

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Pendirian Pabrik

Perkembangan industri di Indonesia semakin mengalami peningkatan, baik dari segi jumlah maupun keanekaragamannya. Seiring dengan perkembangan industri tersebut, terjadi pula peningkatan kebutuhan bahan baku dan bahan pembantu. Dengan dimulainya globalisasi perdagangan, seharusnya memacu kita untuk lebih cermat dalam menemukan terobosan baru agar produk yang dihasilkan memiliki daya saing tinggi, efektif, efisien, dan ramah terhadap lingkungan.

1.1.1. Perkembangan Pabrik Dimethyl Phtalate

Dewasa ini, salah satu industri kimia yang berkembang dengan pesat adalah industri bahan polimer, yang menghasilkan berbagai jenis produk plastik, seperti serat sintesis, karet sintesis, dan sebagainya. Pada proses pembuatan bahan polimer, selain memerlukan resin sebagai bahan baku utama, juga diperlukan suatu tambahan yang disebut dengan *plasticizer*, yaitu bahan yang ditambahkan pada resin agar menjadi lunak dan mudah dibentuk (*flexible*), sehingga mempermudah proses fabrikasi (*flowing, casting, dan finishing process*).

Dimethyl phthalate adalah salah satu jenis *plasticizer* yang banyak digunakan dalam pembuatan *nitrocellulose* dan *cellulose acetate rubber*. Selain sebagai bahan *plasticizer*, *dimehtyl phthalate* digunakan sebagai *insectrepellent*, yaitu suatu bahan yang ditambahkan dalam pembuatan bahan pembasmi serangga. *Dimethyl phthalate* juga banyak digunakan sebagai pendorong roket, *lacquers*, plastik, karet pelapis kaca, dan lain-lain.

Dimethyl phthalate mempunyai beberapa nama yaitu dimetil ester dan mempunyai rumus molekul $C_6H_4(COOCH_3)_2$. *Dimethyl phthalate* berbentuk serbuk putih, sedikit berbau senyawa aromatik, mendidih pada suhu $282^\circ C$ dan sedikit larut dalam air (0,43%).

1.1.2. Pertimbangan Mendirikan Pabrik

Pertimbangan-pertimbangan perlu didirikannya pabrik *Dimethyl phthalate* di Indonesia adalah sebagai berikut :

- a. Dapat menghemat devisa negara, dengan adanya pabrik *Dimethyl phthalate* di Indonesia dapat menekankan atau mengurangi impor *Dimethyl phthalate* dan jika berlebih dapat diekspor. Usaha ini didukung oleh ketersediaan sumber bahan baku seperti *Phthalic anhydride*, *methanol* dan asam sulfat yang mudah diperoleh di dalam negeri.
- b. Dapat memacu berdirinya pabrik-pabrik baru yang menggunakan bahan baku *Dimethyl phthalate* dan mendukung upaya pengembangan industri polimer.
- c. *Dimethyl phthalate* banyak diproduksi oleh negara-negara Eropa. Mengingat terbatasnya produsen *Dimethyl phthalate* di Asia, pendirian pabrik *Dimethyl phthalate* di Indonesia dapat mendatangkan keuntungan yang cukup besar.

Keuntungan *Dimethyl phthalate* di Indonesia dapat dikatakan cukup kecil sehingga pendirian pabrik berorientasi untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan ekspor ke negara-negara Asia, terutama Asia Tenggara.

1.2. Kapasitas Produksi

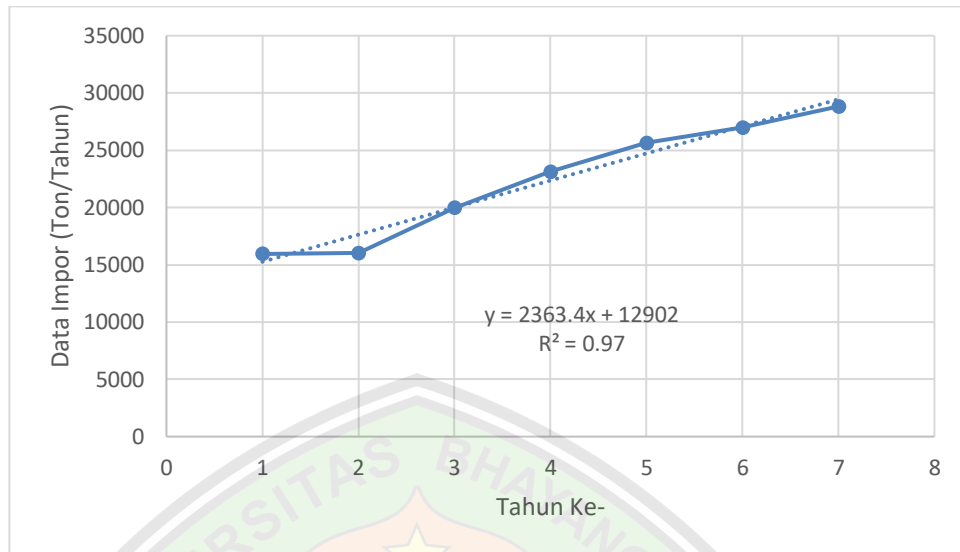
Berdasarkan data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik, proyeksi kebutuhan *Dimethyl phthalate* diperkirakan akan semakin meningkat. Hal ini dapat diamati pada tabel di bawah ini :

Tabel 1.1. Data Impor *Dimethyl Phthalate*

Tahun	Impor (ton/tahun)
2002	15943
2003	16035
2004	19967
2005	23112
2006	25643
2007	26968
2008	28821

(Biro Pusat Statistik, 2020)

Dari data diatas, kapasitas pabrik yang akan dibangun dengan menggunakan kurva linear yaitu sebesar :



Grafik 1.1. Grafik Regresi Linier *Dimethyl Phthalate*

Untuk menghitung kebutuhan impor *Dimethyl phthalate* tahun berikutnya maka menggunakan persamaan garis lurus : $y = ax + b$

Keterangan :

y = kebutuhan impor *Dimethyl phthalate* (ton/tahun)

x = tahun ke-

b = *intercept*

a = gradien garis miring

Diperoleh persamaan garis lurus $y = 2363.4x + 12902$ (ton/tahun). Dari persamaan di atas diketahui bahwa kebutuhan import *Dimethyl phthalate* di Indonesia pada tahun 2025 (tahun ke-17) sebesar :

$$y = 2363.4x + 12902$$

$$y = 53080 \text{ ton/tahun}$$

Dari hasil regresi linear diatas didapatkan kebutuhan *Dimethyl phthalate* di Indonesia pada tahun 2025 sebesar 53080 ton/tahun, sehingga untuk menutupi kebutuhan impor nya, pabrik ini dirancang dengan kapasitas 55.000 ton/tahun.

1.2.1. Rencana Kapasitas

Berdasarkan hasil data diatas, maka dipilih pra-rancangan pabrik pembuatan *Dimethyl phthalate* dari *Phthalic anhydride* dan *Methanol* dengan kapasitas 55.000 ton/tahun dengan alasan sebagai berikut :

1. Indonesia belum memproduksi *Dimethyl phthalate* di dalam negeri, sehingga peluang pendirian pabrik *Dimethyl phthalate* dengan kapasitas 55.000 ton/tahun cukup baik yang mana diharapkan dapat memenuhi seluruh kebutuhan *Dimethyl phthalate* di Indonesia.
2. Peluang pendirian pabrik *Dimethyl phthalate* cukup besar mengingat fungsi dari *Dimethyl phthalate* itu sendiri sangat banyak.

1.2.2. Perhitungan Ekonomi

Perhitungan ekonomi awal berfungsi untuk mengetahui apakah pabrik *Dimethyl phthalate* yang didirikan menguntungkan atau tidak. Berikut perhitungan ekonomi awal dari pendirian pabrik *Dimethyl phthalate*:

Tabel 1.2. Harga Bahan

Komponen	Bahan	Harga (Rp/Kg)	Sumber
Bahan Baku	<i>Phthalic Anhydride</i>	1.000	app.alibaba.com
	<i>Methanol</i>	2.900	app.alibaba.com
Katalis	<i>Asam Sulfate</i>	200	app.alibaba.com
Produk	<i>Dimethyl Phthalate</i>	17.600	app.alibaba.com

Reaksi yang terjadi selama proses :



Tabel 1.3. Perhitungan Ekonomi Awal

Komponen	BM	Mol	Massa	Harga (Rp/Kg)	Total harga reaktan (Rp)	Total harga produk (Rp)
$\text{C}_6\text{H}_4(\text{CO})_2\text{O}$	148	1	148	1.000	132.000	-
CH_3OH	32	1	32	2.900	92.800	-
H_2SO_4	98	1	98	200	19.600	-
H_2O	18	1	18	-	-	-
$\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOCH}_3)_2$	194	1	194	17.600	-	3.414.400
Jumlah					244.400	3.414.400

$$\begin{aligned}\text{Profit} &= \text{total harga produk} - \text{total harga reaktan} \\ &= \text{Rp. 3.414.400} - \text{Rp. 244.400} \\ &= \text{Rp. 3.170.000,-}\end{aligned}$$

Maka didapat kesimpulan bahwa pembangunan pabrik *Dimethyl phthalate* memiliki keuntungan atau laba sebesar Rp. 3.170.000,-.



1.3. Pemilihan Proses

Tabel 1.4. Matriks Pemilihan Proses

No	Bahan Baku	Jenis Proses	Uraian Proses	Kondisi Operasi	Katalis	Kapasitas	Kelebihan	Kekurangan
1	-Phthalyc anhydride -Methanol	Esterifikasi	<i>Phthalyc anhidride + methanol → monomethyl phthalate</i>	T = 60 °C P = 1 atm Reaktor RATB	H ₂ SO ₄	55.000	Kemurnian 99.50 %	-
			<i>Monomethylphthalate + methanol → dimethyl phthalate + air</i>					
2	-Phthalyc anhydride -Methanol	Esterifikasi	<i>Phalyc anhidride + methanol → monomethyl phthalate</i>	T = 120 °C	H ₂ SO ₄	-	Kemurnian 80.00 %	-
			<i>Monomethyl phtalate + methanol → dimethyl phthalate + air</i>					
3	-Ftalate anhidride -Methanol	Refluks	<i>Ftalate anhydride + methanol</i>	T = 150 °C	H ₂ SO ₄	-	Kemurnian 99.00 %	Hasil samping benzena
4	-Phthalyc anhydride -Methanol	Esterifikasi	<i>Phalyc anhidride + methanol → monomethyl phthalate</i>	T = 140 °C P = 3 atm Reaktor RATB	H ₂ SO ₄	55.000	Kemurnian 95.00 %	-
			<i>Monomethyl phthalate + methanol → dimethyl phthalate + air</i>					

Dari keempat jenis proses pembuatan *Dimethyl phthalate*, dipilih proses pertama dengan pertimbangan sebagai berikut :

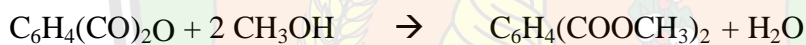
- Bahan baku yang digunakan mudah didapat dan relative murah.
- Suhu dan tekanan yang digunakan tidak terlalu besar.
- Memiliki kemurnian paling tinggi yaitu 99.50%.
- Tidak memiliki hasil samping yang berbahaya.

1.4. Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika ditunjukkan untuk mengetahui sifat reaksi, membutuhkan panas (endotermis) atau melepaskan panas (eksotermis). Tinjauan termodinamika juga digunakan untuk mengetahui arah reaksi, apakah reaksi tersebut berjalan searah (irreversible) atau dua arah (reversible).

a. Menghitung $\Delta H^{\circ}f$

Penentuan panas reaksi yang berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat dihitung dengan $\Delta H^{\circ}f$ pada tekanan 1 atm dan suhu 298 K. Reaksi yang terjadi :



Nilai $\Delta H^{\circ}f$ masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada tabel :

Tabel 1.5. Data $\Delta H^{\circ}f$

Komponen	$\Delta H^{\circ}f$ (kJ/mol)
$\text{C}_6\text{H}_4(\text{CO})_2\text{O}$	-155,8
CH_3OH	-200,9
$\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOCH}_3)_2$	-663,0
H_2O	-241,8

(Yaws, 1999)

$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}f_{298 \text{ K}} &= \Delta H^{\circ}f \text{ produk} - \Delta H^{\circ}f \text{ reaktan} \\ &= (\Delta H^{\circ}f \text{C}_6\text{H}_4(\text{COOCH}_3)_2 + \Delta H^{\circ}f \text{H}_2\text{O}) - (\Delta H^{\circ}f \text{C}_6\text{H}_4(\text{CO})_2\text{O} + \Delta H^{\circ}f 2.\text{CH}_3\text{OH}) \\ &= (-663,0 + (-241,8)) - (-155,8 + 2(-200,9)) \\ \Delta H^{\circ}f_{298 \text{ K}} &= -347,2 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

b. Menghitung ΔH Reaktan

1. Untuk *Phthalic anhydride*

$$\Delta H = n_{298} \int^{333} (26,320 + 3,906 \cdot 10^{-1} T + 2,126 \cdot 10^{-4} T^2)$$

$$\Delta H = 1 \text{ mol} \times 19.901,5 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H = 19.901,5 \text{ kJ/mol}$$

2. Untuk *Methanol*

$$\Delta H = n_{298} \int^{333} C_{pd} T$$

$$\Delta H = n_{298} \int^{333} (40,1 + 3,1 \cdot 10^{-1} T - 1,0 \cdot 10^{-3} T^2 + 1,4 \cdot 10^{-6} T^3)$$

$$\Delta H = 2 \text{ mol} \times 9.013,4 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H = 18.026,9 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H \text{ reaktan} = 19.901,5 \text{ kJ} + 18.026,9 \text{ kJ} = 37.928,4 \text{ kJ/mol}$$

c. Menghitung ΔH Produk

1. Untuk *Dimethyl phtalate*

$$\Delta H = n_{298} \int^{333} C_{pd} T$$

$$\Delta H = n_{298} \int^{333} (185,4 + 6,3 \cdot 10^{-1} T - 1,4 \cdot 10^{-3} T^2 + 1,5 \cdot 10^{-6} T^3)$$

$$\Delta H = 1 \text{ mol} \times 31.945,3 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H = 31.945,3 \text{ kJ/mol}$$

2. Untuk Air

$$\Delta H = n_{298} \int^{333} C_{pd} T$$

$$\Delta H = n_{298} \int^{333} (8,22 + 0,00015 T + 0,00000134 T^2)$$

$$\Delta H = 1 \text{ mol} \times 886,0 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H = 886,0 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H \text{ produk} = 31.945,3 \text{ kJ/mol} + 886,0 \text{ kJ/mol} = 32.831,4 \text{ kJ/mol}$$

$$\begin{aligned}
\text{Sehingga } \Delta H \text{ reaksi} &= \Delta H \text{ standar} + (\Delta H \text{ produk} - \Delta H \text{ reaktan}) \\
&= -347,2 \text{ kJ/mol} + (32.831,4 \text{ kJ/mol} - 37.928,3 \text{ kJ/mol}) \\
&= -5.444,1 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Karena ΔH° 298 K bernilai negatif, maka reaksi pembentukan *Dimethyl phthalate* bersifat eksotermis atau menghasilkan panas selama reaksi berlangsung.

d. Menghitung Energi bebas Gibbs

Energi bebas Gibbs (ΔG) digunakan untuk menentukan apakah reaksi berjalan secara spontan, tidak spontan atau berada dalam kesetimbangan. Jika ΔG bernilai negatif maka reaksi berjalan spontan, sedangkan jika bernilai positif maka reaksi berjalan tidak spontan, dan jika nilai ΔG sama dengan nol berarti reaksi berada dalam kesetimbangan. Reaksi yang terjadi :



Nilai ΔG° masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada tabel :

Tabel 1.6. Data ΔG°

Komponen	ΔG° (kJ/mol)
$C_6H_4(CO)_2O$	-329,0
CH_3OH	-162,2
$C_6H_4(COOCH_3)_2$	-526,0
H_2O	-237,1

(Yaws, 1999)

Persamaan (J.M. Smith and H. C. Van Ness, 1975) :

$$\Delta G^{\circ} = \Sigma(\Delta G^{\circ}_r) \text{ produk} - \Sigma(\Delta G^{\circ}_r) \text{ reaktan}$$

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K$$

$$K = \exp(-\Delta G^{\circ}/RT)$$

Dimana :

$$\Delta G^{\circ} = \text{Energi gibbs standar (kJ/mol)}$$

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

$$K = \text{Konstanta kesetimbangan pada 298 K}$$

$$\text{Maka } \Delta G^{\circ} = \Sigma(\Delta G^{\circ}_r) \text{ produk} - \Sigma(\Delta G^{\circ}_r) \text{ reaktan}$$

$$= (-526,0 + (-237,1)) - (-329,0) + 2 (-162,2)$$

$$= -109,7 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G = \Delta G^\circ + R T \ln K$$

Pada keadaan setimbang $\Delta G = 0$, maka :

$$\Delta G^\circ = -R T \ln K$$

$$\ln K = \left(\frac{\Delta G^\circ}{-RT} \right)$$

$$K = \exp \left(-\frac{\Delta G^\circ}{RT} \right)$$

Dimasukkan ke persamaan :

$$\Delta G^\circ = -R T \ln K$$

$$(-109.7 \text{ kJ/mol}) = -(8,314 \times 10^{-3} \text{ kJ/mol K}) (298 \text{ K}) \ln K$$

$$\ln K = \frac{-109.7 \text{ kJ/mol}}{-2,5}$$

$$K_{298} = \exp \frac{-109.7 \text{ kJ/mol}}{-2,5}$$

$$K_{298} = 1,7 \times 10^{19}$$

Sehingga

$$\Delta G_{333} = \Delta G^\circ + R T \ln K$$

$$\Delta G_{333} = -109.7 \text{ kJ/mol} + (8,314 \times 10^{-3} \text{ kJ/mol } ^\circ\text{K}) (423 \text{ } ^\circ\text{K}) \ln 1,7 \times 10^{19}$$

$$\Delta G_{333} = -46,0 \text{ kJ/mol}$$

Karena ΔG bernilai negatif maka dapat disimpulkan bahwa reaksi berjalan spontan.

e. Menghitung K_{operasi}

$$\frac{K_2}{K_1} = \exp - \left[\frac{\Delta H_{298}}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \right]$$

Dimana :

K_1 = Konstanta kesetimbangan pada 289 K

K_2 = Konstanta kesetimbangan pada 333 K

T_1 = Suhu standar 298 K

T_2 = Suhu operasi 333 K

Maka :

$$\frac{K_{333}}{K_{298}} = \exp - \left[\frac{\Delta H_{298}}{R} \left(\frac{1}{T_{\text{operasi}}} - \frac{1}{T_{\text{standar}}} \right) \right]$$

$$\frac{K_{333}}{K_{298}} = \exp - \left[\frac{-5.444,1 \text{ kJ/mol}}{8,314 \times 10^{-3}} \left(\frac{1}{333} - \frac{1}{298} \right) \right]$$

$$\frac{K_{333}}{1,3225 \times 10^{-14}} = \exp(-611,8605)$$

$$\frac{K_{333}}{1,3225 \times 10^{-14}} = 0$$

$$K_{\text{operasi}} = 1,144631$$

$$K > 1$$

Dari perhitungan di atas didapat harga $K = 1,144631$ menunjukkan bahwa reaksi berlangsung cepat dan searah, sehingga dapat disimpulkan bahwa reaksi bersifat *irreversible* atau searah.

1.5. Tinjauan Kinetika

Reaksi pembentukan *Dimethyl phthalate* merupakan reaksi esterifikasi orde dua yang melalui dua tahap. Persamaan konstanta kecepatan reaksi ditentukan dari suatu percobaan. Berikut merupakan kesamaan konstanta kecepatan reaksi (Groggins, 1980) :

$$k_r = 2,1 \times 10^{-5} - 889 \times 10^{-4} C + 1,228 \times 10^{-3} C \left[\frac{B}{M} \right] \left[\frac{10^{-15,135-4516/T}}{205,8} \right]$$

Keterangan :

K_T : Konstanta laju reaksi ($\text{m}^3/\text{kmoljam}$)

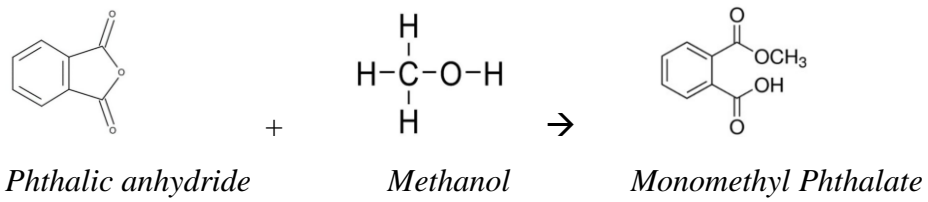
C : Persen katalis dalam umpan (%)

B/M : Rasio mol Methanol dan Monomethyl phthalate

T : Temperature (K)

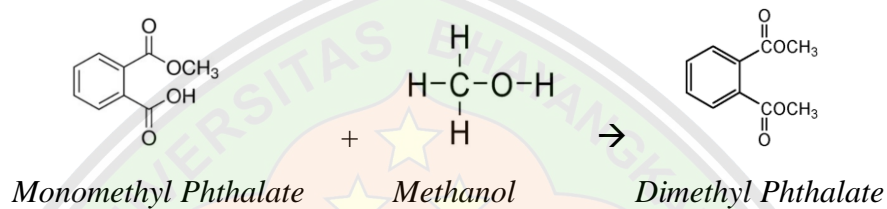
Berikut merupakan tahap reaksi pembentukan *Dimethyl phthalate* :

1. Tahap Pertama



Reaksi diatas dapat terjadi karena pemanasan, sehingga *Monomethyl phthalate* dapat mudah terjadi

2. Tahap kedua



Pada tahap kedua selain membentuk *Dimethyl phthalate*, reaksi tersebut juga menghasilkan air. Reaksi esterifikasi diatas berlangsung lama dan membutuhkan suhu tinggi dan katalis. Aktivitas ion hidrogen suatu asam mineral pada kedua reaksi diatas terjadi melalui formasi kompleks pelarut alkohol dalam suatu proses esterifikasi.