



## LAMPIRAN A

### REAKTOR ALIR TANGKI BERPENGADUK

Fungsi : Tempat berlangsungnya reaksi antara *Phthalic Anhydride* dan etanol dengan katalis asam sulfat

Jenis : Reaktor Tangki Alir Berpengaduk (RATB)

Kondisi Operasi : Eksotermis

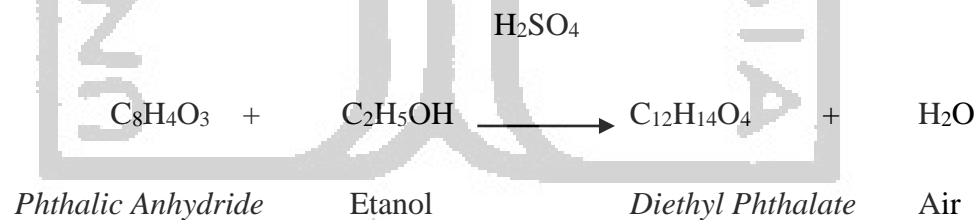
$$T = 120 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P = 1 \text{ atm}$$

Konversi : 90%

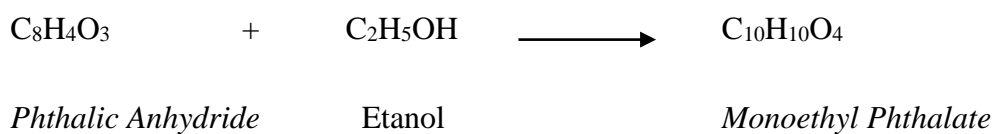
#### A. Menghitung Neraca Massa didalam Reaktor

Di dalam reaktor terjadi pembuatan *Diethyl Phthalate* oleh *Phthalic Anhydride* dan etanol

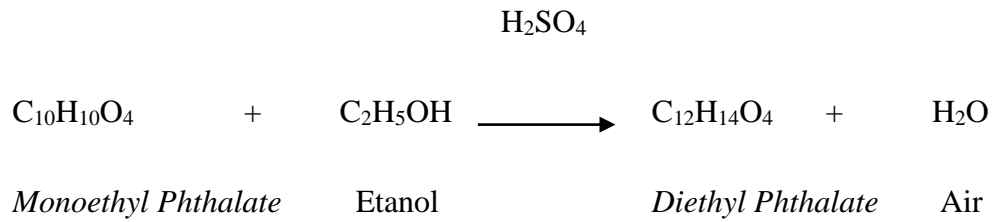


dengan mekanisme reaksi sebagai berikut :

Reaksi (1)



Reaksi (2)

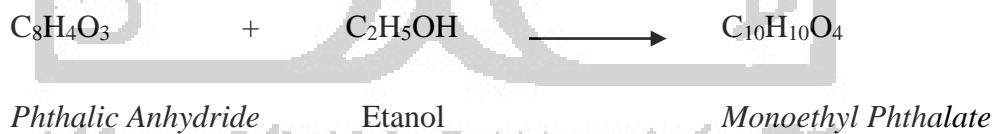


Diketahui :

**Tabel 1.** Umpan Masuk Reaktor

| Komponen                | Formula                          | BM  | Massa, kg/jam    | Fraksi Massa | Mol, kmol/jam  | Fraksi Mol |
|-------------------------|----------------------------------|-----|------------------|--------------|----------------|------------|
| Phthalic Anhidrid       | $\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_3$ | 148 | 3632,4635        | 0,6237       | 24,5437        | 0,3332     |
| <i>Maleic Anhydride</i> | $\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_3$ | 98  | 1,2032           | 0,0002       | 0,0123         | 0,0002     |
| Etanol                  | $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  | 46  | 2146,1901        | 0,3685       | 46,6563        | 0,6333     |
| Air                     | $\text{H}_2\text{O}$             | 18  | 45,6542          | 0,0276       | 2,5363         | 0,1333     |
| Asam Sulfat             | $\text{H}_2\text{SO}_4$          | 98  | 71,2199          | 0,9800       | 0,0807         | 0,9000     |
| <b>Total</b>            |                                  |     | <b>5896,7309</b> | <b>1</b>     | <b>74,4753</b> | <b>1</b>   |

Pada reaksi (1) :



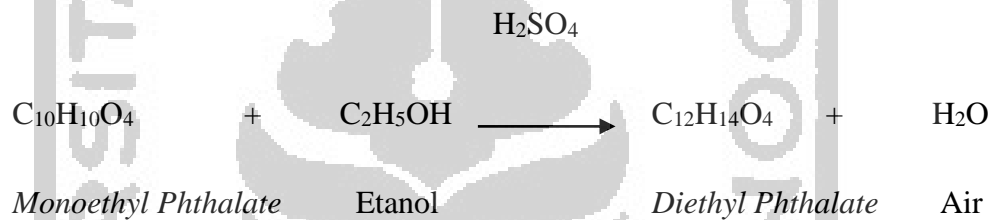
Bahan baku *Phthalic Anhydride* diasumsikan bereaksi secara sempurna (konversi 100%), sehingga dapat diketahui dengan mudah *Monoethyl Phthalate* yang terbentuk, yaitu :

$$\frac{1}{1} \times \text{laju alir } \textit{Phthalic Anhydride} = 24,5437 \text{ kmol/jam}$$

**Tabel 2.** Neraca Massa Setelah Terjadi Reaksi Pertama

| Komponen                   | Formula  | BM  | Massa, kg/jam    | Fraksi Massa | Mol, kmol/jam  | Fraksi Mol |
|----------------------------|--|-----|------------------|--------------|----------------|------------|
| <i>Maleic Anhydride</i>    | C <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 98  | 1,2032           | 0,0002       | 0,0123         | 0,0002     |
| Etanol                     | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH               | 46  | 1017,1811        | 0,1725       | 22,1126        | 0,4429     |
| Air                        | H <sub>2</sub> O                               | 18  | 45,6542          | 0,0077       | 2,5363         | 0,0508     |
| Asam Sulfat                | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                 | 98  | 71,2199          | 0,0121       | 0,7267         | 0,0146     |
| <i>Monoethyl Phthalate</i> | C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub> | 194 | 4761,4725        | 0,8075       | 24,5437        | 0,4915     |
| <b>Total</b>               |  |     | <b>5896,7309</b> | 1            | <b>74,4753</b> | 1          |

Pada reaksi (2) :



Pada reaksi ini terjadi reaksi dengan konversi sebesar 90% dari etanol terhadap *Phthalic Anhydride*, karena *Phthalic Anhydride* merupakan pereaksi pembatas. Sehingga akan didapatkan neraca massa pada reaktor setelah reaksi kedua atau neraca massa umpan keluar reaktor.

**Tabel 3.** Umpan Keluar Reaktor

| Komponen                   | Formula  | BM  | Massa, kg/jam    | Fraksi Massa | Mol, kmol/jam  | Fraksi Mol |
|----------------------------|--|-----|------------------|--------------|----------------|------------|
| <i>Maleic Anhydride</i>    | C <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 98  | 1,2032           | 0,0002       | 0,0123         | 0,0002     |
| Etanol                     | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH               | 46  | 1,0731           | 0,0002       | 0,0233         | 0,0005     |
| Air                        | H <sub>2</sub> O                               | 18  | 443,2617         | 0,0752       | 24,6256        | 0,4932     |
| Asam Sulfat                | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                 | 98  | 71,2199          | 0,0121       | 0,7267         | 0,0146     |
| <i>Monoethyl Phthalate</i> | C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub> | 194 | 476,1472         | 0,0807       | 2,4544         | 0,0492     |
| <i>Diethyl Phthalate</i>   | C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub> | 222 | 4903,8258        | 0,8316       | 22,0893        | 0,4424     |
| <b>Total</b>               |  |     | <b>5896,7309</b> | 1            | <b>74,4753</b> | 1          |

## 1. Menentukan Konstanta Kecepatan Reaksi

Nilai laju reaksi mengaju pada jurnal : *Kinetics of the esterification of phthalic anhydride with 2-ethylhexanol, sulfuric acid as a catalyst* (Jerz Skrzypek, dkk, 1994). Dimana nilai k mengikui model Arrhenius :

$$k = 1,66 \times 10^6 e^{\frac{-11300}{1,987 \times T}} \left( \frac{L}{mol.menit} \right) \dots (1)$$

Sehingga, nilai k yang didapat adalah  $51,7292 \frac{m^3}{kmol.jam}$

## 2. Menghitung Konsentrasi

Dari neraca massa pada reaksi pertama, maka didapatkan nilai densitas dan laju alir volumetrik sebagai berikut :

Asumsi :

- Reaksi orde 2
- Reaksi *irreversible*

**Tabel 4.** Densitas dan Laju Alir Volumetrik

| Komponen                   | Formula  | BM  | Massa, kg/jam    | Mol, kmol/jam  | Densitas (kg/m <sup>3</sup> ) | Fv (m <sup>3</sup> /jam) |
|----------------------------|--|-----|------------------|----------------|-------------------------------|--------------------------|
| <i>Maleic Anhydride</i>    | C <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 98  | 1,2032           | 0,0123         | 1233,9988                     | 0,0010                   |
| Etanol                     | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH               | 46  | 1017,1811        | 22,1126        | 686,3242                      | 1,4821                   |
| Air                        | H <sub>2</sub> O                               | 18  | 45,6542          | 2,5363         | 935,2567                      | 0,0488                   |
| Asam Sulfat                | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                 | 98  | 71,2199          | 0,7267         | 1713,6586                     | 0,0416                   |
| <i>Monoethyl Phthalate</i> | C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub> | 194 | 4761,4725        | 24,5437        | 1598,3500                     | 2,9790                   |
| <b>Total</b>               |  |     | <b>5896,7309</b> | <b>74,4753</b> |                               | <b>4,5524</b>            |

Mengikuti jurnal penelitian di atas juga didapat kecepatan reaksinya menjadi :

$$-r_c = k \cdot C_C \cdot C_H \quad \dots (2)$$

Dimana :  $-r_c$  : kecepatan reaksi

$k$  : konstanta kecepatan reaksi

$C_C$  : konsentrasi  $C_{10}H_{10}O_4$

$C_H$  : konsentrasi katalis  $H_2SO_4$

– Konsentrasi  $C_{10}H_{10}O_4$  ( $C_{C0}$ )

$$C_{C0} = \frac{\text{Mol } C_{10}H_{10}O_4}{\Sigma Fv} = 5,3914 \text{ kmol/m}^3$$

– Konsentrasi  $H_2SO_4$

$$C_{H0} = \frac{\text{Mol } H_2SO_4}{\Sigma Fv} = 0,1596 \text{ kmol/m}^3$$

### 3. Menghitung Volume Reaktor

$$R_{in} - R_{out} - R_{reaksi} = R_{acc}$$

$$F_{A0} - F_A - (-r_A)V = 0$$

$$F_{A0} - F_A = (-r_A)V$$

$$\frac{(F_{A0} - F_A)}{(-r_A)} = V$$

$$\frac{F_{A0} - (F_{A0} - F_{A0}X)}{(-r_A)} = V$$

$$\frac{F_{A0} - F_{A0}(1 - X)}{(-r_A)} = V$$

$$V = \frac{F_{A0}X}{(-r_A)} \quad \dots (3)$$

Dari persamaan (2) dapat dimasukkan kedalam persamaan (3) dengan penjabaran sebagai berikut :

$$-r_c = k \cdot C_c \cdot C_H$$

Dimana

$$r_c = r_A$$

$$C_c = C_A$$

$$C_H = C_B$$

$$V = \frac{F_{A0}X}{k \cdot C_A \cdot C_B}$$

$$V = \frac{F_{A0}X}{k(C_{A0} - C_{A0}X) \cdot (C_{B0} - C_{A0}X)}$$

$$V = \frac{F_{A0}X}{k \cdot C_{A0}(1-X) \cdot (C_{B0} - C_{A0}X)} \quad \dots (4)$$

$$V = 4,9615 \text{ m}^3$$

Karena volume yang didapatkan kecil, maka tidak perlu dilakukannya optimasi.

## B. Perancangan Reaktor

Volume cairan dalam reaktor

$$\begin{aligned} V \text{ cairan} &= 4,9615 \text{ m}^3 \\ &= 4961,5 \text{ liter} \\ &= 1310.6896 \text{ gallon} \end{aligned}$$

Volume reaktor, *overdesign* 20%

$$\begin{aligned} V_{\text{reaktor}} &= 5,9538 \text{ m}^3 \\ &= 5953,7999 \text{ liter} \\ &= 210,2565 \text{ ft}^3 \\ &= 363323,1675 \text{ in}^3 \end{aligned}$$

### 1. Menentukan Diameter dan Tinggi Tangki Reaktor

Dipilih RATB berbentuk silinder tegak dengan perbandingan  $D : H = 1 : 1$

(Brownell & Young, table 3.3, P.43)

$$V_{\text{reaktor}} = 5953,7999 \text{ liter}$$

$$V_{\text{reaktor}} = V_{\text{Shell}} + V_{\text{Head}}$$

$$V_{\text{shell}} = \frac{\pi}{4} x D^2 x H \quad D = H$$

$$V_{\text{head}} = 2(V_{\text{dish}} + V_{\text{sf}}) \quad D = \text{in} ; V = \text{in}^3$$

$$V_{\text{dish}} = 0,000049D^3 \quad \text{sf} = 2$$

$$V_{\text{sf}} = \frac{\pi}{4} x D^3 x \frac{\text{sf}}{144}$$

(Brownell & Young, P.88)

$$V_{\text{reaktor}} = \left( \frac{\pi}{4} x D^3 \right) + 2 \left( 0,000049D^3 + \frac{\pi}{4} x D^3 x \frac{\text{sf}}{144} \right)$$

$$V_{\text{reaktor}} = \left( \frac{\pi}{4} x D^3 \right) + 0,0274D^3$$



Maka,

$$D = 6,4997 \text{ ft}$$

$$= 1,9812 \text{ m}$$

$$= 77,9969 \text{ in}$$

$$H = 6,4997 \text{ ft}$$

$$= 1,9812 \text{ m}$$

$$= 77,9969 \text{ in}$$

## 2. Menentukan Tebal Dinding (*Shell*) Reaktor

Digunakan persamaan :

$$t_s = \frac{P \cdot r_i}{f \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \quad (\text{Eq.13-12, P.25 Brownell \& Young})$$

Dimana :  $t_s$  : Tebal dinding shell, in

$P$  : Tekanan design (Poperasi x 1,2) = 17,64 psi

$r_i$  : Jari-jari reaktor, in = 38,6763 in

$E$  : Efisiensi sambungan las = 0,85

$F$  : Tekanan maksimal yang diizinkan = 15000

$C$  : Korosi yang diizinkan = 0,125 in

Maka :  $t_s = 0,1786 \text{ in}$

Digunakan tebal *shell* standar = 3/16 in

$$= 0,1875 \text{ in}$$

$$\text{ID shell} = 77,3527 \text{ in}$$

$$\text{OD shell} = \text{ID shell} + 2ts$$

$$= 77,7277 \text{ in}$$

Sehingga,

$$\text{OD standar} = 78 \text{ in} \quad (\text{Brownell \& Young, table 5.7, P.55})$$

$$\text{ID standar} = 77,63 \text{ in}$$

### 3. Menentukan Tebal *Head*

Bahan konstruksi : *Stainless Steel SA 301 Grade B*

Bentuk *head* : *Flanged and Dished Head (Torispherical)*

Pertimbangan yang dilakukan dalam pemilihan jenis *head* meliputi :

- *Flanged & Standard Dished Heaad*

Umumnya digunakan untuk tekanan operasi rendah, harganya murah dan digunakan untuk tangki dengan diameter kecil.

- *Torispherical Flanged & Dished Head*

Digunakan untuk tekanan operasi hingga 15 bar dan harganya cukup ekonomis.

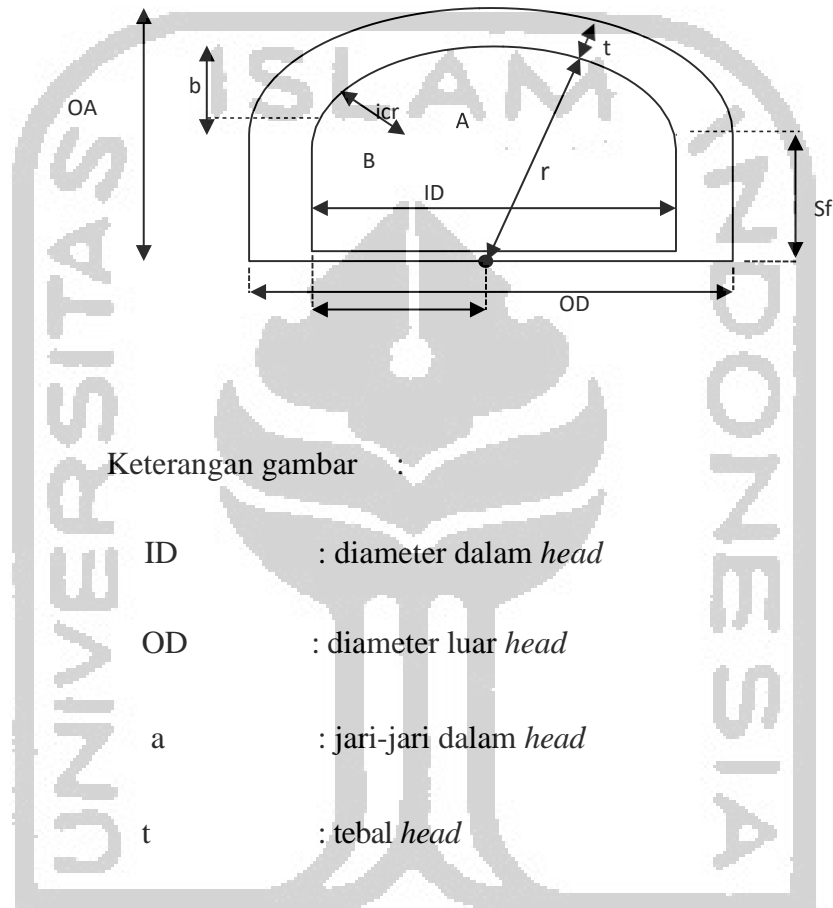
- *Eliptical Dished Head*

Digunakan untuk tekanan operasi tinggi dan harganya cukup mahal.

- *Hemispherical Head*

Digunakan untuk tekanan operasi sangat tinggi,  
kuat dan ukutan yang tersedia terbatas.

(P-87 Brownell, 1959)



Keterangan gambar :

ID : diameter dalam *head*

OD : diameter luar *head*

a : jari-jari dalam *head*

t : tebal *head*

r : jari-jari dalam *head*

icr : *inside corner radius*

b : *deep of dish*

Sf : *straight of flanged*

OA : *tinggi head*

Tebal *head* dihitung dengan persamaan berikut :

$$t_h = \frac{P \cdot r_c \cdot w}{2fE - 0,2P} + C \quad (\text{Eq. 13-12, P.25 Brownell\&Young})$$

Dimana :  $w = \frac{1}{4} \times \left( \sqrt{\frac{rc}{icr}} \right)$

w = tebal *head* minimum

$$w = 1,7631 \text{ in}$$

$$rc = \text{OD shell} = 78 \text{ in}$$

sehingga,  $th = 0,2201 \text{ in}$

$$th \text{ standar} = 0,25 \text{ in}$$

#### 4. Menentukan Ukuran *Head*

Ukuran *Head* :

$$rc = \text{OD shell} = 78 \text{ in}$$

$$icr = 4,75 \text{ in} \quad (\text{Brownell\&Youn, P.89})$$

$$sf = 2 \text{ in} \quad (\text{Tabel 5.8, P-93, Brownell\&Young})$$

$$b = rc - \sqrt{(rc - icr)^2 - \left(\frac{D}{2} - icr\right)^2}$$

Jadi, tinggi *head* total :

$$OA = sf + b + th$$

$$OA = 15,5005 \text{ in}$$

$$= 0,3937 \text{ m}$$

Volume *head* total ( $V_{head}$ ) = Volume *head* ( $V_h$ ) + Volume *flange* ( $V_{sf}$ )

Volume sebuah *head* untuk *Torispherical Dished Head* :

$$V_h = 0,000049 \times ID^3 \quad (\text{Eq.5-11, p.88 Brownell\&Young})$$

$$V_{sf} = \frac{\pi}{4} \times ID^3 \times \frac{sf}{144}$$

Jadi, volume *head* total adalah

$$V_{head} = (0,000049 \times ID^3) + \left(\frac{\pi}{4} \times ID^3 \times \frac{sf}{144}\right)$$

Volume *shell* ( $V_s$ ) = Volume *design* – Volume *head* total

$$= (372523,3200 - 179,1711) \text{ in}^3$$

$$= 372344,1489 \text{ in}^3$$

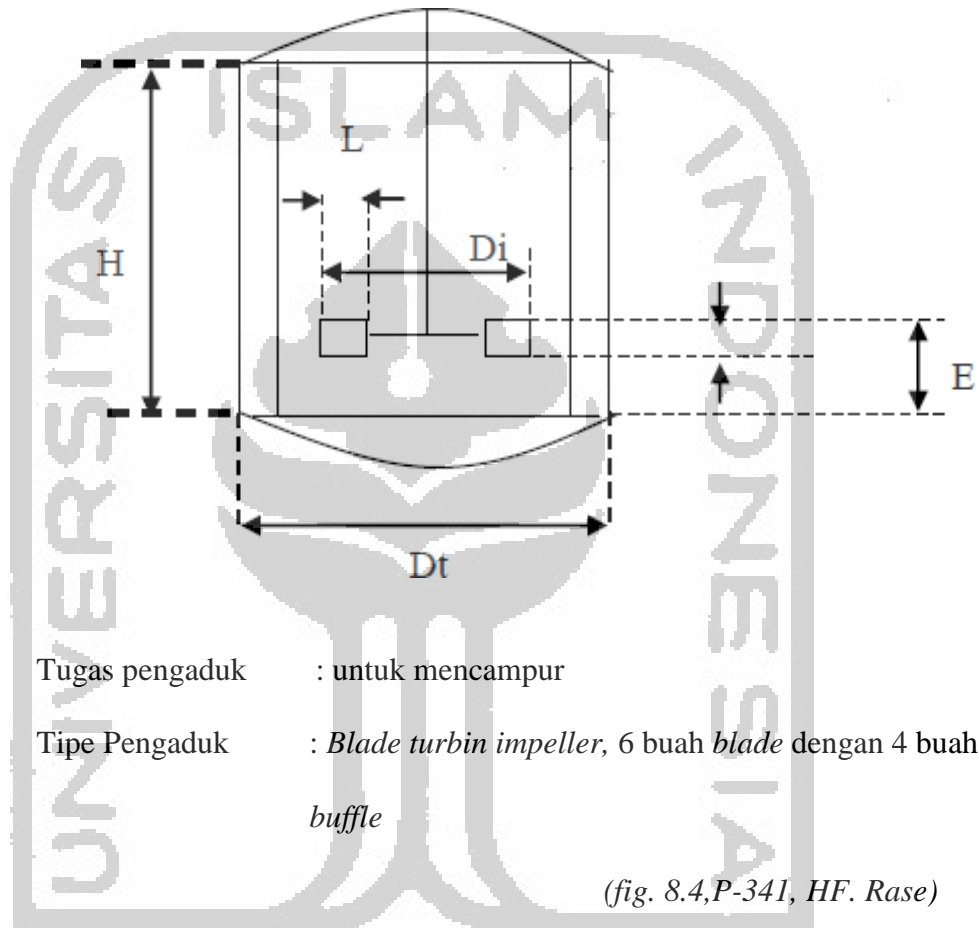
$$= 6,1016 \text{ m}^3$$

Tinggi reaktor = Tinggi *shell* + (2x Tinggi *head*)

$$= 1,9812 \text{ m} + (2 \times 0,3937 \text{ m})$$

$$= 2,7686 \text{ m}$$

## 5. Merancang Pengaduk Reaktor



Diketahui :

$$Dt = 77,63 \text{ in}$$

$$= 1,9717 \text{ m}$$

$$\text{Diameter pengaduk (Di)} = \frac{Dt}{3} = 0,6572 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi pengaduk (W)} = \frac{Di}{5} = 0,1314 \text{ m}$$

$$\text{Lebar pengaduk (L)} = \frac{Di}{4} = 0,1643 \text{ m}$$

$$\text{Lebar baffle (B)} = ID/12 = 0,1643 \text{ m}$$

Jarak pengaduk dengan dasar tangki ( $Z_i$ ) =  $D_i \times (0,75 - 1,3)$ , dipilih 1

$$= D_i \times 1 = 0,6572 \text{ m}$$

Ringkasan Ukuran Reaktor :

- Diameter dalam reaktor ( $D_t$ ) = 1,9717 m
- Tinggi reaktor ( $Z_R$ ) = 2,7686 m
- Jarak pengaduk dari dasar ( $Z_i$ ) = 0,6572 m
- Diameter pengaduk ( $D_i$ ) = 0,6572 m
- Lebar pengaduk ( $L$ ) = 0,1643 m
- Tinggi pengaduk ( $W$ ) = 0,1314 m
- Lebar baffle ( $B$ ) = 0,1643 m

## 6. Menghitung Kecepatan Pengaduk didalam Reaktor

$$N = \frac{600}{\pi D_i} \sqrt{\frac{WELH}{2D_i}} ; WELH = Z_L \times S_g \quad (\text{Eq.8-8,P-345, HF. Rase})$$

Dimana :

WELH : Water Equipment Liquid Height

$D_i$  : Diameter pengaduk, ft

$N$  : Kecepatan putaran pengaduk, rpm

$W$  : Tinggi pengaduk, ft

$$WELH = Z_L \times \left( \frac{\rho_{\text{cairan}}}{\rho_{\text{air}}} \right) = 4,2292 \text{ m}$$

$$= 13,8752 \text{ ft}$$

$$N = \frac{600}{\pi D_i} \sqrt{\frac{WELH}{2D_i}} = 158,8784 \text{ rpm}$$

Kecepatan pengaduk (N) standar yang digunakan adalah 190 rpm. (P-288,

Wallas)

### 7. Menghitung Bilangan Reynold

$$N_{re} = \frac{N \cdot D_i^2 \cdot \rho}{\mu} = 633564,5124$$

Karena  $N_{re} > 2100$  maka alirannya *turbulen*

Dengan mempergunakan *fig.9.12 McCabe P.250* diperoleh  $N_p = 6$

### 8. Menghitung Power

$$Power = \frac{N_p \rho N^3 D_i^5}{g_c} = 42,34529 \text{ Hp}$$

Digunakan Hp standar = 60 Hp (standar NEMA)



### C. Menghitung Neraca Panas Reaktor

**Tabel 5.** Daa Entalpi

| Komponen                   | Formula           | $\Delta H_f$ (kcal/mol) |
|----------------------------|-------------------|-------------------------|
| <i>Phthalic Anhydride</i>  | $C_8H_4O_3$       | -393,13                 |
| Etanol                     | $C_2H_5OH$        | -235                    |
| <i>Monoethyl Phthalate</i> | $C_{10}H_{10}O_4$ | -663                    |
| <i>Diethyl Phthalate</i>   | $C_{12}H_{14}O_4$ | -688,3                  |
| Air                        | $H_2O$            | -241,8                  |

$$\Delta HR^\circ = (\sum n_i \cdot \Delta H_f^\circ)_{produk} - (\sum n_i \cdot \Delta H_f^\circ)_{reaktan}$$

$$\Delta HR^\circ = -7376686,3540 \text{ kcal/jam}$$

**Tabel 6.** Neraca Panas Umpan Masuk Reaktor

| Komponen                  | Formula     | Massa (kg/jam)   | Cp (kcal/kg) | $\Delta H_m$ (kcal/jam) |
|---------------------------|-------------|------------------|--------------|-------------------------|
| <i>Phthalic Anhydride</i> | $C_8H_4O_3$ | 3632,4635        | 17,3560      | 63044,8616              |
| <i>Maleic Anhydride</i>   | $C_4H_2O_3$ | 1,2032           | 57,2295      | 68,8609                 |
| Etanol                    | $C_2H_5OH$  | 2146,1901        | 56,5324      | 121329,2775             |
| Air                       | $H_2O$      | 45,6542          | 95,0078      | 4337,5022               |
| Asam Sulfat               | $H_2SO_4$   | 71,2199          | 33,8123      | 2408,1105               |
| <b>Total</b>              |             | <b>5896,7309</b> |              | <b>191188,6127</b>      |

**Tabel 7.** Neraca Panas Umpan Keluar Reaktor

| Komponen                   | Formula           | Massa (kg/jam)   | Cp (kcal/kg) | $\Delta H_m$ (kcal/jam) |
|----------------------------|-------------------|------------------|--------------|-------------------------|
| <i>Maleic Anhydride</i>    | $C_4H_2O_3$       | 1,2032           | 57,2295      | 68,8609                 |
| Etanol                     | $C_2H_5OH$        | 1,0731           | 56,5324      | 60,6646                 |
| Air                        | $H_2O$            | 443,2617         | 95,0078      | 42113,3091              |
| Asam Sulfat                | $H_2SO_4$         | 71,2199          | 33,8123      | 2408,1105               |
| <i>Monoethyl Phthalate</i> | $C_{10}H_{10}O_4$ | 476,1472         | 2,2917       | 1091,1941               |
| <i>Diethyl Phthalate</i>   | $C_{12}H_{14}O_4$ | 4903,8258        | 40,1539      | 196907,9005             |
| <b>Total</b>               |                   | <b>5896,7309</b> |              | <b>242650,0397</b>      |

$$Q = \Delta HR^\circ + \Delta Hm - \Delta Hk$$

$$= -7428147,7809 \text{ kcal/jam}$$

#### D. Menghitung Luas Transfer Panas di Reaktor

##### 1. Menghitung Selubung Reaktor

$$L = \pi \times D \times H$$

Dengan,  $D = H = 6,4998 \text{ ft}$

Sehingga,

$$L = 132,6544 \text{ ft}^2$$

##### 2. Menghitung Luas Transfer Panas

| Inisial      | Fluida Panas (°F) |              | Fluida Dingin (°F) | $\Delta T$ |
|--------------|-------------------|--------------|--------------------|------------|
| $\Delta T_2$ | 248               | Lower Temp.  | 77                 | 171        |
| $\Delta T_1$ | 248               | Higher Temp. | 212                | 36         |

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{\ln \frac{(\Delta T_2)}{(\Delta T_1)}} = 86,6415 \text{ }^\circ\text{F}$$

Dari Tabel.8, Kern, P.840, nilai  $U_D$  untuk *Hot Fluid Heavy Organic* dan *Cold Fluid Water* adalah  $5-75 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{F.jam}$

Diambil harga  $U_D = 75 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{F.jam}$

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot \Delta T_{LMTD}} = 4533,2476 \text{ ft}^2$$

Kesimpulan :

Luas Selimut  $< A$  (luas transfer panas) terhitung, sehingga luas selimut tidak mencukupi sebagai luas transfer panas, maka digunakan **koil pendingin**.

## E. Perancangan Pendingin di Reaktor

### 1. Kebutuhan Air Pendingin

Air pendingin yang masuk pada suhu 25°C dan diharapkan keluar pada suhu 55°C menyerap panas keluar dari reaktor

$$T \text{ pendingin masuk} = 25^{\circ}\text{C}$$

$$T \text{ pendingin keluar} = 100^{\circ}\text{C}$$

$$C_p \text{ Dowtherm A} = 1,71 \text{ kJ/kg.K}$$

$$\text{Kebutuhan Dowtherm A (mp)} = \frac{q}{C_p \times \Delta T}$$

$$= 242.334,2175 \text{ kg/jam}$$

$$= 67,3151 \text{ kg/dtk}$$

### 2. Menentukan *Layout* Koil

Ukuran pipa koil berada pada kisaran (0,5 – 2,5) (Perry, 1999)

Diambil ukuran : 2,5 in

Ukuran nominal pipa, IPS: 2,5 in

OD : 2,88 in

ID : 2,469 in

Sch. Number : 40

Flow Area pipa,  $A_o$  : 4,79 in<sup>2</sup>

Surface Area,  $A_t$  : 0,753 ft<sup>2</sup>/ft

(Tabel.11, Kern, 1983)

Susunan koil : Helix

Diameter Helix (70% - 80% ID reaktor) (Rase, 1977)

Diambil 80%

Dhe = 1,5773 m

Jarak antar lilitan ( $y$ ) =  $1 - 1,5 \text{ OD}_{\text{coil}}$  , diambil 1

Jarak antar lilitan ( $J_{sp}$ ) = 7,1107 in

= 0,5926 ft

### 3. Menentukan Koefisien Transfer Panas

Koefisien transfer panas dalam cairan :

$$hc = \frac{0,87k}{Dt} \left[ \frac{L^2 N \rho}{\mu} \right]^{2/3} \left[ \frac{Cp \cdot \mu}{k} \right]^{1/3} \left[ \frac{\mu}{\mu_w} \right]^{0,14} \quad (\text{Kern, 1950})$$

Dimana :

$$\left[ \frac{\mu}{\mu_w} \right]^{0,14} = 1$$

Keterangan :

$hc$  : koefisien transfer panas dalam cairan, Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F

$Dt$  : Diameter reaktor, ft

$k$  : konduktivitas panas, Btu/jam.ft.°F

$Cp$  : kapasitas panas larutan, Btu/lb.°F

$L$  : diameter putar pengaduk, ft

$N$  : kecepatan putar pengaduk, rph

$\rho$  : densitas campuran, lb/ft<sup>3</sup>

$\mu$  : viskositas campuran, lb/jam.ft

$\mu_w$  : viskositas air, lb/jam.ft

dengan data-data yang telah didapatkan di bawah ini :

$k = 0,1220 \text{ Btu/jam.ft.°F}$

$Cp = 44,2544 \text{ Btu/lb. °F}$

$L = 1,9717 \text{ ft}$

$N = 11400 \text{ rph}$

$$\rho = 80,8619 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu = 1,8266 \text{ lb/ft.jam}$$

sehingga nilai  $h_c$  yang didapat adalah 2244,2061 Btu/jam.ft<sup>2</sup>. °F

Koefisien transfer panas alam koil :

$$\frac{h_i ID}{k} = 0,027 Re^{0,8} Pr^{1/3} \left[ 1 + \frac{3,5 ID}{d_{he}} \right] \quad (\text{Kern, 1950})$$

$$\text{Fluida massa pendingin total (Gt)} = \frac{\text{massa pendingin}}{\text{Flow area}}$$

$$= 16.061.142,2275 \text{ lb/ft.jam}$$

$$\text{Fluida massa tiap set koil (Gi)} = \rho \times \text{kec. Medium pendingin}$$

$$\text{(dengan kecepatan 2,5 m/s)} = 1.883.055,1784 \text{ lb/jam.ft}^2$$

$$Re = \frac{Gt ID}{\mu} = 7758.912,7807$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} = 23,3026$$

Sehingga, nilai  $h_i$  dan  $h_{io}$  yang didapatkan adalah

$$h_i = 1648,9048 \text{ Btu/jam.ft}^2. \text{°F}$$

$$h_{io} = 1413,5924 \text{ Btu/jam.ft}^2. \text{°F}$$

#### 4. Menghitung $U_c$ dan $U_d$

$$U_c = \frac{h_{io} \cdot h_c}{h_{io} + h_c} = 866,9968 \text{ Btu/jam.ft}^2. \text{°F}$$

$$U_d = \frac{\frac{1}{R_d} U_c}{\frac{1}{R_d} + U_c}, \text{ dengan } R_d \text{ min} = 0,0003$$

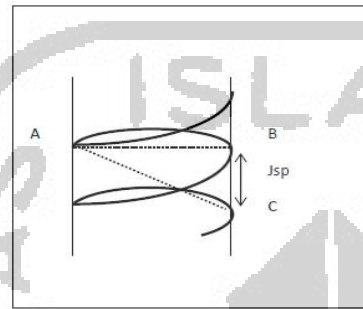
$$= 240,7662 \text{ Btu/jam.ft}^2. \text{°F}$$

$$A_{act} = 1412.1316 \text{ ft}^2$$

### 5. Menghitung panjang Koil

$$L_c = \frac{A}{a''} = 895,2614 \text{ ft}$$

$$= 272,8575 \text{ m}$$



$$AB = DC$$

$$BC = J_{sp}$$

$$AC = \sqrt{(AB)^2 + (BC)^2}$$

$$= \sqrt{(DC)^2 + (J_{sp})^2}$$

$$\text{Keliling busur AB} = \frac{\pi}{2} \times d_{he}$$

$$= 8,1248 \text{ ft}$$

$$\text{Keliling busur AC} = \frac{\pi}{4} \times \sqrt{(AB)^2 + (BC)^2}$$

$$= 8,1248 \text{ ft}$$

$$\text{Keliling} = 32,6052 \text{ ft}$$

$$\text{Jumlah lengkungan kecil} = \frac{L_c}{\text{keliling}}$$

$$= 27$$

$$\text{Tinggi tumpukan koil} = (N \times OD) + j_{sp}$$

$$= 7,1824 \text{ ft}$$

$$= 2,1892 \text{ m}$$

$$\text{Volume Coil (Vc)} = \frac{\pi}{4} OD^2 L_c$$

$$= 40,4801 \text{ ft}^3$$

$$= 1,1463 \text{ m}^3$$

Tinggi cairan (Hi) = 2,3525 m

Kesimpulan :

Tinggi tumpukan koil < tinggi cairan dalam shell, maka koil tercelup dalam cairan

### 6. Menghitung *Pressure Drop* Koil

$$\text{faktor friksi, } f = 0,0035 + \frac{0,264}{\text{Re}^{0,42}}$$

$$= 0,0044$$

$$\Delta P_T = \frac{f \times v^2 \times L}{5,22 \times 10^{10} \times \text{ID} \times s \times \theta t}, \quad \text{dengan } s = 1 \text{ dan } \theta t = 1$$

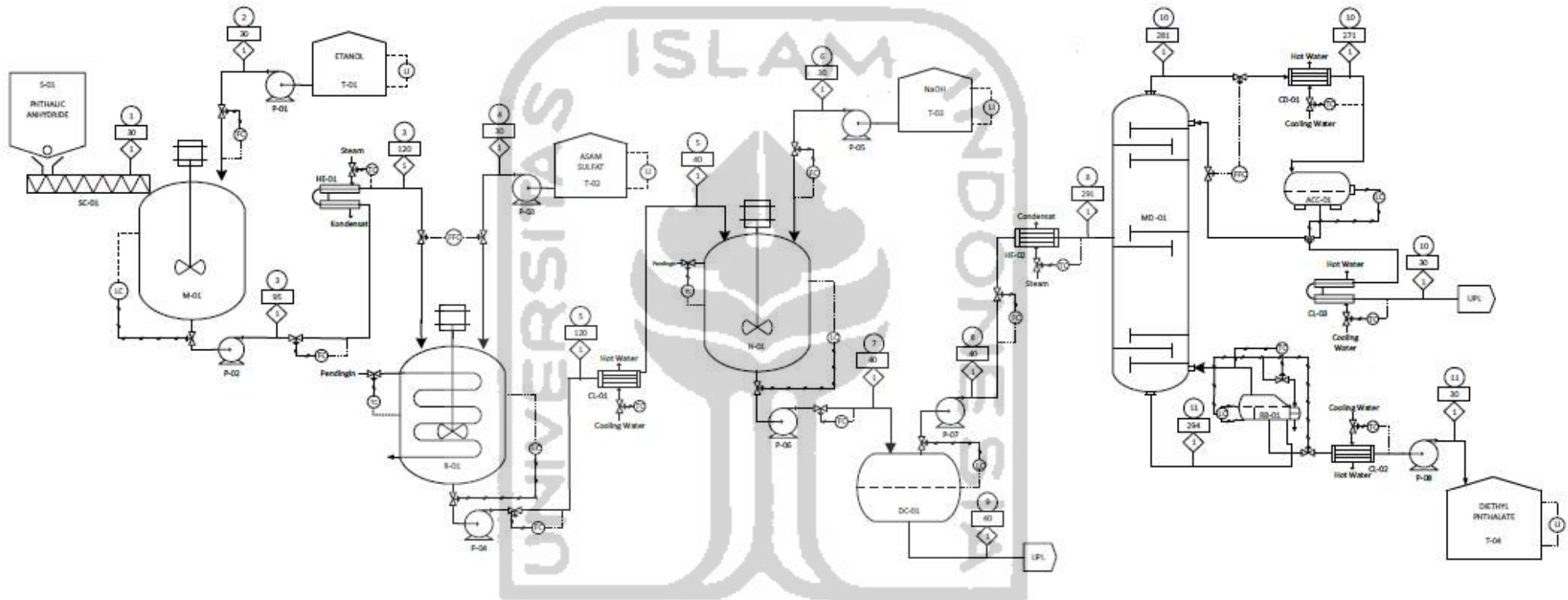
(Kern, 1950)

$$\Delta P_T = 0,3194 \text{ psi}$$





**PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM**  
**PRA RANCANGAN PABRIK DIETHYL PHTHALATE DARI PHTHALIC ANHYDRIDE DAN ETIL ALKOHOL**  
**KAPASITAS PRODUKSI 35.000 TON/TAHUN**



| Komponen          | Nomor Arus (Kg/Jam) |           |           |         |           |          |           |           |          |          |           |
|-------------------|---------------------|-----------|-----------|---------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|
|                   | 1                   | 2         | 3         | 4       | 5         | 6        | 7         | 8         | 9        | 10       | 11        |
| $C_6H_4O_3$       | 3632,4635           | -         | 3632,4635 | -       | -         | -        | -         | -         | -        | -        | -         |
| $C_2H_5OH$        | 1,2032              | -         | 1,2032    | -       | 1,2032    | -        | 1,2032    | -         | 1,2032   | -        | -         |
| $C_2H_5OH$        | -                   | 2146,1901 | 2146,1901 | -       | 1,0731    | -        | 1,0731    | -         | 1,0731   | -        | -         |
| $H_2O$            | -                   | 44,2007   | 44,2007   | 1,4535  | 443,2617  | 58,1387  | 527,5627  | -         | 527,5627 | -        | -         |
| $H_2SO_4$         | -                   | -         | -         | 71,2199 | 71,2299   | -        | -         | -         | -        | -        | -         |
| $NaOH$            | -                   | -         | -         | -       | -         | 58,1387  | -         | -         | -        | -        | -         |
| $Na_2SO_4$        | -                   | -         | -         | -       | -         | -        | 103,1961  | -         | 103,1961 | -        | -         |
| $C_{10}H_{10}O_4$ | -                   | -         | -         | -       | 476,1472  | -        | 476,1472  | 475,1924  | 0,9549   | 469,3924 | 5,8000    |
| $C_{12}H_{14}O_4$ | -                   | -         | -         | -       | 4903,8258 | -        | 4903,8258 | 4903,7688 | 0,0570   | 490,7692 | 4413,3919 |
| Total             | 3633,6668           | 2190,3908 | 5824,0576 | 72,6733 | 5896,7309 | 116,2773 | 6013,0082 | 5378,9612 | 634,0471 | 959,7692 | 4419,1919 |

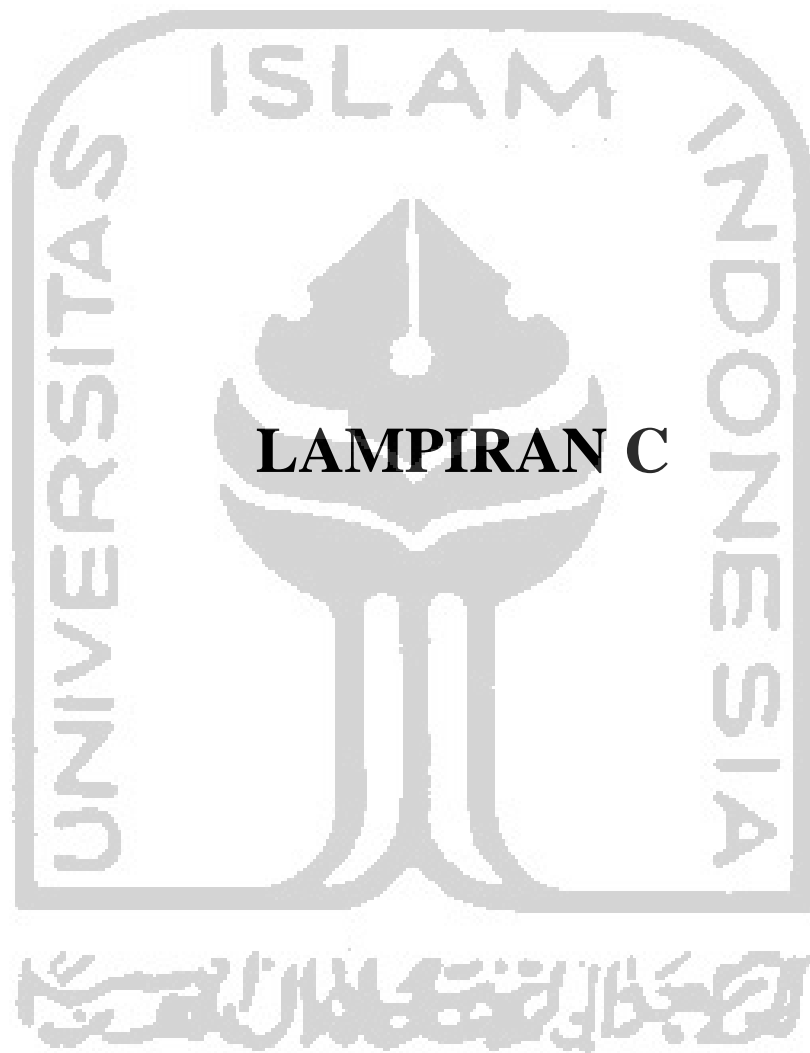
| SIMBOL | KETERANGAN         | SIMBOL | KETERANGAN          |
|--------|--------------------|--------|---------------------|
| ACC    | Akumulator         | LC     | Level Control       |
| CD     | Condensor          | LI     | Level Indicator     |
| CL     | Cooler             | FC     | Flow Control        |
| DC     | Decanter           | FR     | Flow Ratio Control  |
| HE     | Heat Exchanger     | TC     | Temperature Control |
| MD     | Menara Distilasi   |        |                     |
| M      | Mixer              |        |                     |
| N      | Netralizer         |        |                     |
| P      | Pompa              |        |                     |
| R      | Reaktor            |        |                     |
| SC     | Screw Conveyor     |        |                     |
| S      | Silo               |        |                     |
| T      | Tangki Penyimpanan |        |                     |

**JURUSAN TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**YOGYAKARTA**

**PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM**  
**PRA RANCANGAN PABRIK DIETHYL PHTHALATE**  
**DARI PHTHALIC ANHYDRIDE DAN ETIL ALKOHOL**  
**KAPASITAS PRODUKSI 35.000 TON/TAHUN**

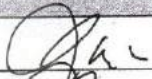


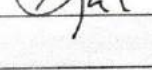
Disusun oleh:  
 1. Raina Junilawati 15521024  
 2. Dewanti Siwi Nurani 15521026

Dosen Pembimbing:  
 1. Dra. Kamariah, M.S.  
 2. Dyah Retno Sawitri, S.T, M.Eng



### KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRARANCANGAN

Nama Mahasiswa : Dewanti Siwi Nurani  
 No. MHS : 15521026  
 Nama Mahasiswa : Raina Junilawati  
 No. MHS : 15521024  
 Judul Prarancangan )\* : Pra Rancangan pabrik kimia Diethyl Phthalate dari Phthalic Anhydride dan Etanol dengan kapasitas 35000 ton/tahun  
 Mulai Masa Bimbingan : 08 April 2019  
 Batas Akhir Bimbingan : 05 Oktober 2019

| No | Tanggal    | Materi Bimbingan        | Paraf Dosen  |
|----|------------|-------------------------|--|
| 1. | 18-04-2019 | Konsultasi reaksi       |   |
| 2. | 15-07-2019 | Konsultasi alat         |   |
| 3. | 26-07-2019 | Konsultasi alat         |   |
| 4. | 4-09-2019  | Naskah, Bab 1, 2, dan 3 |  |
|    |            |                         |  |
|    |            |                         |  |
|    |            |                         |  |
|    |            |                         |  |
|    |            |                         |  |
|    |            |                         |  |
|    |            |                         |  |
|    |            |                         |  |

Disetujui Draft Penulisan:  
 Yogyakarta, 7 November 2019  
 Pembimbing,

  
 Dra. Kamariah, M.S.

- )\* Judul PraRancangan Ditulis dengan Huruf Balok
- Kartu Konsultasi Bimbingan dilampirkan pada Laporan PraRancangan
  - Kartu Konsultasi Bimbingan dapat difotocopy





### KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRARANCANGAN

Nama Mahasiswa : Dewanti Siwi Nurani  
 No. MHS : 15521026  
 Nama Mahasiswa : Raina Junilawati  
 No. MHS : 15521024  
 Judul Prarancangan ]\* : Pra Rancangan Pabrik Kimia Diethyl Phthalate dari Phthalic Anhydride dan Etanol Menggunakan Katalis Asam Sulfat dengan kapasitas 35000 ton/tahun  
 Mulai Masa Bimbingan : 08 April 2019  
 Batas Akhir Bimbingan : 05 Oktober 2019

| No | Tanggal    | Materi Bimbingan  | Paraf Dosen        |
|----|------------|-------------------|--------------------|
| 1. | 27-03-2019 | Pengajuan Judul   | <i>[Signature]</i> |
| 2. | 12-04-2019 | Neraca Massa      | <i>[Signature]</i> |
| 3. | 2-05-2019  | Konsultasi alat   | <i>[Signature]</i> |
| 4. | 11-07-2019 | Konsultasi alat   | <i>[Signature]</i> |
| 5. | 24-07-2019 | Konsultasi alat   | <i>[Signature]</i> |
| 6. | 14-08-2019 | Konsultasi a P&ID | <i>[Signature]</i> |
| 7. | 28-08-2019 | Konsultasi alat   | <i>[Signature]</i> |
|    |            |                   |                    |
|    |            |                   |                    |
|    |            |                   |                    |
|    |            |                   |                    |
|    |            |                   |                    |

Disetujui Draft Penulisan:

Yogyakarta, 28 Oktober 2019

Pembimbing,

*[Signature]*  
Dyah Retno Sawitri, S.T., M.Eng.

] \* Judul PraRancangan Ditulis dengan Huruf Balok

- Kartu Konsultasi Bimbingan dilampirkan pada Laporan PraRancangan
- Kartu Konsultasi Bimbingan dapat difotocopy

### KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRARANCANGAN

1. Nama Mahasiswa : Dewanti Siwi Nurani

No. MHS : 15521026





2. Nama Mahasiswa : Raina Junilawati

No. MHS : 15521024

Judul Prarancangan )\* : Pra Rancangan Pabrik Kimia Diethyl Phthalate dari  
Phthalic Anhydride dan Etanol dengan kapasitas  
3500 ton/tahun

Mulai Masa Bimbingan : 05 Oktober 2019

Batas Akhir Bimbingan : 02 April 2020

| No | Tanggal    | Materi Bimbingan            | Paraf Dosen   |
|----|------------|-----------------------------|---|
| 1. | 3-10-2019  | Konsultasi alat             |    |
| 2. | 11-10-2019 | Konsultasi Bab 4            |   |
| 3. | 16-10-2019 | Konsultasi evaluasi ekonomi |  |
| 4. | 24-10-2019 | Acc PFD                     |  |
|    |            |                             |   |
|    |            |                             |   |
|    |            |                             |   |
|    |            |                             |   |
|    |            |                             |   |
|    |            |                             |   |
|    |            |                             |   |
|    |            |                             |   |

Disetujui Draft Penulisan:

Yogyakarta, 28 Oktober 2019

Pembimbing,

  
Dyah Retna Sawitri, S.T., M.Eng.

)\* **Judul PraRancangan Ditulis dengan Huruf Balok**

- Kartu Konsultasi Bimbingan dilampirkan pada Laporan PraRancangan
- Kartu Konsultasi Bimbingan dapat difotocopy