

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Saat ini, Indonesia sedang berkembang di berbagai bidang industri. Sektor yang berkembang adalah industri kimia. Namun, dibandingkan ekspor, Indonesia masih mengandalkan impor bahan baku atau kimia dari luar negeri. Isopropanolamin merupakan intermediet turunan dari Monoisopropanolamin (MIPA), Diisopropanolamin (DIPA), dan Triisopropanolamin (TIPA) sebagai bahan utama ataupun bahan pembawa. Ketergantungan impor bahan dapat menyebabkan devisa negara berkurang, sehingga dibutuhkan penanggulangan. Salah satunya yaitu dengan mendirikan pabrik untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri maupun luar negeri.

Monoisopropanolamin (1-amino-2-propanol) merupakan senyawa organik yang mempunyai rumus molekul C_3H_9NO dan biasa juga ditulis dengan MIPA. Monoisopropanolamin berwujud cairan kental, dengan bau yang khas mirip amonia, beracun, dan mudah terbakar.

Permintaan isopropanolamin di Indonesia membutuhkan impor dari luar negeri, yakni dari China. Disisi lain, Indonesia adalah produsen amonia dengan daya produksi relatif besar. Selain itu, ketersediaan propilen oksida di seluruh dunia memastikan validitas bahan baku untuk produksi isopropanolamin. Akibatnya, memungkinkan pembangunan dan perluasan pabrik isopropanolamin dibuat, didirikan dan berkembang.

Prarancangan pabrik isopropanolamin ini harus dikembangkan dengan tujuan utama untuk memenuhi permintaan isopropanolamin yang terus meningkat di Indonesia. Perancangan pabrik ini juga bertujuan untuk mengurangi impor isopropanolamin dari negara lain. Oleh karena itu, prarancangan pabrik isopropanolamin berpotensi untuk mengantisipasi permintaan domestik dan internasional. Sehingga, sangat tepat untuk mendirikan pabrik isopropanolamin di Indonesia dengan tujuan untuk memenuhi permintaan isopropanolamin di Indonesia, meminimalisir

ketergantungan impor dan menciptakan lowongan pekerjaan baru guna mengurangi tingkat pengangguran di Indonesia.

Isopropanolamin umumnya dimanfaatkan untuk kebutuhan rumah tangga dan industri seperti:

1. Surfaktan

Reaksi suhu tinggi isopropanolamin dengan asam lemak menghasilkan surfaktan nonionik yang berfungsi sebagai penstabil busa, bahan pembersih pada deterjen, larutan pembersih, sampo dan kosmetik.

2. Sabun isopropanolamin terbentuk dari reaksi isopropanolamin dan asam lemak pada suhu kamar. Digunakan dalam kosmetik, tekstil, produk tanaman, deterjen, cairan pengerjaan logam dan obat-obatan.

3. Garam isopropanolamin dan asam anorganik penting juga digunakan sebagai zat antara kimia dalam penghambat korosi, antistatik, pelapis kaca, pelapisan listrik, tinta, pengerjaan logam, dll.

(Othmer,1998)

I.2 Penentuan Kapasitas Pabrik

Faktor yang sangat penting dalam mendirikan pabrik adalah menentukan kapasitas pabrik. Dikarenakan mempengaruhi perhitungan alat dan ekonomi. Dari segi teoritis, semakin tinggi kapasitas pabrik, makin besar keuntungannya, tetapi dalam faktor lain harus diperhitungkan ketika menentukan kapasitas yaitu: kebutuhan dan konsumsi pabrik dan ketersediaan bahan baku.

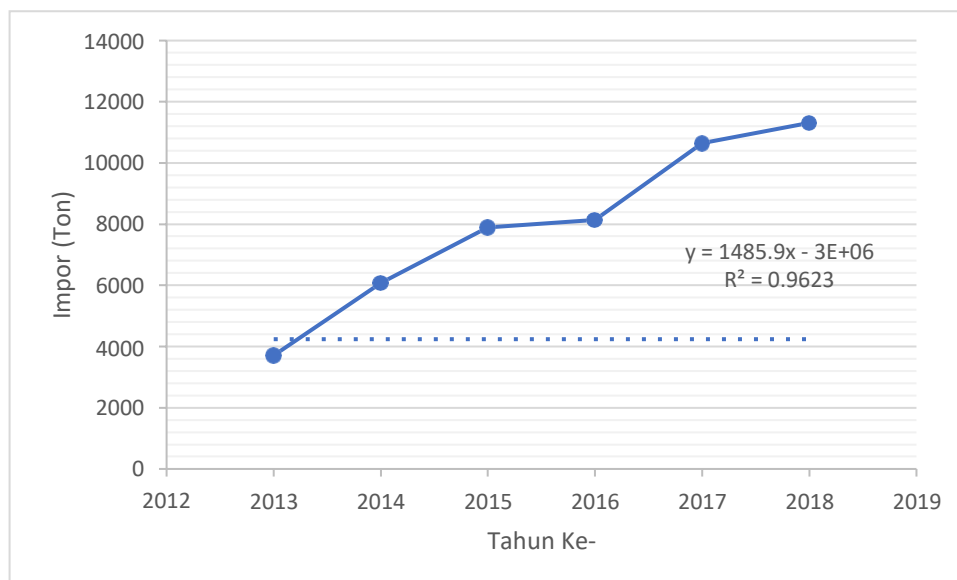
I.2.1 Data Impor Isopropanolamin

Dalam beberapa tahun ini kebutuhan isopropanolamin di Indonesia mengalami peningkatan yang signifikan. Kebutuhan tersebut dapat dilihat pada tabel I.1:

Tabel I.1 Data Kebutuhan Isopropanolamin di Indonesia

No.	Tahun	Impor (ton)
1.	2013	3705,429
2.	2014	6067,559
3.	2015	7880,607
4.	2016	8134,068
5.	2017	10648,916
6.	2018	11307,412

Gambar I.1 Grafik Kebutuhan Isopropanolamin Setiap Tahun



Persamaan linier yang dihasilkan dari regresi linier adalah:

$$y = 1485,9x - 3E+06 \dots \dots \dots (1)$$

Jika pabrik isopropanolamin dibangun pada tahun 2027, perkiraan impor (ton/tahun) = $1485,9 (2027) - 3E+06 = 11.919$ mengakibatkan untuk menutupi permintaan isopropanolamin Indonesia pada tahun ke-20 yaitu tahun 2027. Kapasitas yang dibutuhkan di Indonesia adalah 20.000 ton/tahun. Oleh

karena itu, prarancangan pabrik isopropanolamin dengan kapasitas 20.000 ton/tahun dapat mencukupi permintaan di Indonesia dan selebihnya dapat diekspor.

I.2.2 Kapasitas Pabrik yang Sudah Berdiri

Tabel I.2 Pabrik Isopropanolamin Yang Sudah Berdiri di Dunia

Pabrik	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
Nanjing Hongbaoli Co., Ltd *	China	20.000
Ningbo Petrochemical Economic and Technological Development Zone **	China	20.000
BASF ***	Jerman	15.000
The Dow Chemical Company ****	United States	50.000

Keterangan:

*) hongbali.com **) ningbo.gov.cn ***) BASF,2005 *****) DOW,2005

I.3 Pemilihan Lokasi Pabrik

Dalam menentukan lokasi suatu fasilitas manufaktur, terdapat banyak hal yang dapat menentukan pemenuhan dan kelangsungan kegiatan komersial manufaktur, mulai dari manufaktur hingga distribusi. Oleh karena itu, saat memutuskan tempat fasilitas manufaktur sangat penting untuk mengingat kembali anggaran distribusi dan anggaran produksi minimal, agar fasilitas manufaktur dapat bekerja dengan keuntungan maksimal. Unsur-unsur lain kecuali anggaran yang dipertimbangkan ketika memutuskan tempat fasilitas manufaktur adalah penyediaan bahan mentah, tempat, dan cara transportasi, utilitas, ketersediaan tenaga kerja dan karakteristik tempat. Berdasarkan isu-isu diatas, tempat fasilitas manufaktur isopropanolamin di Palembang, Sumatera Selatan dipilih dengan isu-isu berikut:

1. Pengadaan bahan baku

Bahan baku merupakan unsur yang sangat penting dan harus dipertimbangkan ketika memilih unit produksi. Pabrik isopropanolamin menggunakan amonia dan propilen oksida sebagai bahan baku. Dilihat dari bahan utama yang digunakan, Indonesia mempunyai pabrik yang memproduksi amonia seperti PT. Pupuk Kaltim, PT. Petrokimia Gresik dan PT. Pupuk Sriwijaya dengan kapasitas produksi relatif tinggi. Kebutuhan amonia tersedia dari PT. Pupuk Sriwijaya, Palembang, kapasitas produksi sebanyak 1.323.800 ton/ tahun. Disisi lain, bahan baku propilen oksida diimpor dari singapura oleh Shell Chemical Co.Ltd memproduksi 175.000 ton propilen oksida per tahun. Dari segi bahan baku, pemilihan lokasi di wilayah Palembang, Sumatera Selatan adalah tepat karena dekat dengan sumber bahan baku.

2. Lokasi dan Sarana Transportasi

Lokasi pabrik yang dekat dengan produsen bahan baku isopropanolamin yaitu amonia, memudahkan pengadaan bahan baku propilen oksida yang didatangkan dari Singapura. Karena pabrik akan dibangun di dekat Sungai Musi yang merupakan salah satu jalur transportasi dengan kapal laut, maka akan lebih mudah untuk memasok bahan baku dan produk dalam negeri dan luar negeri. Transportasi darat juga dimungkinkan tanpa masalah. Telekomunikasi di Palembang relatif baik dan berjalan lancar.

3. Unit Pendukung (Utilitas)

Listrik, air dan udara diperlukan sebagai agregat pendukung. Kebutuhan listrik diambil dari generator untuk menghasilkan listrik. Air dapat diambil tidak hanya dari air tanah tetapi juga dari air Sungai Musi. Bahan bakar generator dan boiler tersedia dari Pertamina sebagai pemasok bahan bakar solar.

4. Tenaga Kerja

Wilayah Palembang merupakan wilayah dengan banyak industri dan memiliki kepadatan penduduk yang tinggi. Ada beberapa universitas yang

ternama di wilayah tersebut sehingga tenaga kerja terdidik serta tidak terdidik dapat tercukupi.

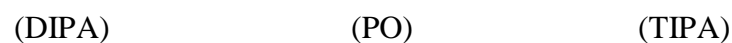
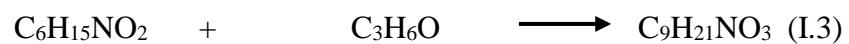
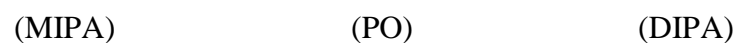
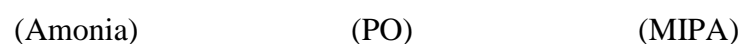
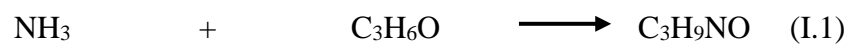
5. Karakterisasi lokasi

Penetapan wilayah komersial terhubung dengan masalah tanah yang tidak beresiko longsor, gempa bumi, dan banjir. Oleh karena itu, pemilihan lokasi untuk pemasangan unit manufaktur di dalam kawasan komersial Palembang mungkin sangat tepat. Karena, seperti halnya wilayah daratan yang luas, masih banyak perkebunan yang dapat mengurangi polusi dari pabrik.

I.4 Tinjauan Pustaka

I.4.1 Dasar Reaksi

Pembuatan Isopropanolamin (MIPA, DIPA dan TIPA) menggunakan bahan baku Amonia dan Propilen Oksida (termasuk reaksi Ammonolysis). Proses pembuatan isopropanolamin menggunakan proses aqueous dikarenakan proses tersebut merupakan proses yang ekonomis dan paling aman. Proses ini tanpa menggunakan katalis. Reaksi yang terjadi pada proses ini adalah sebagai berikut:

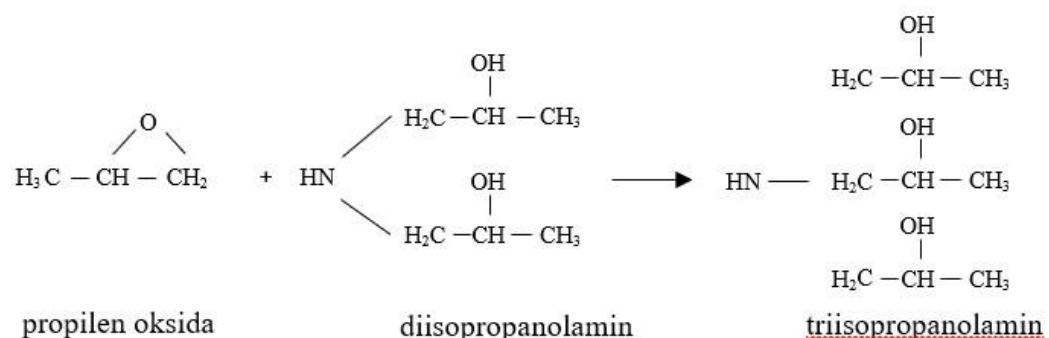
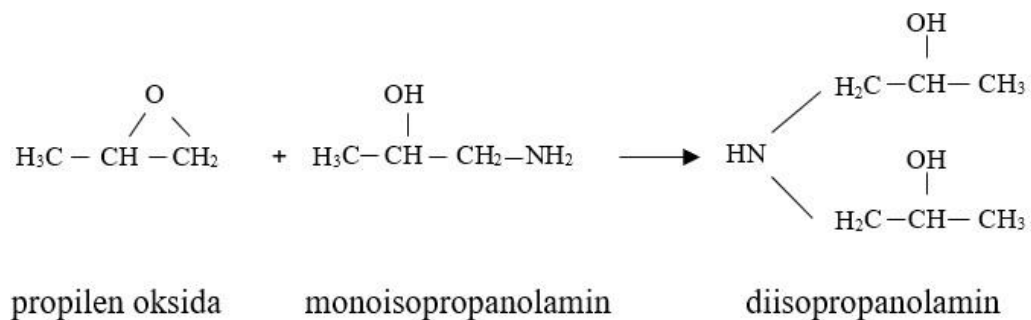
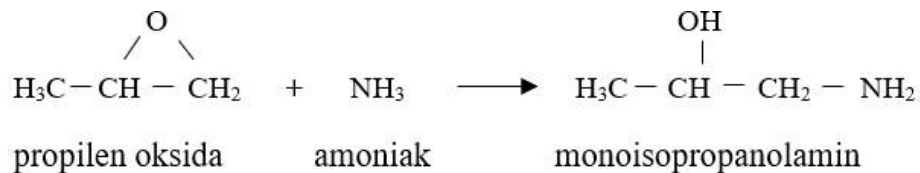


Karena reaksi terjadi dalam fase cair pada suhu konstan (isotermal), reaktor yang dipilih adalah Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB). Reaksi yang bersifat isotermal dan kondensor digunakan untuk menjaga suhu reaktor.

Reaksi dilakukan dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk yang beroperasi pada tekanan 1 atm dan suhu 32°C, dengan perbandingan mol propilen oksida terhadap amonia 1:5. (Journal of Nanjing University of Technology).

Konversi terhadap propilen oksida adalah 98,8%, dan distribusi produk yang dihasilkan yaitu monoisopropanolamin 49,3%, diisopropanolamin 45,5 %, dan triisopropanolamin 5,2 %. (Huang et.al., 2001).

I.4.2 Mekanisme Reaksi



I.4.3 Pemilihan Proses

Pada umumnya isopropanolamin diperoleh dari reaksi antara propilen oksida dengan amonia dalam jumlah yang berlebih. Metode ini menghasilkan monoisopropanolamin sebagai produk primer serta

diisopropanolamin dan triisopropanolamin sebagai bahan produk sekunder. (Gibson, 1989)

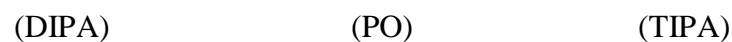
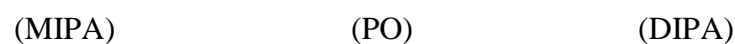
Prosedur pembuatan isopropanolamin dalam industri terbagi dalam dua proses, yaitu *anhydrous* proses dan *aqueous* proses.

a. Proses *anhydrous*

Propilen oksida direaksikan dengan amonia dalam fase cair dengan rasio molar 40:1 dengan tekanan 1-2 atm pada suhu 70-80°C. Konversi propilen oksida sebesar 95%. Amonia dan propilen oksida dalam storage tank dipompa ke dalam mixer untuk dicampur, kemudian dipompa menuju preheater untuk dipanaskan dari 35°C menjadi 75°C. Campuran ini kemudian diumpankan ke dalam reaktor yang berisi katalis *cation exchanger* resin. Keluaran reaktor yang berisi campuran monoisopropanolamin, diisopropanolamin, triisopropanolamin dan amonia yang tidak bereaksi diumpankan ke dalam menara distilasi untuk dipisahkan. (Urban & Thorsen, 1972)

b. Proses *aqueous*

Prosedur *aqueous phase* merupakan proses pembuatan isopropanolamin yang ekonomis dan paling aman. Proses ini tanpa menggunakan katalis, namun menggunakan air yang cukup banyak. Reaksi dijalankan pada temperatur 32°C dan tekanan 1 atm, dengan rasio mol amonia:propilen oksida = 5:1. Reaksi yang terjadi adalah:



Tabel II.3 Perbandingan Proses Pembuatan Isopropanolamin Antara Metode *Anhydrous phase* dengan *Aqueous Phase*

Proses	1. <i>Anhydrous</i>	2. <i>Aqueous</i>
Bahan baku	Amonia dan propilen oksida	Amonia dan propilen oksida
Mol NH ₃ : mol PO	40:1	5:1
Konversi propilen oksida (%)	95	98,8
T operasi (°C)	70-80	32
P operasi (atm)	1-2	1,3
Kelebihan proses	Tidak menggunakan air	Konversi tinggi; lebih ekonomis
Kekurangan proses	Konversi rendah, tidak ekonomis	Menggunakan air yang cukup banyak
Reaktor	Reaktor alir bertekanan	Reaktor tangki alir berpengaduk
Katalis	Tetrahidrofurfan (THF)	air

Dari Tabel II.3 dapat dilihat bahwa proses pembuatan isopropanolamin dengan metode *aqueous phase* adalah proses yang paling baik untuk dipilih. Kelebihan proses ini adalah:

1. Konversi propilen oksida tinggi
2. Kondisi operasi sangat menguntungkan jika ditinjau dari segi keamanan dan perancangan alat. Reaktor bekerja pada suhu dan tekanan yang mudah dicapai
3. Biaya investasi dan operasi rendah.

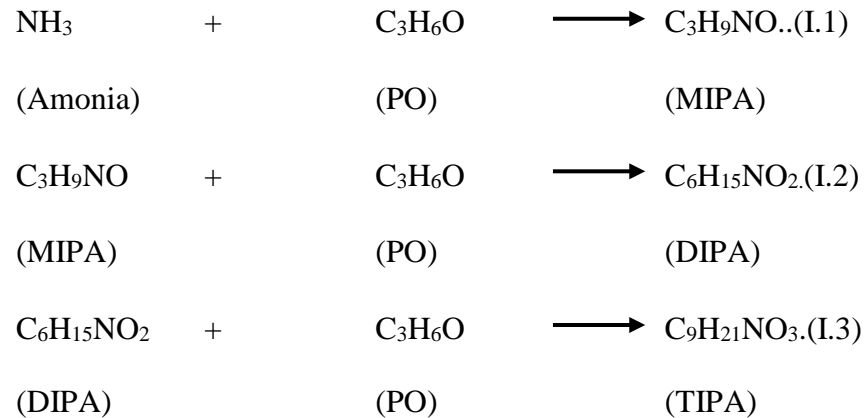
I.4.4 Tinjauan Kinetika

Proses pembuatan isopropanolamin dari amonia dan propilen oksida, telah dipelajari bahwa faktor yang paling berpengaruh pada reaksi pembentukan isopropanolamin adalah rasio mol reaktan antara amonia dan propilen oksida, serta suhu operasi yang digunakan.

Pada proses ini digunakan rasio mol amonia:propilen oksida = 5:1, pada suhu 32°C, dan berlangsung selama 40,72 menit. Diketahui konversi terhadap propilen oksida adalah sebesar 98,8%, dan distribusi produk yang

dihasilkan yaitu monoisopropanolamin 49,3% berat, diisopropanolamin 45,5% berat, dan triisopropanolamin 5,2% berat. (Huang et.al., 2001)

Reaksi pembuatan Isopropanolamin merupakan reaksi eksoterm dan *irreversible*.



Persamaan laju reaksi simultan dapat dituliskan sesuai persamaan dibawah ini:

$$\frac{dc(\text{MIPA})}{dt} = k_1 c(\text{NH}_3) c(\text{PO}) - k_2 c(\text{MIPA}) c(\text{PO}) \dots \dots \dots \text{(I.4)}$$

$$\frac{dc(\text{DIPA})}{dt} = k_2 c(\text{MIPA}) c(\text{PO}) - k_3 c(\text{DIPA}) c(\text{PO}) \dots \dots \dots \text{(I.5)}$$

$$\frac{dc(\text{TIPA})}{dt} = k_3 c(\text{DIPA}) c(\text{PO}) \dots \dots \dots \text{(I.6)}$$

Dimana nilai k_1 , k_2 , dan k_3 dapat dihitung dengan persamaan arrhenius seperti pada persamaan I.4

$$k = A. \exp^{-\frac{Ea}{RT}}$$

Dengan:

$$A_1 = 4,200 \times 10^7$$

$$A_2 = 4,963 \times 10^7$$

$$A_3 = 5,508 \times 10^6$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol. K}$$

Sehingga:

$$k_1 = 4,200 \times 10^7 \exp(-5,842 \times 10^4 / RT) \text{ L/mol.menit}$$

$$k_2 = 4,963 \times 10^7 \exp(-5,445 \times 10^4 / RT) \text{ L/mol.menit}$$

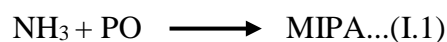
$$k_3 = 5,508 \times 10^6 \exp(-5,508 \times 10^4 / RT) \text{ L/mol.menit}$$

$$T = 305^\circ \text{ K } (32^\circ \text{ C})$$

I.4.5 Tinjauan Termodinamika

Tujuan dari tinjauan termodinamika ini guna menentukan sifat proses reaksi (endotermis atau eksotermis) dan arah reaksi (*reversible* atau *irreversible*). Untuk menentukan sifat reaksi eksotermis atau endotermis, bisa ditentukan menggunakan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH_f°) pada $P=1 \text{ atm}$ dan $T=298,15 \text{ K}$. Dalam proses pembentukan isopropanolamin terjadi reaksi sebagai berikut:

Reaksi 1:



Harga ΔH_f° masing-masing komponen pada suhu $298,15 \text{ K}$ dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel III.4 Harga ΔH_f° masing masing komponen (Yaws,1999)

Komponen	Harga ΔH_f° (kJ/mol)
NH ₃	-45,90
PO	-92,86
MIPA	-239,12

$$\begin{aligned} \Delta H_{f,298,15 \text{ K}}^\circ &= \Delta H_{f \text{ produk}}^\circ - \Delta H_{f \text{ reaktan}}^\circ \\ &= \Delta H_{f \text{ MIPA}}^\circ - (\Delta H_{f \text{ NH}_3}^\circ + \Delta H_{f \text{ PO}}^\circ) \\ &= -239,12 - (-45,90 - 92,80) \end{aligned}$$

$$= -100,36 \text{ kJ/mol}$$

Karena harga $\Delta H_f^{\circ} 298,15 \text{ K}$ negatif, maka reaksi bersifat eksoterm.

Tabel IV.4 Harga ΔG_f° Masing-masing Komponen (Yaws,1999)

Komponen	Harga ΔG_f° (kJ/mol)
NH ₃	-16,40
PO	-25,98
MIPA	-108,25

$$\begin{aligned} \Delta G_f^{\circ} &= \Delta (n\Delta G_f^{\circ})_{\text{produk}} - \Delta (n\Delta G_f^{\circ})_{\text{reaktan}} \\ &= (-108,25) - (-25,98 - 16,40) \text{ kJ/mol} \\ &= -65,87 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Dari Smith Van Ness Equation (13,11a)

$$\begin{aligned} \ln K_{298,15} &= \frac{G_f}{RT} \\ &= \frac{(68,87) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{8,314 \cdot 10^3 \frac{\text{kJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 298,15 \text{ K}} \\ &= 26,5731 \end{aligned}$$

$$K_{298,15} = 3,472 \times 10^{11}$$

Dari Smith Van Ness Equation (13.15)

$$\ln \frac{K}{K'} = \frac{H_{298,15}}{R} \frac{1}{T} - \frac{1}{T'}$$

Dengan:

K' = Konstanta kesetimbangan pada 298,15 K

K = Konstanta kesetimbangan pada suhu operasi

T' = Suhu standar = 198,15 K

T = Suhu operasi = 305,15 K

R = Tetapan gas ideal = $8,314 \times 10^{-3}$ kJ/ mol K

H 298,15 K = Panas reaksi standar pada 298,15 K, kJ/mol

Pada suhu 32 ° C (305,15 K) besarnya konstanta kesetimbangan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \ln \frac{K}{K'} &= \frac{H_{298,15}}{R} \frac{1}{T} - \frac{1}{T'} \\ &= \frac{100,36 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{8,314 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}}} \cdot \frac{1}{305,15 \text{ K}} - \frac{1}{298,15 \text{ K}} \end{aligned}$$

$$\ln \frac{K}{K'} = 0,929$$

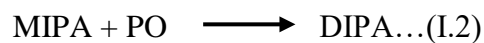
$$\frac{K}{K'} = 2,531$$

$$K = 2,531 \times 3,472 \cdot 10^{11}$$

$$K = 8,788 \times 10^{11}$$

Karena harga konstanta kesetimbangan relatif besar, maka reaksi pembentukan MIPA berlangsung searah, ke arah kanan (*irreversible*).

Reaksi 2:



Harga ΔH_f° masing-masing komponen pada suhu 298,15K dapat dilihat pada tabel IV.4 sebagai berikut:

Tabel V.5 Harga ΔH_f° masing-masing Komponen

Komponen	Harga ΔH_f° (kJ/mol)
PO	-92,86
MIPA	-239,12
DIPA	-454,25

$$\begin{aligned}
 \Delta H_f^{\circ} 298,15 \text{ K} &= \Delta H_f^{\circ} \text{ produk} - \Delta H_f^{\circ} \text{ reaktan} \\
 &= \Delta H_f^{\circ} \text{DIPA} - (\Delta H_f^{\circ} \text{MIPA} + \Delta H_f^{\circ} \text{PO}) \\
 &= -454,25 - (-239,12 - 92,86) \\
 &= -122,27 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Karena $\Delta H_f^{\circ} 298,15 \text{ K}$ negatif, maka reaksi bersifat eksoterm.

Tabel V.5 Harga ΔG_f° masing-masing Komponen

Komponen	Harga ΔG_f° (kJ/mol)
PO	-25,98
MIPA	-108,25
DIPA	-215,54

$$\begin{aligned}
 \Delta G_f^{\circ} &= \Delta (n\Delta G_f^{\circ}) \text{ produk} - \Delta (n\Delta G_f^{\circ}) \text{ reaktan} \\
 \Delta G_f^{\circ} 298 \text{ K} &= (\Delta G_f^{\circ} \text{DIPA}) - (\Delta G_f^{\circ} \text{PO} + \Delta G_f^{\circ} \text{MIPA}) \\
 &= (-215,54 - (-25,98 - 108,25)) \text{ kJ/mol} \\
 &= -81,31 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Dari Smith Van Ness Equation (13.11a)

$$\begin{aligned}
 \ln K 298,15 &= \frac{Gof}{RT} \\
 &= \frac{(81,31) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{8,314 \cdot 10^3 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \cdot 298,15 \text{ K}} \\
 &= 32,802
 \end{aligned}$$

$$K_{298,15} = 1,761 \times 10^{14}$$

Dari Smith Van Ness Equation (13.15)

$$\ln \frac{K}{K'} = \frac{H_{298,15}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T'} \right)$$

Dengan:

K' = Konstanta kesetimbangan pada 298,15 K

K = Konstanta kesetimbangan pada suhu operasi

T' = Suhu standar = 298,15 K

T = Suhu operasi = 305,15 K

R = Tetapan gas ideal = $8,314 \times 10^{-3}$ kJ/ mol K

$H_{298,15 K}$ = Panas reaksi standar pada 298,15 K, kJ/mol

Pada suhu 32 ° C (305,15 K) besarnya konstanta kesetimbangan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \ln \frac{K}{K'} &= \frac{H_{298,15}}{R} \frac{1}{T} - \frac{1}{T'} \\ &= \frac{122,27^{\text{kJ}}}{8,314 \cdot 10^3 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}} \cdot \frac{1}{305,15 \text{ K}} - \frac{1}{298,15 \text{ K}} \end{aligned}$$

$$\ln \frac{K}{K'} = 1,132$$

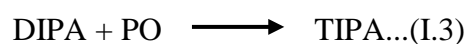
$$\frac{K}{K'} = 3,100$$

$$K = 3,100 \times 1,761 \cdot 10^{14}$$

$$K = 5,459 \times 10^{14}$$

Karena harga konstanta kesetimbangan relatif besar, maka reaksi pembentukan DIPA berlangsung searah, ke arah kanan (*irreversible*).

Reaksi 3:



Harga ΔH_f° masing-masing komponen pada suhu 298,15K dapat dilihat pada tabel VI.6 sebagai berikut:

Tabel VI.6 Harga ΔH_f° masing-masing Komponen

Komponen	Harga ΔH_f° (kJ/mol)

PO	-92,86
DIPA	-454,25
TIPA	-663,64

$$\begin{aligned}
 \Delta H_f^{\circ} 298,15 \text{ K} &= \Delta H_f^{\circ} \text{ produk} - \Delta H_f^{\circ} \text{ reaktan} \\
 &= \Delta H_f^{\circ} \text{TIPA} - (\Delta H_f^{\circ} \text{DIPA} + \Delta H_f^{\circ} \text{PO}) \\
 &= -663,65 - (-454,25 - 92,86) \text{ kJ/mol} \\
 &= -116,54 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Karena $\Delta H_f^{\circ} 298,15 \text{ K}$ negatif, maka reaksi bersifat eksoterm.

Tabel VII.7 Harga ΔG_f° masing-masing Komponen

Komponen	Harga ΔG_f° (kJ/mol)
PO	-25,98
DIPA	-215,54
TIPA	-328,44

$$\begin{aligned}
 \Delta G_f^{\circ} &= \Delta (n \Delta G_f^{\circ}) \text{ produk} - \Delta (n \Delta G_f^{\circ}) \text{ reaktan} \\
 \Delta G_f^{\circ} 298 \text{ K} &= (\Delta G_f^{\circ} \text{TIPA}) - (\Delta G_f^{\circ} \text{PO} + \Delta G_f^{\circ} \text{DIPA}) \\
 &= (-328,44 - (-25,98 - 215,54)) \text{ kJ/mol} \\
 &= -86,92 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Dari Smith Van Ness Equation (13.11a)

$$\begin{aligned}
 \ln K 298,15 &= \frac{Gof}{RT} \\
 &= \frac{(86,92) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{8,314 \cdot 10^3 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \cdot 298,15 \text{ K}} \\
 &= 35,0651
 \end{aligned}$$

$$K_{298,15} = 1,693 \times 10^{15}$$

Dari Smith Van Ness Equation (13.15)

$$\ln \frac{K}{K'} = \frac{H_{298,15}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T'} \right)$$

Dengan:

K' = Konstanta kesetimbangan pada 298,15 K

K = Konstanta kesetimbangan pada suhu operasi

T' = Suhu standar = 298,15 K

T = Suhu operasi = 305,15 K

R = Tetapan gas ideal = $8,314 \times 10^{-3}$ kJ/ mol K

$H_{298,15}$ = Panas reaksi standar pada 298,15 K, kJ/mol

Pada suhu 32° C (305,15 K) besarnya konstanta kesetimbangan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \ln \frac{K}{K'} &= \frac{H_{298,15}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T'} \right) \\ &= \frac{116,54 \text{ kJ}}{8,314 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}} \cdot \left(\frac{1}{305,15 \text{ K}} - \frac{1}{298,15 \text{ K}} \right) \end{aligned}$$

$$\ln \frac{K}{K'} = 1,078$$

$$\frac{K}{K'} = 2,940$$

$$K = 2,940 \times 1,693 \cdot 10^{15}$$

$$K = 4,977 \times 10^{15}$$

Karena harga konstanta kesetimbangan relatif besar, maka reaksi pembentukan TIPA berlangsung searah, ke arah kanan (*irreversible*).

I.5 Kegunaan Produk

1. Isopropanolamin sering digunakan di kehidupan sehari-hari, yaitu digunakan sebagai bahan pembersih dalam deterjen, sampo dan kosmetik.
2. MIPA, DIPA dan TIPA digunakan dalam berbagai produk kosmetik, diantaranya yaitu wewangian, rambut, dan perawatan kulit.
3. MIPA, DIPA, dan TIPA dalam nonkosmetik dapat digunakan dalam perekat, kertas, kertas karton, serta alat bantu produksi dan pembersih untuk kemasan makanan.
4. Kegunaan monoisopropanolamin di Indonesia digunakan sebagai bahan parfum, untuk diisopropanolamin dan triisopropanolamin di Indonesia belum banyak digunakan.