

BAB II

DESKRIPSI PROSES

2.1. Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

2.1.1. Bahan Baku

1. *Phthalic anhydride* menurut PT. Petrowidada:

- Rumus kimia : $C_8H_4O_3$
- Kemurnian : min. 99,98 % (%wt)
- Fase : Padat (kristal)
- Warna : Putih
- Impuritas (*Maleic anhydride*) ($C_4H_2O_3$) : max. 0,05 %(%wt)

2. *2-Ethyl hexanol* menurut PT. Petro Oxo Nusantara:

- Rumus kimia : $C_8H_{18}O$
- Kemurnian : 99,5 % (% wt)
- Fase : Cair
- Warna : Tidak berwarna
- Impuritas (H_2O) : 0,5 %(%wt)

2.1.2. Bahan Pendukung

1. Asam Sulfat (sebagai katalis) menurut PT. Petrokimia Gresik:

- Rumus molekul : H_2SO_4
- Kemurnian : 98 % (% wt)
- Fase : Cair
- Warna : Tidak berwarna sampai sedikit kuning
- Impuritas (H_2O) : 2 %(%wt)

2. Natrium Hidroksida (sebagai penetralisir) menurut PT. Twiji Kimia:

- Rumus molekul : $NaOH$
- Kemurnian : 20 % (% wt)
- Fase : Terlarut
- Warna : Tak berwarna
- H_2O : 80 % (%wt)

2.1.3. Produk

1. DOP (*Diethyl phthalate*)

- Rumus molekul : $C_{24}H_{38}O_4$
- Kemurnian : min. 99,5 % (% wt)
- Fase : Cair
- Warna : Putih
- Impuritas ($C_8H_{18}O$) : maks. 0,24 %(%wt)
- ($C_{16}H_{22}O_4$) : maks. 0,26 %(%wt)

2.2. Konsep Proses

2.2.1. Dasar Reaksi

Proses pembuatan *diethyl phthalate* dilakukan di dalam *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR), reaksi berlangsung pada suhu 150-200 °C dan tekanan 1 atm (Faith et al., 1961).

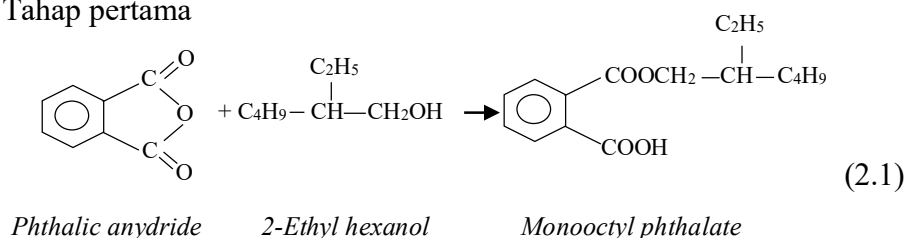
Reaksi pembuatan *diethyl phthalate* merupakan reaksi esterifikasi antara *phthalic anhydride* dengan *2-ethyl hexanol* dengan rasio *phthalic anhydride*: *2-ethyl hexanol* = 1:2,75. (US. Patent, 2759967)

Reaksi pembuatan *diethyl phthalate* merupakan reaksi esterifikasi antara *phthalic anhydride* dengan *2-ethyl hexanol* menggunakan katalis asam sulfat dengan konversi 99,9%. (Skrzypek et al., 1994)

2.2.2. Mekanisme Reaksi

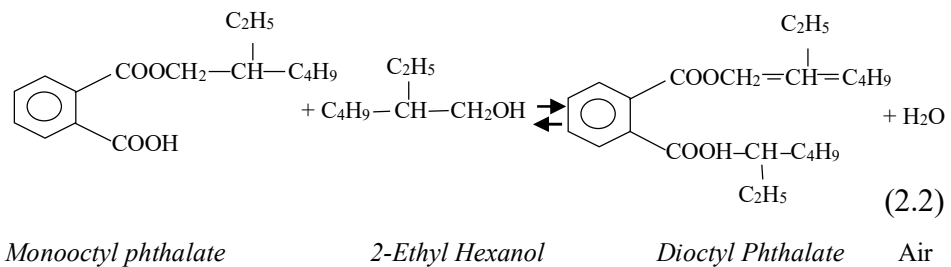
Reaksi esterifikasi *phthalic anhydride* dan *2-ethyl hexanol* dengan menggunakan katalis H_2SO_4 , terdiri atas dua tahap, yaitu :

1. Tahap pertama



Gambar 2.1 Mekanisme Reaksi Esterifikasi Monoester

2. Tahap kedua

**Gambar 2.2 Mekanisme Reaksi Esterifikasi *Dioctyl Phthalate***

Pada tahap ini, terbentuk *dioctyl phthalate* yang disertai dengan pelepasan air. Reaksi pada tahap ini berjalan sangat lambat, dan memerlukan temperatur tinggi (150°C) serta katalis. Karena reaksi tahap pertama berlangsung cepat dan reaksi tahap kedua berjalan sangat lambat maka reaksi yang menentukan adalah reaksi tahap kedua (Mc. Ketta, 1983)

2.2.3. Tinjauan Termodinamika

Menentukan sifat reaksi (eksotermis/endotermis) dan arah reaksi (*reversible/irreversible*) memerlukan perhitungan dengan menggunakan panas pembentukan standar (ΔH_f°) pada 1 atm dan 25 °C dari reaktan dan produk. Data untuk masing-masing komponen dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Harga ΔH_f° dan ΔG_f° pada Keadaan Standar (Carl L. Yaws, 1999)

Komponen	ΔH_f° (kJ/mol)	ΔG_f° (kJ/mol)
H ₂ O	-241,80	-228,60
C ₈ H ₁₈ O	-365,30	-118,88
C ₈ H ₄ O ₃	-393,13	-329,00
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	-750,90	-475,40
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	-966,72	-406,30

Perubahan Energi Gibbs menurut J.M. Smith and H.C. Van Ness (1987) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\Delta G_{298} = -R T \ln K \quad (2.3)$$

dengan:

ΔG_{298} = Energi bebas Gibbs standar suatu reaksi pada 298 K (kJ/mol)

R = Konstanta gas ($R = 8,314 \cdot 10^{-3}$ kJ/mol.K)

T = Temperatur (K)

K = Konstanta kesetimbangan

Dari persamaan:

$$\ln\left(\frac{K}{K_{298}}\right) = \frac{-\Delta H_{298}}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{Ref}}\right) \quad (2.4)$$

dengan:

K_{298} = Konstanta kesetimbangan pada 298 K

K = Konstanta kesetimbangan pada suhu operasi

R = Konstanta gas ideal ($8,314 \cdot 10^{-3}$ kJ/mol.K)

T = Temperatur operasi

T_{Ref} = Temperatur standar pada 298 K

ΔH_{298} = Panas reaksi pada 298 K

Reaksi 1 :

$$\begin{aligned} \Delta H_r^\circ &= \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \\ &= (-750,90) - (-393,13 + (-365,30)) \text{ kJ/mol} \\ &= 7,53 \text{ kJ/mol} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Reaksi pertama merupakan reaksi endotermis karena nilai ΔH total adalah positif.

$$\begin{aligned} \Delta G_r^\circ &= (\Delta G_f^\circ) \text{ produk} - (\Delta G_f^\circ) \text{ reaktan} \\ &= (-475,40 - (-329 + (-118,88))) \text{ kJ/mol} \\ &= -27,52 \text{ kJ/mol} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Pada suhu $T=25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$ besarnya konstanta kesetimbangan dapat dihitung dengan persamaan (2.3).

$$\begin{aligned} \Delta G_{298} &= -R T \ln K \\ -27,52 \text{ kJ/mol} &= -(8,314 \cdot 10^{-3}) \text{ kJ/mol.K} \cdot 298,15 \text{ K} \cdot \ln(K) \\ \ln K_{298} &= 11,102 \\ K_{298} &= 66.307,656 \end{aligned}$$

Pada suhu $T=150^\circ\text{C} = 423,15 \text{ K}$ besarnya konstanta kesetimbangan dapat dihitung dengan persamaan (2.6).

$$\begin{aligned} \ln\left(\frac{K_{423,15}}{66.307,656}\right) &= \frac{-7,53 \text{ kJ/mol}}{\frac{8,314 \cdot 10^{-3} \text{ kJ}}{\text{mol.K}}} \times \left(\frac{1}{423,15 \text{ K}} - \frac{1}{298,15 \text{ K}}\right) \\ \ln K_{423,15} - \ln 66.307,656 &= 0,897 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\ln K_{423,15} - 11,102 &= 0,897 \\ \ln K_{423,15} &= 11,999 \\ K_{423,15} &= 162.660,226\end{aligned}$$

Karena harga konstanta kesetimbangan reaksi pertama pada saat T relatif besar, maka reaksi berlangsung searah ke arah kanan (*irreversible*).

Reaksi 2 :

$$\begin{aligned}\Delta H_r^\circ &= \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \\ &= (-966,72 + (-241,80)) - (-750,90 + (-365,30)) \text{ kJ/mol} \\ &= -92,32 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Reaksi kedua merupakan reaksi eksotermis karena nilai ΔH total adalah negatif.

$$\begin{aligned}\Delta G_r^\circ &= (\Delta G_f^\circ) \text{ produk} - (\Delta G_f^\circ) \text{ reaktan} \\ &= (-406,30 + (-228,60)) - (-475,40 + (-118,88)) \text{ kJ/mol} \\ &= -40,62 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Pada suhu $T=25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$ besarnya konstanta kesetimbangan dapat dihitung dengan persamaan (2.3).

$$\begin{aligned}\Delta G_{298} &= -R \cdot T \ln K \\ -40,62 \text{ kJ/mol} &= -(8,314 \cdot 10^{-3} \text{ kJ/mol} \cdot \text{K} \cdot 298,15 \text{ K} \cdot \ln(K)) \\ -40,62 \text{ kJ/mol} &= -2,47881 \text{ kJ/mol} \cdot \ln(K) \\ \ln K_{298} &= 16,386 \\ K_{298} &= 1,308 \cdot 10^7\end{aligned}$$

Pada suhu $T=150^\circ\text{C} = 423,15 \text{ K}$ besarnya konstanta kesetimbangan dapat dihitung dengan persamaan (2.4).

$$\begin{aligned}\ln\left(\frac{K_{423,15}}{1,308 \cdot 10^7}\right) &= \frac{92,32 \text{ kJ/mol}}{\frac{8,314 \cdot 10^{-3} \text{ kJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}}} \times \left(\frac{1}{423,15 \text{ K}} - \frac{1}{298,15 \text{ K}}\right) \\ \ln K_{423,15} - \ln 1,308 \cdot 10^7 &= -11,001 \\ \ln K_{423,15} - 16,386 &= -11,001 \\ \ln K_{423,15} &= 5,384 \\ K_{423,15} &= 218,102\end{aligned}$$

Karena harga konstanta kesetimbangan reaksi kedua pada saat T relatif kecil, maka reaksi dianggap dapat balik (*reversible*).

Berikut adalah perhitungan konversi kesetimbangan reaksi pada suhu 150°C:



$$K = \frac{[\text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{O}_4] [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_3] [\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}]^2}$$

Stokiometri:



$$m : \text{C}_{\text{Ao}} \quad \text{C}_{\text{Bo}}$$

$$r : \text{C}_{\text{Ao}} \cdot X_A \quad \text{C}_{\text{Ao}} \cdot X_A \quad \text{C}_{\text{Ao}} \cdot X_A \quad \text{C}_{\text{Ao}} \cdot X_A$$

$$s : \text{C}_{\text{Ao}}(1-X_A) \quad \text{C}_{\text{Bo}} - \text{C}_{\text{Ao}} \cdot X_A \quad \text{C}_{\text{Ao}} \cdot X_A \quad \text{C}_{\text{Ao}} \cdot X_A$$

$$K = \frac{(\text{C}_{\text{Ao}} \cdot X_A)(\text{C}_{\text{Ao}} \cdot X_A)}{(\text{C}_{\text{Ao}}(1-X_A))(\text{C}_{\text{Bo}} - \text{C}_{\text{Ao}} \cdot X_A)^2}$$

$$K = \frac{\text{C}_{\text{Ao}} \cdot X_A^2}{(1-X_A) \left(\frac{\text{C}_{\text{Bo}}^2}{\text{C}_{\text{Ao}}} - 2 \text{C}_{\text{Bo}} \cdot X_A + \text{C}_{\text{Ao}} \cdot X_A^2 \right)}$$

dengan,

$$K = 218,02$$

$$\text{CAo} = 1,615 \text{ mol/L}$$

$$\text{CBo} = 4,442 \text{ mol/L}$$

Nilai konversi kesetimbangan berdasarkan hasil perhitungan sebesar 99,9%. Hal ini sesuai dengan referensi yang menyatakan bahwa konversi pembentukan DOP sebesar 99,9% (Mc. Ketta, 1983).

Reaksi Total :

$$\begin{aligned} \Delta H_r^\circ &= \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \\ &= (-966,72 + (-241,80)) - (-393,13 + (-365,30)) \text{ kJ/mol} \\ &= -450,09 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Reaksi total, reaksi pembentukan *dioctyl phthalate* merupakan reaksi eksotermis karena nilai ΔH total adalah negatif.

Berdasarkan perhitungan di atas maka dapat disimpulkan bahwa reaksi pembentukan *dioctyl phthalate* merupakan reaksi eksotermis (reaksi yang menghasilkan panas), sehingga nantinya diperhitungkan perlunya pendinginan.

2.2.4. Tinjauan Kinetika



Persamaan kecepatan reaksi menurut Skrzypek et al (1994) adalah:

$$-r_A = k C_A \cdot C_B$$

$$-r_A = k [C_{AO} (1-X_A)][C_{BO} - C_{AO} X_A] \quad (2.7)$$

$$= k C_{AO}^2 (1-X_A) \left(\frac{C_{BO}}{C_{AO}} - X_A \right)$$

$$\tau = \frac{C_{AO} \cdot X_A}{k C_{AO}^2 \cdot (1-X_A) \cdot \left(\frac{C_{BO}}{C_{AO}} - X_A \right)} \quad (2.8)$$

Dengan:

τ : waktu tinggal (menit)

V : volume reaktor (L)

F_A : laju alir (kmol/jam)

C_{AO} : konsentrasi *phthalic anhydride* mula-mula (kmol/L)

C_{BO} : konsentrasi *2-ethyl hexanol* mula-mula (kmol/L)

X_A : konversi

k : konstanta kecepatan reaksi (L/mol.menit)

Menurut Skrzypek et al (1994) nilai konstanta kecepatan reaksi sebesar

$$k = 1,66 \times 10^6 \exp \frac{-11.300}{R.T} \text{ (L/mol.min)} \quad (2.9)$$

Sehingga dari perhitungan didapatkan nilai :

$$k = 2,420766536 \text{ L/mol.min}$$

$$\tau = 145,8791023 \text{ menit} = 2,431 \text{ jam}$$

Karena didapatkan waktu tinggal reaksi esterifikasi *phthalic anhydride* dan *2-ethyl hexanol* dengan katalis asam sulfat menghasilkan *dioctyl phthalate* yang hampir sama menurut Mc Ketta (1983) yaitu terjadi selama 2,5 jam. Maka digunakan waktu tinggal sebesar 2,5 jam.

2.2.5. Kondisi Operasi

Kondisi operasi pada proses pembuatan *dioctyl phthalate* dari *phthalic anhydride* dan *2-ethyl hexanol* dilakukan pada suhu 150-200°C, tekanan 2,5 atm

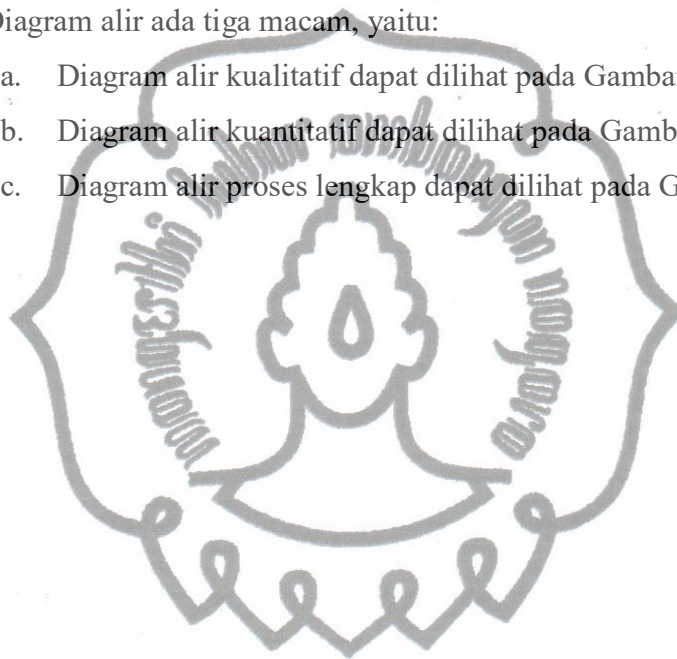
dan konversi 99,9%. Agar reaksi berjalan lebih cepat pada kondisi ini maka digunakan katalis yaitu asam sulfat. (Faith et al., 1961).

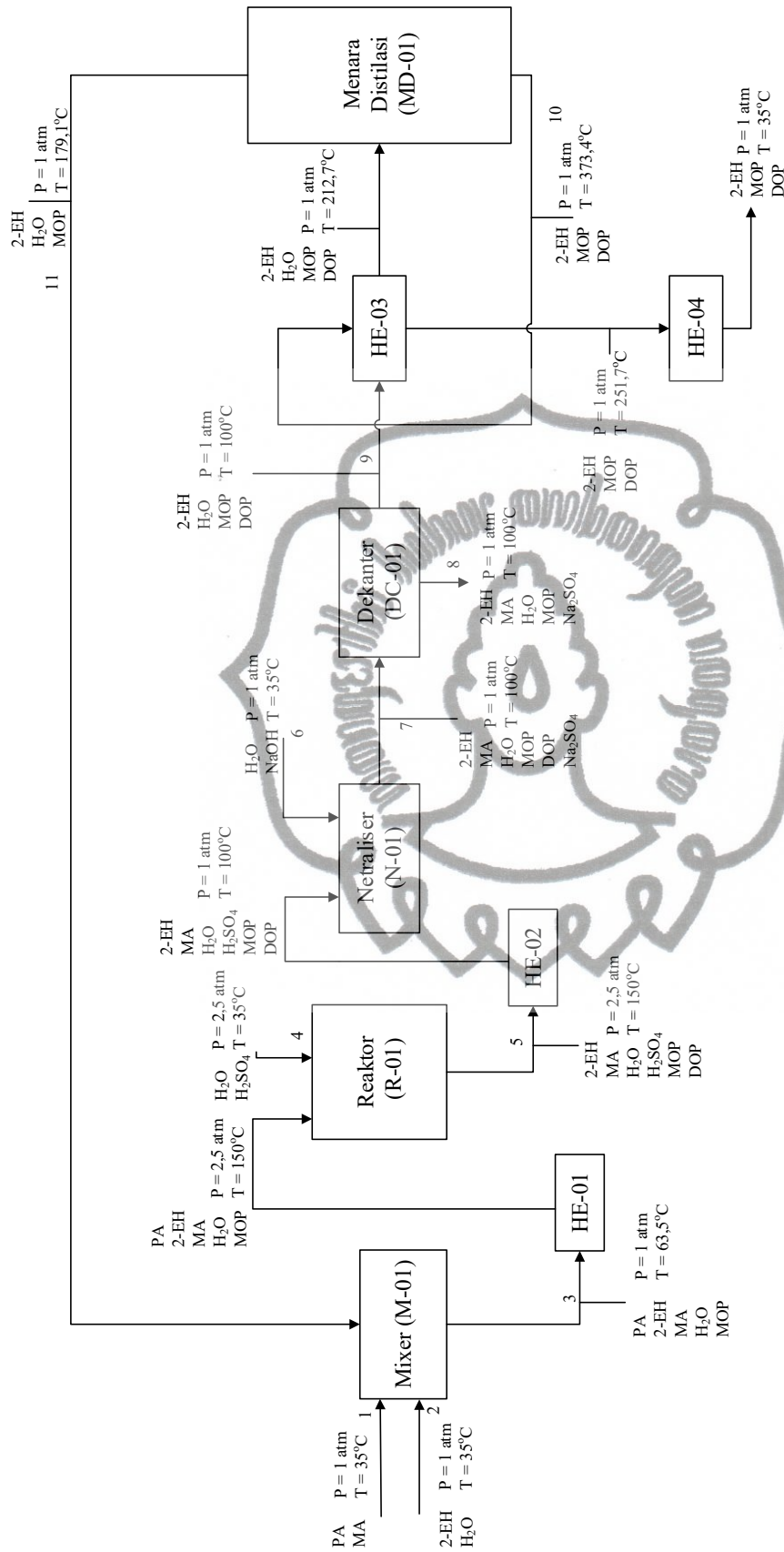
Perbandingan mol reaktan *phthalic anhydride* dan *2-ethyl hexanol* adalah 1:2,75 dan katalis asam sulfat 0,15% wt dari total umpan masuk. (US. Patent, 2759967)

2.2.6. Diagram Alir Proses

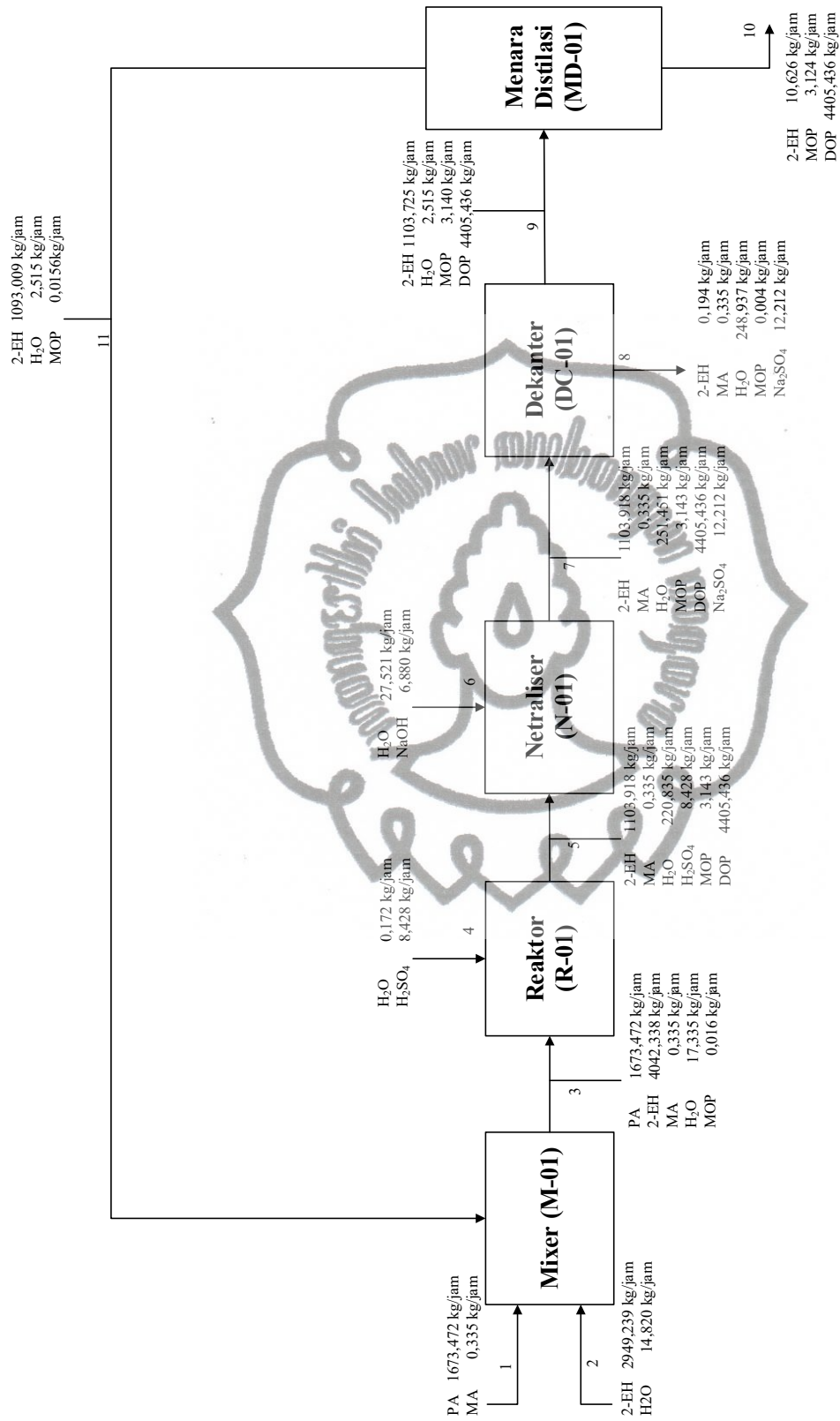
Diagram alir ada tiga macam, yaitu:

- Diagram alir kualitatif dapat dilihat pada Gambar 2.3.
- Diagram alir kuantitatif dapat dilihat pada Gambar 2.4.
- Diagram alir proses lengkap dapat dilihat pada Gambar 2.5.



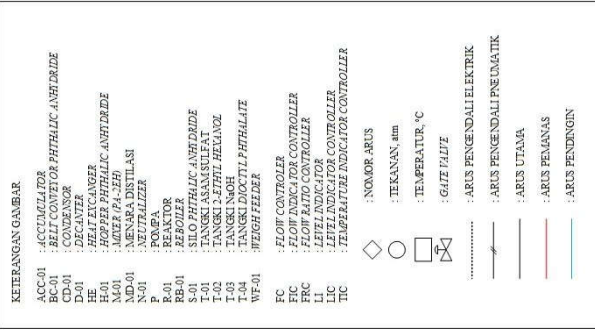
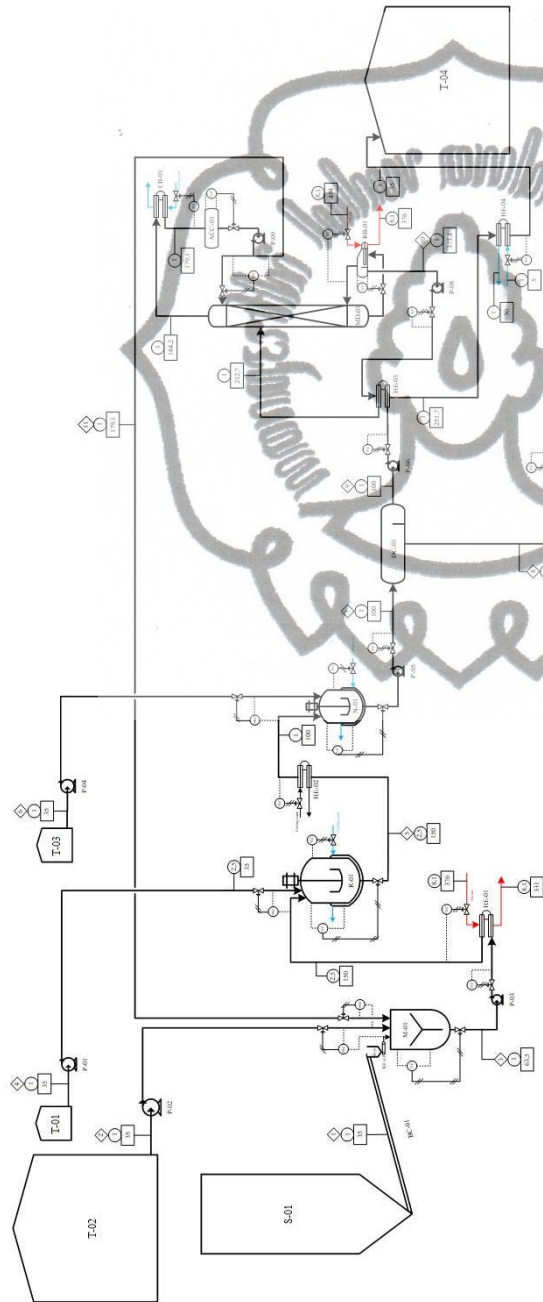


Gambar 2.3 Diagram Alir Kualitatif



Gambar 2.4 Diagram Alir Kuantitatif

DIAGRAM ALIR PROSES
PRARANCANGAN PABRIK DIOCTYL PHTHALATE
DARI PHTHALIC ANHYDRIDE DAN 2-ETHYL HEXANOL
KAPASITAS 35.000 TON/TAHUN



Komponen	Arus 1	Arus 2	Arus 3	Arus 4	Arus 5	Arus 6	Arus 7	Arus 8	Arus 9	Arus 10	Arus 11
PA	1673,472	0,0	1673,472	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2-EH	0,0	2949,239	4042,338	0,0	1103,518	0,0	1103,518	0,194	1103,723	1062,6	1093,099
MA	0,335	0,0	0,335	0,0	0,335	0,0	0,335	0,335	0,0	0,0	0,0
H ₂ O	0,0	14,820	17,335	0,172	220,835	27,521	251,451	248,937	2,515	0,0	2,515
H ₂ SO ₄	0,0	0,0	0,0	8,428	8,428	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NaOH	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,880	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MOP	0,0	0,0	0,016	0,0	3,143	0,0	3,143	0,004	3,440	3,424	0,016
DOP	0,0	0,0	0,0	0,0	4405,436	0,0	4405,436	0,0	4405,436	4405,436	0,0
Na ₂ SO ₄	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,212	12,212	0,0	0,0	0,0
Total	1673,806	2964,060	5733,095	8,600	5742,695	34,401	5776,496	261,681	5514,815	4419,186	1095,629



Dibuat oleh:

ANISA DARMA BRILLANT

10216004

10216042

Dosen Pembimbing:

Dr. Agus Kurniawan, S.T., M.T.

NIP. 197007020000000000

Gambar 2.5 Diagram Alir Proses Lengkap

2.3. Langkah Proses

Langkah Proses esterifikasi dalam pembuatan *dioctyl phthalate* dapat dikelompokkan dalam tiga tahapan proses:

1. Tahap penyiapan bahan baku
2. Reaksi pembentukan *dioctyl phthalate*
3. Tahap pemisahan dan pemurnian hasil

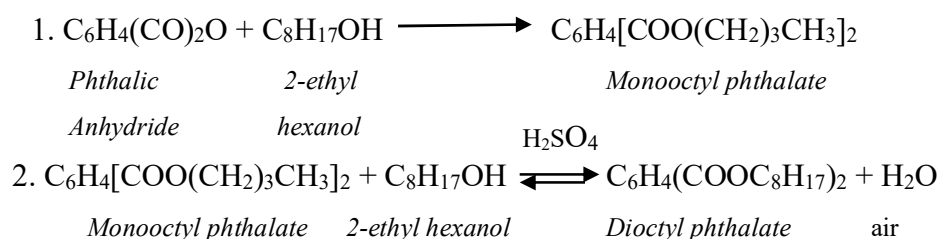
2.3.1. Tahap Penyiapan Bahan Baku

Mula-mula *phthalic anhydride* dari silo (S-01) pada suhu 35°C, tekanan 1 atm dilewatkan *belt conveyor* (BC-01) menuju *hopper* (HP-01) lalu menuju *weighing feeder* (WF-01), dan *2-ethyl hexanol* dari tangki penyimpanan (T-02) pada suhu 35°C, tekanan 1 atm, diumpungkan ke dalam *mixer* (M-01) dengan *2-ethyl hexanol recycle* hasil atas menara distilasi (MD-01) yang bersuhu 179,1°C. Hasil pencampuran tersebut memiliki suhu 63,5°C dipanaskan di dalam *preheater* (HE-01) hingga memiliki suhu 150°C.

2.3.2. Reaksi Pembentukan *Dioctyl Phthalate* (DOP)

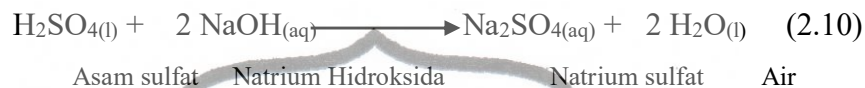
Output preheater (HE-01) beserta katalis H_2SO_4 dari tangki penyimpanan (T-01) dimasukkan ke dalam reaktor (R-01). Komposisi katalis H_2SO_4 98% masuk reaktor adalah 0,15% dari total berat umpan. Reaksi pembentukan *dioctyl phthalate* bersifat eksotermis sehingga reaktor (CSTR) (isothermal) dilengkapi dengan jaket pendingin untuk mempertahankan suhu di dalam reaktor digunakan jaket pendingin untuk mengambil panas reaksi yang timbul. Pendingin yang digunakan adalah air yang masuk pada suhu 35°C dan keluar pada suhu 45°C. Proses reaksi pembentukan *dioctyl phthalate* membutuhkan waktu 2,5 jam dengan konversi 99,9% pada suhu 150 °C dan tekanan operasi 2,5 atm.

Reaksi yang terjadi di reaktor menurut persamaan 2.1 dan 2.2 :



2.3.3. Tahap Pemurnian Hasil

Output dari reaktor diturunkan suhunya dalam *cooler* (HE-02) kemudian menuju *neutralizer* (N-01) hingga memiliki suhu 100°C. Selanjutnya larutan NaOH 20% dari tangki penyimpanan (T-03) di pompa menuju *neutralizer* (N-01) untuk menetralkan H₂SO₄ sehingga terbentuk larutan garam Na₂SO₄ dan air. Reaksi yang terjadi di *netralizer* (N-01):



Destilat menara distilasi (MD-01) ini berupa *2-ethyl hexanol*, *monoethyl phthalate* dan air kemudian di *recycle* untuk dicampur dengan *fresh feed*. Sedangkan hasil bawah menara distilasi berupa *dioctyl phthalate* dengan kemurnian 99,5% (0,24% *2-ethyl hexanol*, 0,26% *monoethyl phthalate*) yang bersuhu 373,4°C dimanfaatkan panasnya dalam HE-03 keluar dengan suhu 251,7°C kemudian didinginkan dalam *cooler* (HE-04) keluar dengan suhu 35°C lalu dialirkan ke tangki penyimpanan *dioctyl phthalate* (T-04).

2.4. Neraca Massa dan Neraca Panas

Kemurnian produk	: <i>dioctyl phthalate</i> 99,5%
Impuritas	: 0,24% <i>2-ethyl hexanol</i> 0,26% <i>monoethyl phthalate</i>
Kapasitas perancangan	: 35.000 ton/tahun
Waktu operasi selama 1 tahun	: 330 hari
Waktu operasi selama 1 hari	: 24 jam

2.4.1. Neraca Massa

Diagram alir neraca massa sistem tabel

Basis perhitungan : 1 jam operasi

Satuan : kg

Tabel 2.2 Neraca Massa Mixer (M-01)

Komponen	<i>Input</i>		<i>Output</i>	
	Arus 1	Arus 2	Arus 11	Arus 3
C ₈ H ₄ O ₃	1673,472	-	-	1673,472
C ₈ H ₁₈ O	-	2949,239	1093,099	4042,338
C ₄ H ₂ O ₃	0,335	-	-	0,335
H ₂ O	-	14,820	2,515	17,335
H ₂ SO ₄	-	-	-	-
NaOH	-	-	-	-
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	-	-	0,016	0,016
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	-	-	-	-
Na ₂ SO ₄	-	-	-	-
Total	1673,806	2964,060	1095,629	5733,495

Tabel 2.3 Neraca Massa Reaktor (R-01)

Komponen	<i>Input</i>		<i>Output</i>
	Arus 3	Arus 4	Arus 5
C ₈ H ₄ O ₃	1673,472	-	-
C ₈ H ₁₈ O	4042,338	-	1103,918
C ₄ H ₂ O ₃	0,335	-	0,335
H ₂ O	17,335	0,172	220,835
H ₂ SO ₄	-	8,428	8,428
NaOH	-	-	-
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	0,016	-	3,143
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	-	-	4405,436
Na ₂ SO ₄	-	-	-
Total	5733,495	8,600	5742,095

Tabel 2.4 Neraca Massa Netralizer (N-01)

Komponen	<i>Input</i>		<i>Output</i>
	Arus 5	Arus 6	Arus 7
C ₈ H ₄ O ₃	-	-	-
C ₈ H ₁₈ O	1103,918	-	1103,918
C ₄ H ₂ O ₃	0,335	-	0,335
H ₂ O	220,835	27,521	251,452
H ₂ SO ₄	8,428	-	-
NaOH	-	6,880	-
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	3,143	-	3,143
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	4405,436	-	4405,436
Na ₂ SO ₄	-	-	12,212
Total	5742,095	34,401	5776,496

Tabel 2.5 Neraca Massa Decanter (D-01)

Komponen	<i>Input</i>	<i>Output</i>	
	Arus 7	Arus 8	Arus 9
C ₈ H ₄ O ₃	-	-	-
C ₈ H ₁₈ O	1103,918	0,194	1103,725
C ₄ H ₂ O ₃	0,335	0,335	-
H ₂ O	251,452	248,937	2,515
H ₂ SO ₄	-	-	-
NaOH	-	-	-
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	3,143	0,004	3,140
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	4405,436	-	4405,436
Na ₂ SO ₄	12,212	12,212	-
Total	5776,496	261,681	5514,815

Tabel 2.6 Neraca Massa Distilasi (MD-01)

Komponen	<i>Input</i>	<i>Output</i>	
	Arus 9	Arus 10	Arus 11
C ₈ H ₄ O ₃	-	-	-
C ₈ H ₁₈ O	1103,725	10,626	1093,099
C ₄ H ₂ O ₃	-	-	-
H ₂ O	2,515	-	2,515
H ₂ SO ₄	-	-	-
NaOH	-	-	-
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	3,140	3,124	0,016
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	4405,436	4405,436	-
Na ₂ SO ₄	-	-	-
Total	5514,815	4419,186	1095,629

Tabel 2.7 Neraca Massa Total

Komponen	<i>Input</i>				<i>Output</i>	
	1	2	4	6	8	11
C ₈ H ₄ O ₃	1673,472	-	-	-	-	-
C ₈ H ₁₈ O	-	2949,239	-	-	0,194	10,626
C ₄ H ₂ O ₃	0,335	-	-	-	0,335	-
H ₂ O	-	14,820	0,172	27,521	248,937	-
H ₂ SO ₄	-	-	8,428	-	-	-
NaOH	-	-	-	6,880	-	-
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	-	-	-	-	0,004	3,124
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	-	-	-	-	-	4405,436
Na ₂ SO ₄	-	-	-	-	12,212	-
Total		4680,87			4680,87	

2.4.2. Neraca Panas

Basis perhitungan : 1 jam operasi

Satuan : kJ/jam

Tabel 2.8 Neraca Panas Mixer (M-01)

Komponen	Panas Masuk			Panas Keluar
	Arus 1	Arus 2	Arus 11	Arus 3
$C_8H_4O_3$	12280,05	-	-	97497,89
$C_8H_{18}O$	-	33144,06	408183,90	355258,87
$C_4H_2O_3$	2,57	-	-	20,26
H_2O	-	310,82	1644,55	2792,44
H_2SO_4	-	-	-	-
$NaOH$	-	-	-	-
$C_{16}H_{22}O_4$	-	-	4,61	1,09
$C_{24}H_{38}O_4$	-	-	-	-
Na_2SO_4	-	-	-	-
Total	12282,62	33454,88	409833,06	455570,55
		455570,55		

Tabel 2.9 Neraca Panas Heater (HE-01)

Komponen	Arus 3		
	Panas Masuk	Q Pemanas	Panas Keluar
$C_8H_4O_3$	97497,89		335452,75
$C_8H_{18}O$	355258,87		1203122,10
$C_4H_2O_3$	20,26		69,22
H_2O	2792,44		9120,16
H_2SO_4	-	1092197,36	-
$NaOH$	-		-
$C_{16}H_{22}O_4$	1,09		3,68
$C_{24}H_{38}O_4$	-		-
Na_2SO_4	-		-
Total	455570,55	1092197,36	1547767,92
		1547767,92	

Tabel 2.10 Neraca Panas Reaktor (R-01)

Komponen	Panas Masuk			Q Reaksi	Panas Keluar	
	Arus 3	Arus 4	Q pelarutan		Arus 5	Q Pendingin
C ₈ H ₄ O ₃	335452,75	-			-	
C ₈ H ₁₈ O	1203122,10	-			328559,53	
C ₄ H ₂ O ₃	69,22	-			69,22	
H ₂ O	9120,16	3,61			116185,06	
H ₂ SO ₄	-	60,34	8068,36	957702,20	1586,94	1014348,37
NaOH	-	-			-	
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	3,68	-			737,52	
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	-	-			1052115,78	
Na ₂ SO ₄	-	-			-	
Total	1547767,92	63,95	8068,36	957702,20	1499254,05	1014348,37
		2513602,42			2513602,42	

Tabel 2.11 Neraca Panas Cooler (HE-02)

Komponen	Panas Masuk	Arus 5	
		Q Pendingin	Panas Keluar
C ₈ H ₄ O ₃	-		-
C ₈ H ₁₈ O	328559,53		192056,38
C ₄ H ₂ O ₃	69,22		40,35
H ₂ O	116185,06		69236,17
H ₂ SO ₄	1586,94	619329,86	934,85
NaOH	-		-
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	737,52		432,34
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	1052115,78		617224,10
Na ₂ SO ₄	-		-
Total	1499254,05	619329,86	879924,20
		1499254,05	

Tabel 2.12 Neraca Panas *Netralizer* (N-01)

Komponen	Panas Masuk			Panas Keluar	
	Arus 5	Arus 6	Q reaksi	Arus 7	Q pendingin
C ₈ H ₄ O ₃	-	-		-	
C ₈ H ₁₈ O	192056,38	-		192056,38	
C ₄ H ₂ O ₃	40,35	-	146739,06	40,35	137914,05
H ₂ O	69236,17	1153,58		78835,18	
H ₂ SO ₄	934,85	-		-	
NaOH	-	149,83		-	
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	432,34	-		432,34	
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	617224,10	-		617224,10	
Na ₂ SO ₄	-	-		1464,25	
Total	879924,20	1303,41	146739,06	890052,61	137914,05
		1027966,66		1027966,66	

Tabel 2.13 Neraca Panas Dekanter (D-01)

Komponen	Panas Masuk	Panas Keluar	
	Arus 7	Arus 8	Arus 9
C ₈ H ₄ O ₃	-	-	-
C ₈ H ₁₈ O	192056,38	33,67	192022,71
C ₄ H ₂ O ₃	40,35	40,35	
H ₂ O	78835,18	78046,83	788,35
H ₂ SO ₄	-	-	-
NaOH	-	-	-
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	432,34	0,4941	431,85
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	617224,10		617224,10
Na ₂ SO ₄	1464,25	1464,25	
Total	890052,61	79585,60	810467,01
		890052,61	

Tabel 2.14 Neraca Panas Heater (HE-03)

Komponen	Arus 9		
	Panas Masuk	Q Pemanas	Panas Keluar
C ₈ H ₄ O ₃	-		-
C ₈ H ₁₈ O	192022,71		513425,80
C ₄ H ₂ O ₃	0,00		-
H ₂ O	788,35		2030,36
H ₂ SO ₄	-	1335258,43	-
NaOH	-		-
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	431,85		1141,95
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	617224,10		1629127,33
Na ₂ SO ₄	0,00		-
Total	810467,01	1335258,43	2145725,43
		2145725,43	

Tabel 2.15 Neraca Panas Menara Distilasi (MD-01)

Komponen	Panas Masuk		Panas Keluar		Q Condenser
	Arus 9	Q reboiler	Arus 10	Arus 11	
C ₈ H ₄ O ₃	-		-	-	
C ₈ H ₁₈ O	513425,80		10665,79	408183,90	
C ₄ H ₂ O ₃	-		-	-	
H ₂ O	2030,36		-	1644,55	
H ₂ SO ₄	-	1889764,35	-	-	273970,03
NaOH	-		-	-	
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	1141,95		2341,20	4,61	
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	1629127,33		3338679,71	-	
Na ₂ SO ₄	-		-	-	
Total	2145725,43	1889764,35	3351686,70	409833,06	273970,03
		4035489,78		4035489,78	

Tabel 2.16 Neraca Panas *Heater* (HE-04)

Komponen	Arus 10		
	Panas Masuk	Q pendingin	Panas Keluar
C ₈ H ₄ O ₃	-	-	-
C ₈ H ₁₈ O	6149,08	-	740,61
C ₄ H ₂ O ₃	-	-	-
H ₂ O	-	-	-
H ₂ SO ₄	-	1840041,15	-
NaOH	-	-	-
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	1402,35	-	133,22
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	2008876,75	-	175513,20
Na ₂ SO ₄	-	-	-
Total	2016428,18	1840041,15	176387,03
		2016428,18	

Tabel 2.17 Neraca Panas Total

Komponen	Panas Masuk (kJ/jam)					Panas Keluar (kJ/jam)		
	Arus 1	Arus 2	Arus 4	Arus 6	Q dibangkitkan	Arus 8	Arus 10	Q dikonsumsi
C ₈ H ₄ O ₃	12280,05	-	-	-	-	-	740,61	-
C ₈ H ₁₈ O	-	33144,06	-	-	-	33,67	-	-
C ₄ H ₂ O ₃	2,57	-	-	-	-	40,35	-	-
H ₂ O	-	310,82	3,61	1153,58	-	78046,83	-	-
H ₂ SO ₄	-	-	60,34	-	-	-	-	-
NaOH	-	-	-	149,83	-	-	-	-
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	-	-	-	-	-	0,49	133,22	-
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	-	-	-	-	-	-	175513,20	-
Na ₂ SO ₄	-	-	-	-	-	1464,25	-	-
Q pemanas	-	-	-	-	1092197,36	-	-	-
Q pelarutan	-	-	-	-	8068,36	-	-	-
Q reaksi	-	-	-	-	1104441,25	-	-	-
Q pendingin	-	-	-	-	-	-	-	3611633,52
Q reboiler	-	-	-	-	1889764,35	-	-	-
Q condenser	-	-	-	-	-	-	-	273970,03
Jumlah	12282,62	33454,88	63,95	1303,41	4094471,33	79585,60	176387,03	3885603,55
Total			4141576,18				4141576,18	

2.5. Lay Out Pabrik dan Peralatan

2.5.1. Lay Out Pabrik

Tata letak adalah tempat kedudukan keseluruhan bagian dari perusahaan yang meliputi tempat kerja alat, tempat kerja orang, tempat penyimpanan bahan dan hasil, tempat utilitas, perluasan, dan lain-lain.

Tata letak pabrik merupakan suatu pengaturan yang optimal dari seperangkat fasilitas-fasilitas dalam pabrik. Tata letak yang tepat sangat penting untuk mendapatkan efisiensi, keselamatan, dan kelancaran kerja para pekerja serta keselamatan proses.

Tata letak pabrik yang baik bertujuan agar:

1. Mempermudah arus masuk dan keluar area pabrik
2. Proses pengolahan bahan baku menjadi produk lebih efisien.
3. Mempermudah penanggulangan bahaya yang mungkin terjadi seperti kebakaran, ledakan dan lain-lain.
4. Mencegah terjadinya polusi.
5. Mempermudah pemasangan, pemeliharaan dan perbaikan.
6. Menekan biaya produksi serendah mungkin dengan hasil yang maksimum.

Untuk mencapai hasil yang optimal, maka hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan tata letak pabrik adalah:

1. Perlu disediakan areal perluasan produksi yang tidak jauh dari proses lama.
2. Faktor keamanan, keamanan dalam bahaya kebakaran sangat penting sehingga dalam merencanakan *lay out* selalu diusahakan untuk memisahkan sumber api dan panas dari sumber bahan yang mudah meledak. Unit-unit yang ada dikelompokkan agar memudahkan pengalokasian bahaya kebakaran yang mungkin terjadi.
3. Sistem konstruksi yang direncanakan adalah *out door* untuk menekan biaya bangunan gedung, sedangkan jalannya proses dalam pabrik tidak dipengaruhi oleh perubahan musim.

4. Fasilitas untuk karyawan seperti masjid, kantin, parkir dan sebagainya diletakkan strategis sehingga tidak mengganggu jalannya proses.
5. Jarak antara pompa dan peralatan proses harus diperhitungkan agar tidak mengalami kesulitan dalam melakukan pemeliharaan dan perbaikan.
6. Disediakan tempat untuk membersihkan alat agar tidak mengganggu peralatan lain.
7. Jarak antara unit yang satu dengan yang lain diatur sehingga tidak saling mengganggu.
8. Sistem perpipaan diletakkan pada posisi yang tidak mengganggu operator dan memberikan warna atau simbol yang jelas untuk masing-masing proses sehingga memudahkan bila terjadi kerusakan dan kebocoran.

(Vilbrant, 1959)

Secara garis besar *lay out* pabrik ini dibagi menjadi beberapa daerah utama, yaitu:

- a. Daerah perkantoran, laboratorium dan ruang kontrol

Merupakan pusat kegiatan administrasi pabrik yang mengatur kelancaran operasi. Laboratorium dan ruang kontrol sebagai pusat pengendalian proses, kualitas dan kuantitas bahan yang akan diproses serta produk yang dijual

- b. Daerah proses

Merupakan daerah dimana alat proses diletakkan dan proses berlangsung.

- c. Daerah penyimpanan bahan baku dan produk.

Merupakan daerah untuk tangki bahan baku dan produk.

- d. Daerah gudang, bengkel dan garasi.

Merupakan daerah untuk menampung bahan-bahan yang diperlukan oleh pabrik dan untuk keperluan perawatan peralatan proses.

- e. Daerah utilitas

Merupakan daerah dimana kegiatan penyediaan bahan pendukung proses berlangsung dipusatkan.

(Vilbrant, 1959)

2.5.2. Lay Out Peralatan

Dalam menentukan tata letak peralatan ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu:

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menentukan *lay out* peralatan proses pada pabrik *dioctyl phthalate*, antara lain:

1. Aliran bahan baku dan produk

Pengaliran bahan baku dan produk yang tepat akan memberikan keuntungan ekonomi yang besar serta menunjang kelancaran dan keamanan produksi.

2. Aliran udara

Aliran udara di dalam dan di sekitar area proses perlu diperhatikan kelancarannya. Hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya stagnasi udara pada suatu tempat sehingga mengakibatkan akumulasi bahan kimia yang dapat mengancam keselamatan pekerja.

3. Cahaya

Penerangan seluruh pabrik harus memadai dan pada tempat-tempat proses yang berbahaya atau beresiko tinggi perlu adanya penerangan tambahan.

4. Lalu lintas manusia

Dalam perancangan *lay out* pabrik perlu diperhatikan agar pekerja dapat mencapai seluruh alat proses dengan cepat dan mudah. Hal ini bertujuan apabila terjadi gangguan pada alat proses dapat segera diperbaiki. Keamanan pekerja selama menjalani tugasnya juga diprioritaskan.

5. Pertimbangan ekonomi

Dalam menempatkan alat-alat proses diusahakan dapat menekan biaya operasi dan menjamin kelancaran dan keamanan produksi pabrik.

6. Jarak antar alat proses

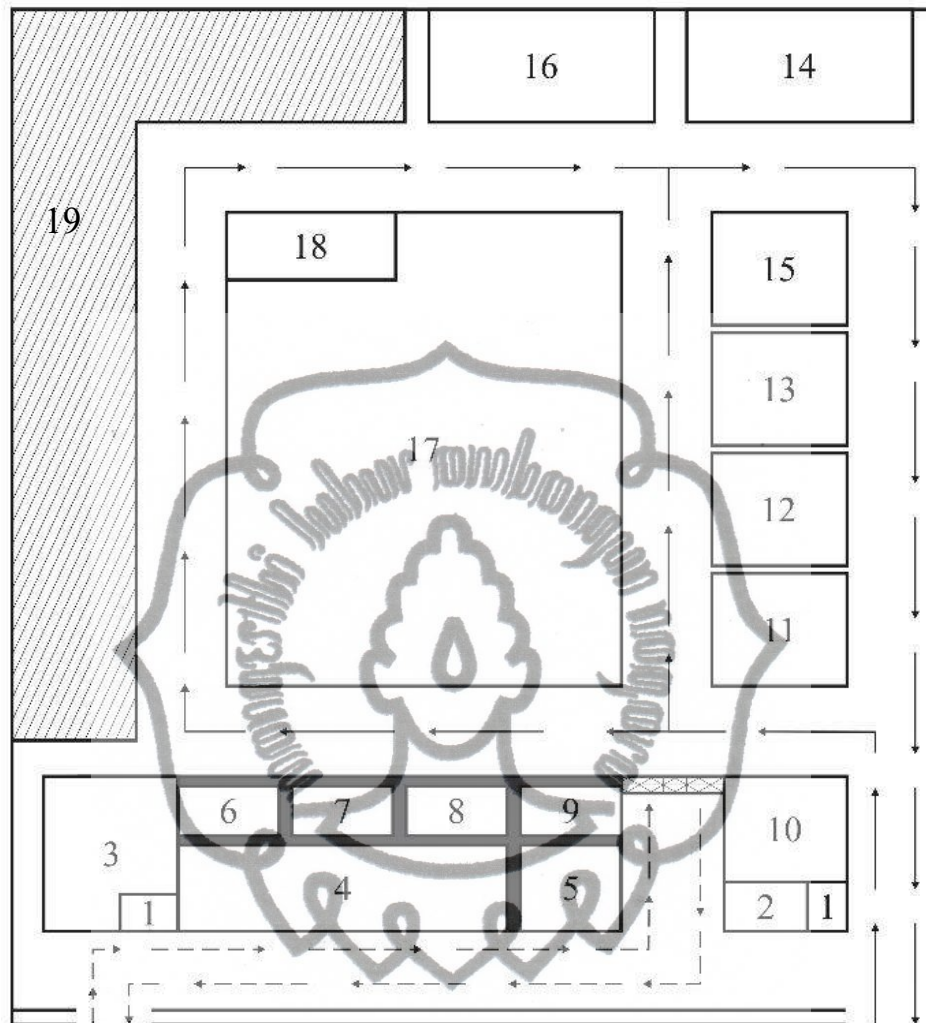
Untuk alat proses yang mempunyai suhu dan tekanan operasi tinggi sebaiknya dipisahkan dengan alat proses lainnya, sehingga apabila terjadi ledakan atau kebakaran pada alat tersebut maka kerusakan dapat diminimalkan.

(Vilbrant, 1959)

Pabrik ini direncanakan menempati lahan seluas 0,8 ha, dengan perincian sebagai berikut:

- Kantor dan fasilitas lain: 4000 m²
- Unit Proses, Utilitas, Pengolahan Limbah: 3000 m²
- Tanah perluasan: 1000 m²



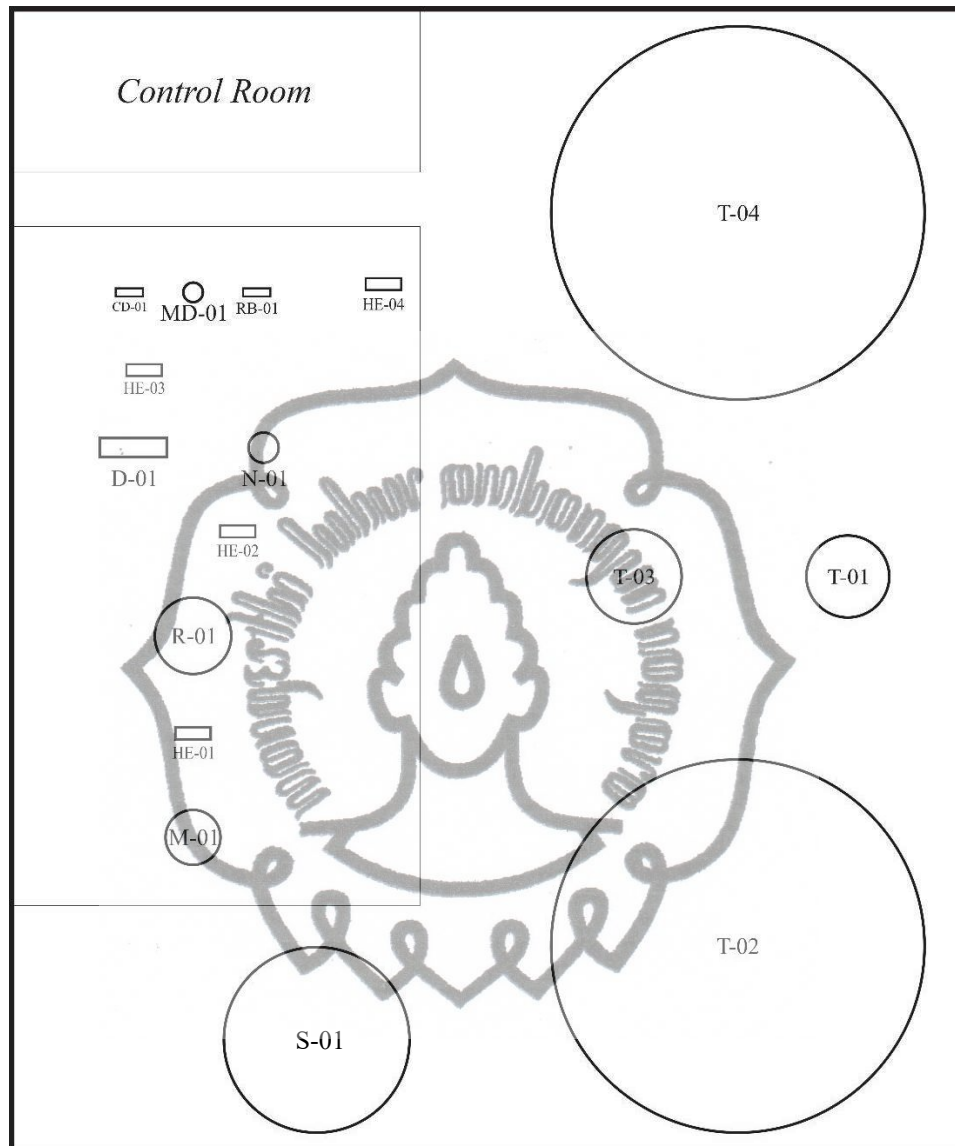


Skala 1 : 300

Keterangan Gambar :

- | | | |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1. Pos Satpam | 8. Perpustakaan | 15. Pemadam Kebakaran |
| 2. Kantor Keamanan Utama | 9. Gedung K3 | 16. Unit Utilitas |
| 3. Parkir | 10. Parkir Pekerja Pabrik | 17. Unit Proses |
| 4. Area Perkantoran | 11. Laboratorium | 18. Control Room |
| 5. Masjid | 12. Garasi | 19. Area Perluasan |
| 6. Poliklinik | 13. Bengkel | |
| 7. Kantin | 14. Gudang | |

Gambar 2.6 Tata Letak Pabrik *Diethyl phthalate*



Skala 1 : 100

Keterangan Gambar:

CD-01 : *Condensor*

D-01 : *Decanter*

HE : *Heat Exchanger*

MD-01 : *Menara Distilasi*

M-01 : *Mixer*

N-01 : *Netralizer*

R-01 : *Reaktor*

RB-01 : *Reboiler*

S-01 : *Silo Phthalic anhydride*

T-01 : *Tangki Asam Sulfat*

T-02 : *Tangki 2-Ethyl Hexanol*

T-03 : *Tangki NaOH*

T-04 : *Tangki Dioctyl Phthalate*

Gambar 2.7 Tata Letak Alat Proses *Dioctyl phthalate*