yang mudah diperoleh di dalam negeri.
- c. Membuka lapangan kerja baru dan pemerataan perekonomian.

## **1.2 Penentuan Kapasitas Rancangan Pabrik**

Ada beberapa pertimbangan dalam pemilihan kapasitas pabrik etanolamin. Penentuan kapasitas pabrik etanolamin dengan mempertimbangkan beberapa hal berikut:

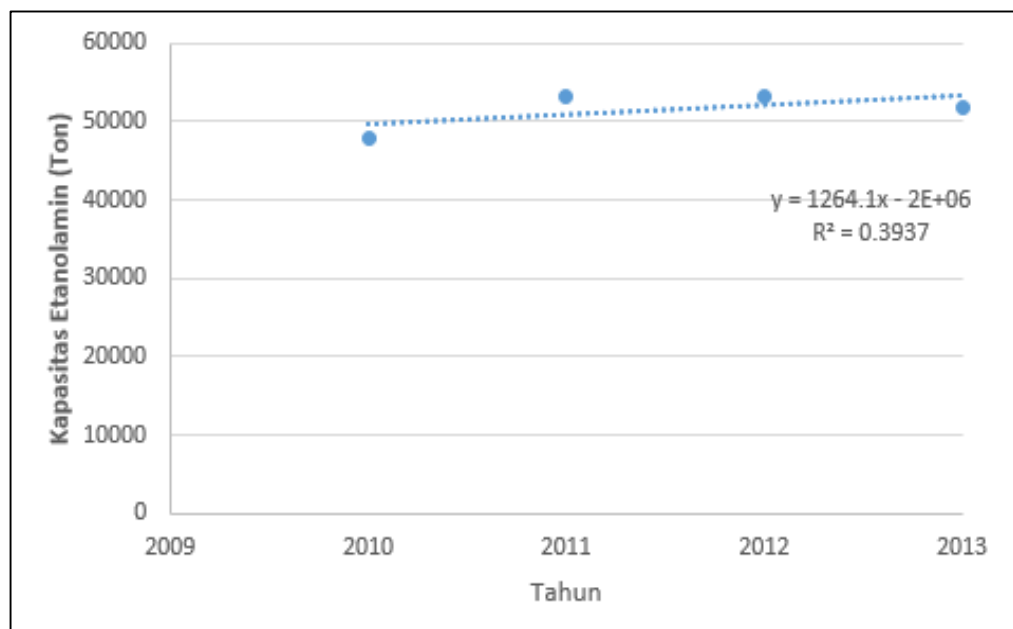
### **1.2.1 Kebutuhan produk di Indonesia**

Kebutuhan akan etanolamin di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan. Hal ini menunjukkan pesatnya perkembangan industri kimia di Indonesia yang menggunakan bahan baku etanolamin. Data statistik kenaikan permintaan etanolamin dari luar negeri yang ditunjukkan dalam tabel 1.1 berikut :



**Tabel 1.1 Data Statistik Impor Etanolamin di Indonesia (BPS, 2014)**

Tahun	Kebutuhan Etanolamin		
	Produk	Ton	Value US \$
2010	MEA	16604	2.487.828
	DEA	23616	3.346.423
	TEA	7499	1.304.991
2011	MEA	11756	2.026.902
	DEA	26831	4.989.069
	TEA	14566	2.755.219
2012	MEA	13351	2.130.326
	DEA	24867	3.445.678
	TEA	15046	3.767.267
2013	MEA	12214	2.373.386
	DEA	21382	2.158.226
	TEA	18300	3.875.506



**Gambar 1.1 Grafik Kapasitas Pabrik Etanolamin Di Dunia**



Dari gambar 1.1 diperoleh regresi linier untuk mengetahui proyeksi kebutuhan dari etanolamin di Indonesia pada tahun tertentu, yaitu:

$$y = 1264,1x - 2.10^6$$

Dimana,  $x$  adalah tahun sedangkan  $y$  adalah jumlah impor etanolamin. Maka dari persamaan tersebut kebutuhan impor etanolamin pada tahun 2020 sebesar 62.249 ton/tahun.

### 1.2.2 Data kapasitas pabrik etanolamin yang telah berdiri

**Tabel 1.2 Data Pabrik Etanolamin di Dunia (Dutia, 2004)**

No.	Manufaktur	Kapasitas (Ton/Tahun)	Negara
1	Ineos Oksida Co. Ltd	80.000	Belgia
2	Azko Nobel Co. Ltd	65.000	Swedia
3	BP Co. Ltd	53.000	Prancis
4	Jiaying Jinyan Chemical Co. Ltd	50.000	Republik Rakyat Tiongkok
5	Sason Chemical.Co. Ltd	30.000	Jerman

### 1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang dibutuhkan dalam pembangunan pabrik ini yaitu etilen oksida dan amoniak yang tersedia dalam negeri. Untuk etilen oksida berasal dari PT Polychem Indonesia, sedangkan amoniak berasal dari PT Pupuk Kujang.

## 1.3 Penentuan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi suatu pabrik sangat penting dalam perancangan pabrik karena hal ini berhubungan langsung dari nilai ekonomis pabrik yang akan dibangun. Pabrik etanolamin ini direncanakan akan dibangun di daerah Cilegon, Banten. Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan untuk



menentukan lokasi pabrik yang dirancang secara teknis dan ekonomis menguntungkan. Adapun faktor-faktor yang harus dipertimbangkan:

### 1.3.1 Faktor Primer

#### a. Penyediaan bahan baku

Kriteria pemilihan lokasi didasarkan pada kemudahan dalam mendapatkan bahan baku. Karena pabrik ini menggunakan bahan baku etilen oksida dari PT Polychem Indonesia Tbk. Serang, Banten dan Amoniak dari PT Pupuk Kujang, Cikampek, Jawa Barat, maka lokasi yang ideal adalah di daerah Cilegon, Banten, sebab akan mudah dalam mendistribusikan bahan baku serta dapat menghemat biaya distribusi bahan baku.

#### b. Pemasaran produk

Faktor lain yang perlu diperhatikan adalah area pemasaran yang membutuhkan etanolamin dan jumlah kebutuhannya. Daerah Cilegon, Banten merupakan daerah industri kimia yang berpotensi sebagai konsumen, terutama pada industri atau pabrik yang menggunakan bahan baku etanolamin.

#### c. Sarana transportasi

Sarana dan prasarana transportasi sangat diperlukan untuk proses penyediaan bahan baku dan pemasaran produk. Dengan adanya fasilitas jalan raya dan pelabuhan laut yang memadai, maka pemilihan lokasi di Cilegon sangat tepat.

#### d. Tenaga kerja

Tersedianya tenaga kerja yang terampil mutlak diperlukan untuk menjalankan mesin-mesin produksi. Tenaga kerja dapat direkrut dari daerah Jawa Barat, Jawa tengah, dan sekitarnya.

#### e. Penyediaan utilitas

Perlu diperhatikan sarana-sarana pendukung seperti tersedianya air, listrik, dan sarana lainnya sehingga proses produksi dapat berjalan dengan baik. Sebagai suatu kawasan industri yang telah direncanakan



dengan baik dan tempat industri berskala besar, Jawa Barat telah mempunyai sarana-sarana pendukung yang memadai. Cilegon juga termasuk dalam kawasan industri yang telah ditetapkan pemerintah, dan untuk memenuhi kebutuhan utilitas pabrik seperti air dapat diperoleh dari sungai Cidanau.

### 1.3.2 Faktor Sekunder

#### a. Perluasan areal pabrik

Cilegon memiliki kemungkinan untuk perluasan pabrik karena masih mempunyai areal yang cukup luas. Hal ini perlu diperhatikan karena dengan semakin meningkatnya permintaan produk akan menuntut adanya perluasan pabrik.

#### b. Karakteristik lokasi

Karakteristik lokasi menyangkut iklim di daerah tersebut. Kemungkinan terjadinya banjir, serta kondisi sosial masyarakatnya. Dalam hal ini, Cilegon sebagai kawasan industri adalah daerah yang telah ditetapkan menjadi daerah industri sehingga pemerintah memberikan kelonggaran hukum untuk mendirikan suatu pabrik di daerah tersebut.

#### c. Kebijakan pemerintah

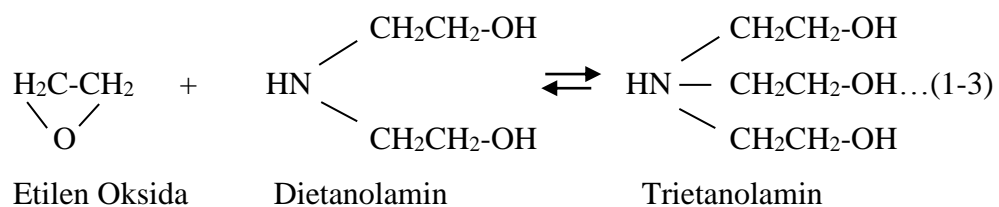
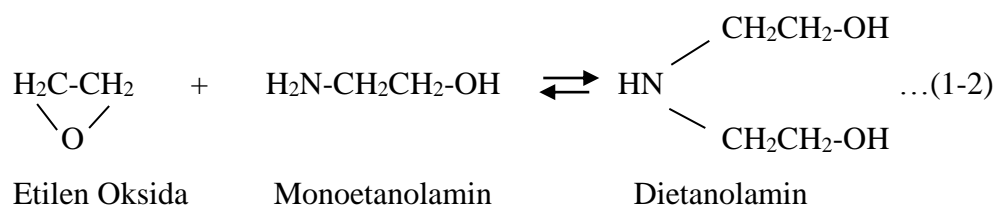
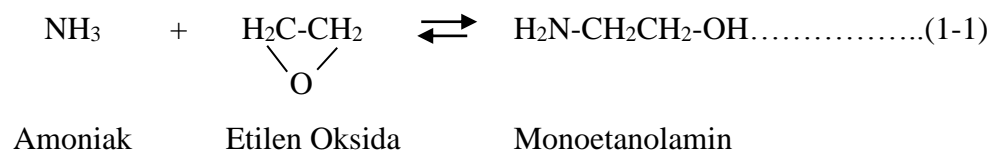
Pendirian pabrik perlu memperhatikan beberapa faktor kepentingan yang terkait didalamnya, kebijakan pengembangan industri, dan hubungannya dengan pemerataan kesempatan kerja, kesejahteraan, dan hasil-hasil pembangunan. Di samping itu, pabrik yang didirikan juga tidak boleh mengganggu atau merusak lingkungan sekitarnya.

Dari pertimbangan faktor-faktor diatas, maka dipilih di daerah Cilegon, Banten sebagai lokasi pendirian pabrik etanolamin.



#### 1.4 Tinjauan Pustaka

Etanolamin merupakan alkanolamine yang paling penting. Ditemukan pertama kali oleh Wurtz pada tahun 1860 dengan jalan memanaskan *ethylene chlorohydrin* dengan *ammonia aqeous* pada tabung tertutup. Monoetanolamin, dietanolamin, dan trietanolamin dipisahkan pertama kali oleh Knorr pada tahun 1897 dengan menggunakan distilasi fraksional. Trietanolamin pertama dikomersialkan pada tahun 1982, monoetanolamin juga dietanolamin pada tahun 1931. Etanolamin diproduksi secara besar-besaran dengan mereaksikan etilen Oksida dan amoniak. Perbandingan relatif monoetanolamin, dietanolamin, dan trietanolamin di dalam hasil reaksi tergantung dari perbandingan etilen oksida dan amoniak yang digunakan. Produk reaksi dipisahkan dengan menggunakan destilasi fraksional. Reaksi yang terjadi adalah





### 1.4.1 Kegunaan Produk

Etanolamin adalah bahan yang banyak digunakan sebagai bahan baku ataupun bahan pembantu dalam berbagai jenis industri. Adapun kegunaan etanolamin sebagai berikut (Kirk dan Othmer, 1982):

- a. Sebagai bahan campuran pembuatan semen, yaitu sebagai bahan untuk memperlambat pengerasan pada semen.
- b. Sebagai bahan intermediet dalam produksi surfaktan yang secara komersil seperti *detergent*, bahan baku tekstil dan emulsifier.
- c. Sebagai bahan untuk pemurnian gas.
- d. Sebagai bahan pencegah korosi.
- e. Sebagai pelumas dan stabiliser dalam *drilling muds*. Reaksi yang terjadi antara etanolamin dan asam lemak digunakan sebagai *emulsion stabilizer, chemical washes*.

### 1.4.2 Sifat Fisik dan Sifat Kimia Bahan Baku dan Produk

#### 1.4.2.1 Bahan baku (Kirk dan Othmer, 1982)

- a. Amoniak
 

Rumus molekul	: $\text{NH}_3$
Berat molekul (g/mol)	: 17,103
Kelarutan	: mudah larut dalam air
Titik didih (1 atm, °C)	: - 33,35
Titik lebur (1 atm, °C)	: - 77,70
Temperatur kritis (°C)	: 132,4
Volume kritis ( $\text{cm}^3/\text{mol}$ )	: 167,1
Tekanan kritis (atm)	: 11,2
Densitas cair (30°C), ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	: 0,889
Kemurnian (% berat)	: 99,5
Impuritas (% berat) $\text{H}_2\text{O}$	: max 0,5
<i>Heat of vaporization</i> (kJ/kg)	: 1.370,87 (pada titik didih)
- b. Etilen Oksida
 

Rumus molekul	: $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$
---------------	----------------------------------





Berat molekul (g/gmol)	: 44,053
Kelarutan	: mudah larut dalam air
Titik didih (1 atm, °C)	: 10,4
Titik beku (1 atm, °C)	: - 112,5
Temperatur kritis (°C)	: 196
Volume kritis (ft <sup>3</sup> /lbmol)	: 2,2474
Tekanan kritis (bar)	: 71,9
Densitas cair (20°C),( g/mL)	: 0,8697
Viskositas (Cp)	: 0,28
<i>Heat of vaporization</i> (kJ/kg)	: 581,268 (pada titik didih)

#### 1.4.2.2 Produk (Kirk dan Othmer, 1982)

##### a. Monoetanolamin

Rumus molekul	: (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O)NH <sub>2</sub>
Berat molekul (g/gmol)	: 61,084
Fase	: cair
Warna	: jernih, tak berwarna
Titik didih (1 atm, °C)	: 170,6
Titik lebur (1 atm, °C)	: 10,5
Temperatur kritis (°C)	: 350
Volume kritis (ft <sup>3</sup> /lbmol )	: 2,2474
Tekanan kritis (psia)	: 868
Densitas cair (20°C), (g/cm <sup>3</sup> )	: 0,939
Viskositas (20°C ), (Cp)	: 13,0
<i>Heat of vaporization</i> (kJ/kg)	: 581,268 (pada titik didih)

##### b. Dietanolamin

Rumus molekul	: (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O) <sub>2</sub> NH
Berat molekul (g/gmol)	: 105,14
Fase	: cair
Warna	: jernih, tak berwarna
Titik didih (1 atm, °C)	: 269



Titik lebur (1 atm, °C)	: 28
Temperatur kritis (°C)	: 463,45
Volume kritis (ft <sup>3</sup> /lbmol )	: 5,59
Tekanan kritis (bar)	: 42,7
Densitas cair (20°C), (g/cm <sup>3</sup> )	: 0,883-0,889
Viskositas (20°C ), (Cp)	: 19,7

c. Trietanolamin

Rumus molekul	: (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O) <sub>3</sub> N
Berat molekul (g/gmol)	: 149,19
Fase	: cair
Warna	: jernih, tak berwarna
Titik didih (1 atm, °C)	: 336,1
Titik lebur (1 atm, °C)	: 21,2
Temperatur kritis (°C)	: 498,95
Volume kritis (ft <sup>3</sup> /lbmol )	: 0,473
Tekanan kritis (bar)	: 27,0713

### 1.4.3 Tinjauan Proses secara Umum

Etilen oksida pertama kali ditemukan oleh ahli kimia dari Jerman, Aldolphe Wurtz pada tahun 1958 dengan mereaksikan *2-chloro etanolamin* dengan larutan *potassium hidroksida* (proses khlorohidrin). Wurtz juga mencoba cara oksidasi langsung tetapi tidak berhasil. Sejak permulaan tahun 1940 proses oksidasi langsung (*direct process*) telah dapat dilakukan, setelah pada tahun 1931 Le Fort berhasil menemukan proses oksidasi langsung etilen menjadi etilen oksida dengan menggunakan perak sebagai katalis. Etilen oksida merupakan gas yang tidak berwarna pada suhu kamar yang menyembur temperatur rendah sebagai cairan yang dapat larut sempurna dalam air, alkohol, eter, dan beberapa *solvent organic* (pelarut organik). Etilen oksida merupakan bahan kimia (*chemical intermediate*) bagi banyak sekali bahan kimia.



Amoniak dengan rumus  $\text{NH}_3$  merupakan gas tidak berwarna pada tekanan atmosfer dan lebih ringan dari udara serta memiliki bau khas yang tajam. Amoniak ditemukan oleh Berthollet & Hanry komposisi amoniak terdiri dari 3 bagian hidrogen dan bagian nitrogen. Sintesa amoniak secara langsung dari unsur-unsurnya pertama kali disempurnakan secara komersial pada tahun yang sama. Amerika Serikat memproduksi amoniak dengan sintesa langsung dari nitrogen dan oksida. Amoniak banyak digunakan dalam industri seperti di industri bahan peledak, industri *textile*, industri pupuk, industri farmasi, industri bahan bakar kimia, kimia organik dan lain-lain. Dikenal ada 2 jenis amoniak yaitu amoniak *liquor* (30% amoniak) dan amoniak *anhydrous* (dipakai dalam 2 *grade*)

1. *Commercial grade*, dengan kandungan amoniak tidak boleh kurang dari 99,5%.
2. *Refrigeration grade*, dengan kandungan amoniak tidak boleh kurang dari 99,95%.

Etilen oksida dan amoniak diumpangkan ke reaktor alir pipa yang dioperasikan pada kondisi yang sesuai dengan distribusi produk yang diinginkan. Reaksi ammonolisa antara etilen oksida dan amoniak ini merupakan reaksi eksotermis.

Adapun pemodelan matematis reaktor alir pipa sebagai berikut:

1. Neraca massa elemen volume tube

$$\text{Elemen volume pada tube} = \frac{\pi}{4} \cdot (IDT)^2 \Delta Z$$

Rate input – Rate output – Rate reaction = Rate Accumulation

$$F_{A/z} - F_{A/z+\Delta Z} + (-r_A \cdot V) = 0 \dots\dots\dots (1-4)$$

$$F_{A/z} - F_{A/z+\Delta Z} + (-r_A \cdot A \cdot \Delta Z) = 0 \dots\dots\dots (1-5)$$

$$F_{A/z} - F_{A/z+\Delta Z} + (-r_A \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (IDT)^2 \cdot \Delta Z) = 0 \dots\dots\dots (1-6)$$

$$\frac{F_{A/z} - F_{A/z}}{\Delta Z} - r_A \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (IDT)^2 \cdot \Delta Z \dots\dots\dots (1-7)$$

$$\lim_{\Delta Z \rightarrow 0} \frac{F_{A/z} - F_{A/z}}{\Delta Z} - r_A \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (IDT)^2 \cdot \Delta Z \dots\dots\dots (1-8)$$



$$\frac{dF_A}{dz} = -r_A \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (IDT)^2 \cdot \Delta Z \dots\dots\dots (1-9)$$

$$\text{Dengan } F_{AO} = F_{AO}(1 - X) \dots\dots\dots (1-10)$$

$$\frac{dF_A}{dx} = -F_{AO} \dots\dots\dots (1-11)$$

$$dF_A = -F_{AO} dx \dots\dots\dots (1-12)$$

$$\frac{dF_A}{dx} = -F_{AO} \cdot \frac{dx}{dz} \dots\dots\dots (1-13)$$

$$-F_{AO} \cdot \frac{dx}{dz} = -r_A \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (IDT)^2 \cdot \Delta Z \dots\dots\dots (1-14)$$

$$\frac{dx}{dz} = \frac{r_A \cdot \pi \cdot (IDT)^2}{4 \cdot F_{AO}} \dots\dots\dots (1-15)$$

## 2. Neraca panas reaktan pada elemen volume

Asumsi : steady state

*R input – R output + R heat of reaction = R accumulation*

$$H|_Z - \{H|_{Z+\Delta Z} + U_A \cdot \pi \cdot IDT \cdot (T - T_C)\} + F_{AO} \cdot (\Delta H_R) = 0 \dots\dots\dots (1-16)$$

Kedua ruas dibagi  $\Delta Z$  diperoleh :

$$\frac{\Sigma \Delta H|_{Z+\Delta Z} - \Sigma H|_Z}{\Delta Z} = F_{AO} \cdot (-\Delta H_R) \cdot \frac{\Sigma x}{\Sigma z} - U_A \cdot \pi \cdot IDT \cdot (T - T_C) \dots\dots\dots (1-17)$$

Diambil limit  $\Delta Z$  mendekati nol, sehingga :

$$\frac{\Sigma dH}{dz} = F_{AO} \cdot (-\Delta H_R) \cdot \frac{dx}{dz} - U_A \cdot \pi \cdot IDT \cdot (T - T_C) \dots\dots\dots (1-18)$$

$$\Sigma FiCpi \frac{dT}{dz} = F_{AO} \cdot (-\Delta H_R) \cdot \frac{dx}{dz} - U_A \cdot \pi \cdot IDT \cdot (T - T_C) \dots\dots\dots (1-19)$$

$$\frac{dT}{dz} = \frac{F_{AO} \cdot (-\Delta H_R) \cdot \frac{dx}{dz} - U_A \cdot \pi \cdot IDT \cdot (T - T_C)}{\Sigma FiCpi} \dots\dots\dots (1-20)$$

## 3. Neraca panas pendingin pada elemen volume

Asumsi : Steady State

*R input – R output = R accumulation*

$$\{m \cdot Hc|_Z + U_A \cdot \pi \cdot IDT \cdot (T - T_C)\} - (m \cdot Hc|_{Z+\Delta Z}) = 0 \dots\dots\dots (1-21)$$

$$\frac{Hc|_{Z+\Delta Z} - Hc|_Z}{\Delta Z} = \frac{U_A \cdot \pi \cdot IDT \cdot (T - T_C)}{m} \dots\dots\dots (1-22)$$

$$\frac{Hc|_{Z+\Delta Z} - Hc|_Z}{\lim \rightarrow \Delta Z} = \frac{U_A \cdot \pi \cdot IDT \cdot (T - T_C)}{m} \dots\dots\dots (1-23)$$

$$Cpc \frac{dT_C}{dz} = \frac{U_A \cdot \pi \cdot IDT \cdot (T - T_C)}{m} \dots\dots\dots (1-24)$$

$$\frac{dT_C}{dz} = \frac{U_A \cdot \pi \cdot IDT \cdot (T - T_C)}{m \cdot Cpc} \dots\dots\dots (1-25)$$



#### 4. Pressure drop sepanjang reaktor

Menggunakan persamaan Ergun :

$$-\frac{dP}{dL} = \frac{G^2}{D\rho} \times \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon} \times \left[ \frac{150 \times (1-\varepsilon)}{D \rho \frac{G}{\mu}} + 1.75 \right] \dots \dots \dots (1-26)$$

Karena tanpa katalis sehingga :

$$-\frac{dP}{dL} = \frac{G^2}{D\rho} \times \left[ \frac{150}{\frac{G}{\mu}} + 1.75 \right] \dots \dots \dots (1-27)$$

$$-(P_L - P_O) = \frac{G^2}{D\rho} \times \left[ \frac{150}{\frac{G}{\mu}} + 1.75 \right] L \dots \dots \dots (1-28)$$

$$\frac{(P_L - P_O)}{G^2} \times \rho \times \left[ \frac{D}{L} \right] = \left[ \frac{150}{\frac{G}{\mu}} + 1.75 \right] \dots \dots \dots (1-29)$$

$$\frac{dP}{dZ} = - \frac{G^2}{D\rho} \times \left[ \frac{150}{\frac{G}{\mu}} + 1.75 \right] \dots \dots \dots (1-30)$$

Dalam penyusunan model matematis reaktor alir pipa pabrik etanolamin ini digunakan program matlab yang dapat ditunjukkan dalam lampiran.

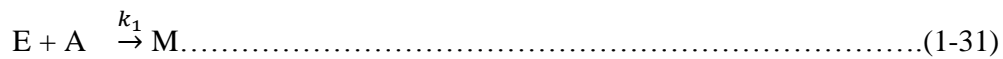
Produk reaktor dialirkan ke kolom  $\text{NH}_3$  untuk memisahkan  $\text{NH}_3$ , yang diambil dari bagian atas kolom untuk direcycle. Hasil bawah berupa air dan larutan *amine* (mono, di, dan tri etanolamin).

Distribusi produk antara *amine* primer dan *amine* sekunder serta *amine* tertier tergantung pada perbandingan  $\text{NH}_3 : \text{CH}_2\text{CH}_2\text{O} = 30 : 1$ , maka akan diperoleh monoetanolamin, dietanolamin dan trietanolamin. Kondisi operasi dalam reaktor dapat dijalankan pada temperatur  $150^\circ\text{C}$ – $275^\circ\text{C}$  dan tekanan 1500 psig. Pada kondisi operasi lain, reaksi dapat dijalankan pada temperatur  $50$ – $100^\circ\text{C}$  dan tekanan 3-20 atm. Pada kondisi operasi rendah ini apabila digunakan perbandingan antara  $\text{NH}_3 : \text{CH}_2\text{CH}_2\text{O} = 10 : 1$  atau dengan perbandingan antara  $\text{NH}_3 : \text{CH}_2\text{CH}_2\text{O} = 1 : 1$ , maka akan diperoleh distribusi produk monoetanolamin 75%, dietanolamin



21%, dan trietanolamin sebesar 4%. Pada proses ini dipilih amoniak *anhydrous commercial grade* (MC.Ketta, 1983).

Kinetika reaksi pembentukan etanolamin merupakan reaksi seri kompleks adalah sebagai berikut



dimana :

E = Etilen oksida

A = Amoniak

M, D, dan T = Monoetanolamin, Dietanolamin, Trietanolamin

Persamaan kecepatan reaksinya :

$$-r_A = -r_E = -\frac{dC_E}{dt} = k_1 C_A C_E \dots\dots\dots(1-34)$$

$$-\frac{dC_M}{dt} = k_1 C_A C_E - k_2 C_E C_M \dots\dots\dots(1-35)$$

$$-\frac{dC_D}{dt} = k_2 C_M C_E - k_3 C_E C_D \dots\dots\dots(1-36)$$

$$-\frac{dC_T}{dt} = k_3 C_E C_D \dots\dots\dots(1-37)$$