

## LAMPIRAN A

### PERANCANGAN REAKTOR (R-01)

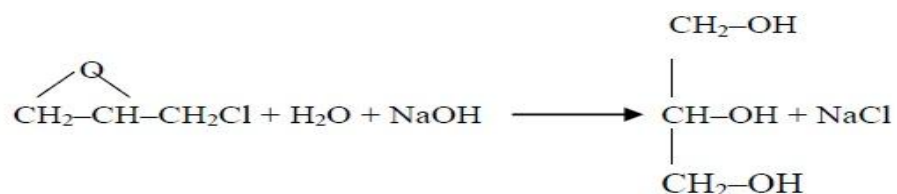
Jenis : *Continuous Stirred Tank Reactor*

Fungsi : Tempat berlangsungnya reaksi antara epichlorohydrin, natrium hidroksida dan air.

Kondisi Operasi :

- Suhu : 150°C (diperoleh dari Faith Keyest)
- Tekanan : 1,3 atm
- Konversi : 98%
- Waktu tinggal : 30 menit (diperoleh dari Faith Keyest).
- Konstanta kecepatan reaksi : 32,8 m<sup>3</sup>/kmol.jam (US Patent No. 2838574)
- Sifat Reaksi : Eksotermis

Reaksi yang terjadi di dalam reaktor :



Gliserol dari Reaksi Hidrolisis Epichlorohydrin dan Natrium Hidroksida

## 1. Mekanisme Reaksi

Proses pembuatan gliserol dengan proses hidrolisis epichlorohydrin dilakukan dalam reaktor alir tangki berpengaduk. Di dalam reaktor epichlorohydrin 99,9% di hidrolisis dengan caustic soda 10% dan H<sub>2</sub>O kemudian terbentuk gliserol.

## 2. Tinjauan Kinetika

Reaksi antara *epichlorohydrin* dengan *sodium hidroxyd* termasuk reaksi orde dua.

Reaksi :



Persamaan kecepatan reaksi :

$$-ra = k.C_A.C_B \dots\dots\dots (1)$$

$$-ra = CAo \frac{dxa}{dt} = rC_{Ao}^2 (1 - x_A).(M - x_A) \dots\dots\dots (2)$$

Jika :

$$M = \frac{C_{Bo}}{C_{Ao}} \dots\dots\dots (3)$$

$$-ra = k.C_{Ao}^2 .[1 - x_A][M - x_A] \dots\dots\dots (4)$$

Dengan:

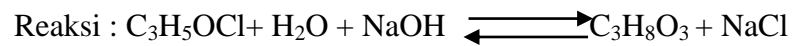
$C_{Ao}$  = Konsentrasi *Acrylic acid* mula-mula, kmol/L

$C_{Bo}$  = Konsentrasi *Methanol* mula-mula, kmol/L

$X_A$  = Konversi reaksi

(Levenspiel- chemical reaction engineering. 3<sup>rd</sup> edition)

### 3. Tinjauan Termodinamika



jika ditinjau dari segi termodinamika, harga  $\Delta G^0_f$  masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel 3.1. sebagai berikut:

Tabel A.1 Harga  $\Delta G^0_f$  Masing-masing Komponen

Komponen	Harga $\Delta G^0_f$ (Kj/kmol)
Epichlorohydrin	-36,74
NaOH	-379,50
Gliserol	-448,49
NaCl	-384,50
Air	-228,6

(Yaws,1999)

$$\begin{aligned} \text{Total } \Delta G^0_{r_{298K}} &= \Delta G^0_f \text{ produk} - \Delta G^0_f \text{ reaktan} \\ &= (\Delta G^0_f \text{ gliserol} + \Delta G^0_f \text{ NaCl}) - (\Delta G^0_f \text{ ECH} + \Delta G^0_f \text{ Air} + \Delta G^0_f \text{ NaOH}) \\ &= (-448,49 + (-384,50)) - (-36,74 + (-379,50) + (-228,6)) \\ &= -188,15 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\ln \frac{K}{K_0} = \frac{-\Delta H_{298}}{R} \times \left[ \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right]$$

(Smith VanNess,1987)

Dengan :  $K_0$  = konstanta kesetimbangan pada suhu 298 K  
 $K$  = konstanta kesetimbangan pada suhu tertentu  
 $T$  = temperatur tertentu  
 $\Delta H_{298}$  = panas reaksi standar pada 298 K

Sedangkan harga  $\Delta H^0_f$  masing – masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel A.2 Harga  $\Delta H^0_f$  Masing-Masing Komponen

Komponen	Harga $\Delta H^0_f$ (Kj/kmol)
Epichlorohydrin	-148,40
NaOH	-425,6
Gliserol	-669,6
NaCl	-411,2
Air	-241,8

( Yaws,1999)

$$\begin{aligned}
 \text{Total } \Delta H^0_{r_{298K}} &= \Delta H^0_f \text{ produk} - \Delta H^0_f \text{ reaktan} \\
 &= (\Delta H^0_f \text{ gliserol} + \Delta H^0_f \text{ NaCl}) - (\Delta H^0_f \text{ ECH} + \Delta H^0_f \text{ Air} + \Delta H^0_f \text{ NaOH}) \\
 &= (-669,6 + (-411,2)) - (-148,4 + (-241,8) + (-425,6)) \\
 &= -265 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Pada suhu 55 °C ( 328 K) besarnya konstanta keseimbangan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\ln \frac{K}{3,524 \times 10^6} = \frac{50,374}{8,314} \times \left[ \frac{1}{323} - \frac{1}{298} \right] \dots\dots\dots(5)$$

$$K : 1,139 \times 10^6$$

Karena harga  $K = k_1/k_2$  besar, berarti harga  $k$  jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan harga  $k_1$  sehingga  $k_2$  diabaikan terhadap  $k_1$  dan reaksi dianggap berjalan satu arah (*Irreversible*).

#### 4. Dasar Pemilihan Jenis Reaktor

Dipilih CSTR dengan pertimbangan sebagai berikut:

- a. Fase reaksi cair-cair dan prosesnya kontinyu
- b. Pada reaktor alir tangki berpengaduk suhu dan komposisi campuran dalam reaktor selalu seragam. Hal ini memungkinkan melakukan suatu proses isothermal dalam reaktor CSTR.
- c. Pada reaktor alir tangki berpengaduk karena volume reaktor relatif besar dibandingkan dengan reaktor alir pipa, maka waktu tinggal juga besar, berarti zat pereaksi dapat lebih lama bereaksi didalam reaktor.

#### 5. Dasar Pemilihan Koil Pendingin

Luas area transfer panas reaktor lebih besar dibandingkan dengan luas selimut reaktor.

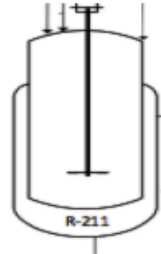
#### 6. Dasar Pemilihan Pengaduk

Menentukan jenis pengaduk dilihat berdasarkan nilai viskositas cairan yang diaduk dan volume cairan yang diaduk. Sehingga dipilih pengaduk tipe Flat Blade Turbines Impellers dengan pertimbangan sebagai berikut:

- a. Cocok untuk cairan dengan viskositas mencapai 40000 cP

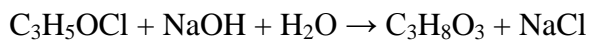
b. Cocok untuk volume fluida sampai dengan  $100 \text{ m}^3$ .

### 7. Neraca Massa di Sekitar Reaktor (R-01)



Gambar A.1. Reaktor Alir Tangki Berpengaduk

Reaksi di dalam reaktor:



Tabel A.3. Komposisi dengan Perhitungan Kapasitas Reaktor

Umpan Masuk:

Komponen	BM	Kg/jam	Kmol/jam
$\text{C}_3\text{H}_5\text{OCl}$	92,5252	2720,1322	29,3988
$\text{H}_2\text{O}$ (impuritis)	18,01514	27,4761	1,525
NaOH	32,04	1466,0065	36,6528
$\text{H}_2\text{O}$	18,01	660,3062	36,6528

Umpan Recycle

komponen	BM	Kg/jam	Kmol/jam
$\text{C}_3\text{H}_5\text{OCl}$	92,5252	671,1798	7,2540
$\text{H}_2\text{O}$	18,01514	961,0151	53,3448

Total umpan masuk dan *recycle* adalah 6506,1159 kg/jam

Umpan Keluar:

komponen	BM	Kg/jam	Kmol/jam
C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> OCl	92,5252	1119,1330	12,0954
NaOH	39,99707	483,7821	12,0954
H <sub>2</sub> O	18,01514	1206,3922	66,9655
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	92,09461	2261,6049	24,5574
NaCl	58,4428	1435,2037	24,5574

Total umpan keluar = 6506,1159 kg/jam

### 8. Menghitung Densitas dan Kecepatan laju Alir Volumetrik

Suhu = 150°C

= 423 K

Data densitas *liquid* diperoleh dari Table 8-1 dan 8-2, Yaws.

$$\rho = A \cdot B^{-(1-T/T_c)^n}$$

Tabel A.4. Perhitungan Densitas *Liquid*

Komponen	A	B	n	Tc	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>
C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> OCl	0,3971	0,2648	0,3031	610,0000	1005,1442
NaOH	0,19975	0,09793	0,25382	2820	1856,9174
H <sub>2</sub> O	0,3471	0,2740	0,2857	647,1300	903,1392
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	0,3495	0,2490	0,1541	723,0000	1176,6209
NaCl	0,2213	0,1059	0,3753	3400,0000	1873,1078

Komponen	Massa	Fraksi massa	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	$\rho$ camp

	(kg/jam)	(xi)		(kg/m <sup>3</sup> )
C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> Ocl	3391,312	0,615	1005,144	617,794
NaOH	1466,007	0,266	1856,917	493,374
H <sub>2</sub> O	1648,797	0,120	903,139	108,081
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>		0,000	1176,621	0,000
NaCl		0,000	1873,108	0,000
Total	6506,1159	1,000	6814,930	1219,249

$$\text{Densitas campuran} = 1219,249 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{volume cairan} = V \text{ shell} - V \text{ bottom}$$

$$\text{volume cairan} = 75,462 - 8,141$$

$$\text{volume cairan} = 67,322 \text{ m}^3$$

## 9. Menghitung Dimensi Reaktor

Perancangan reaktor ini dengan memilih *over design* sebesar 20%, sehingga

volume reaktor menjadi:

$$\text{volume alat} = 1,2(\text{volume cairan})$$

$$\text{volume alat} = 1,2 \times 62,885 \text{ m}^3$$

$$\text{volume alat} = 75,462 \text{ m}^3 = 262,2314 \text{ ft}^3$$

Bentuk reaktor yang dipilih yaitu vertical vessel dengan formed head, maka:

D : H

1 : 1



$$\text{Volume shell} = \frac{\pi}{4} D^2 H$$

$$\text{Volume shell} = \frac{\pi}{4} D^3$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \text{Volume Shell}}{\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 75,462}{3,14}}$$

$$D = 4,581 \text{ m}$$

$$= 180,352 \text{ in}$$

$$= 15,029 \text{ ft}$$

$$H = 4,581 \text{ m}$$

$$= 180,352 \text{ in}$$

$$= 15,029 \text{ ft}$$

## 10. Menghitung Tebal Dinding Reaktor

Digunakan persamaan dari persamaan 13.1 (Brownell and Young, 1959)

$$t_s = \frac{P \times r}{(f \times E - 0,6P)} + C$$

Keterangan:

$T_s$  : tebal *shell*

P : tekanan

R : jari-jari

E : efisiensi pengelasan

C : faktor koreksi

F : tegangan yang diijinkan (tabel 13.2, Coulson 4ed)

### Mencari Tekanan Hidrostatik

Tekanan sistem (P)

$$P_{Tot} = P_{Hidrostatik} + P_{Operasi}$$

P operasi = 1,3 atm

P operasi = 19,105 psi

$$P_{Hidrostatik} = \frac{\rho gh}{gc}$$

$$P_{Hidrostatik} = 1171,222 \times 4,087 \text{ m}$$

$$P_{Hidrostatik} = 4786,487 \text{ kg/m}^2 = 6,808 \text{ psi}$$

$$P_{Tot} = 19,105 \text{ psi} + 6,808 \text{ psi}$$

$$P_{Tot} = 25,913 \text{ psi}$$

$$P_{design} = 1,2 \times 25,913 = 31,095 \text{ psi}$$

Pertimbangan: cairan dalam reaktor tidak mengandung zat yang menyebabkan korosi.

Dari Brownell halaman 254, dipilih bahan konstruksi *Carbon Steel 283 grade*

C dan diperoleh data-data sebagai berikut:

- Allowable stress (f) = 12650 psia
- Sambungan yang dipilih = *double welded butt joint*
- Efisiensi sambungan (E) = 80%
- Corrosion allowance (C) = 0,125 in
- Jari-jari reaktor (ri) = 2,290 in

- Tekanan (P) =

$$P = P_{operasi} + P_{hidrostatik}$$

$$P = 19,105 + 6,808 = 25,913 \text{ psia}$$

### Menghitung Tebal Shell

$$t_s = \frac{P \times r}{(f \times E - 0,6P)} + C$$

$$t_s = \frac{31,095 \times 2,290 \text{ psi}}{(12650 \text{ psi} \times 0,8 - 0,6(31,095))} + 0,125$$

$$t_s = 0,132 \text{ in}$$

Sehingga berdasarkan tabel 5.7 Brownell and Young digunakan ketebalan *shell* standar sebesar 0,1875 in.

$$\text{ID shell} = 180,352 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{OD shell} &= \text{ID} + 2t \\ &= 180,352 + (2 \times 0,1875) \\ &= 180,727 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari tabel 5.7 (Brownell, 1959), untuk OD standar dipilih yang terdekat yaitu:

$$\begin{aligned} \text{OD} &= 192 \text{ in} \\ &= 4,877 \text{ m} \end{aligned}$$

Standarisasi dari tabel 5.7 Brownell and Young diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{icr} &= 11,5 \text{ in} \\ r &= 170 \text{ in} \\ \text{ID} &= \text{OD} - 2t \\ &= 192 - (2 \times 0,1875) \end{aligned}$$

$$= 191,625 \text{ in}$$

$$= 4,867 \text{ m}$$

$$= 15,969 \text{ ft}$$

## 11. Perancangan Dimensi *Head*

Pertimbangan yang dilakukan dalam pemilihan jenis *head* meliputi:

### 1. *Flanged and Standard Dished Head*

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

### 2. *Tor spherical Flanged and Dished Head*

Digunakan untuk tekanan operasi hingga 15 bar dan harganya cukup ekonomis

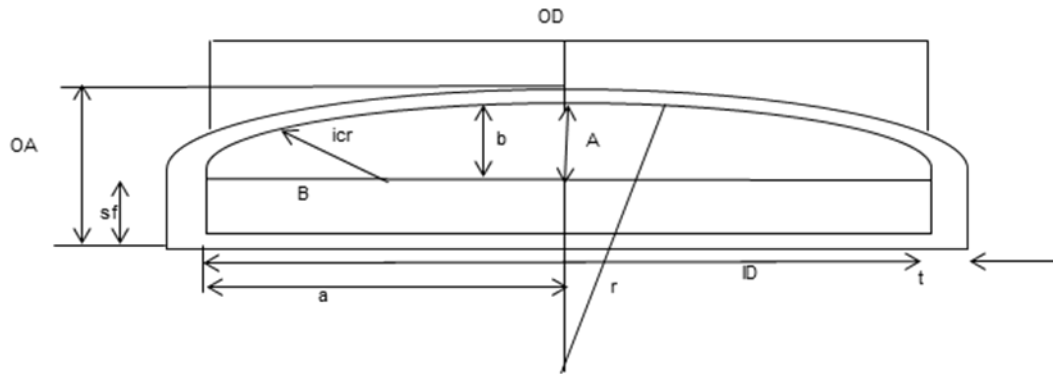
### 3. *Elliptical Dished head*

Digunakan untuk tekanan operasi tinggi dan harganya cukup mahal

### 4. *Hemispherical Head*

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

Dari pertimbangan-pertimbangan diatas dan tekanan operasi perancangan yang dibuat, maka dipilih bentuk *torispherical flanged and dished head*.

Gambar A.2. Tinggi *Head*

$$t_h = \frac{P \times r_c \times W}{2 \times fE - 0,2P} + C$$

$$W = \frac{1}{4} \left( 3 + \sqrt{\frac{r_c}{icr}} \right)$$

$$W = \frac{1}{4} \left( 3 + \sqrt{\frac{170}{11,5}} \right)$$

$$W = 1,711$$

$$t_h = \frac{11,991 \times 170 \times 1,711}{2 \times 12650 \times 0,8 - 0,2 \times 11,991} + 0,125$$

$$t_h = 0,297 \text{ in}$$

Dari tabel 5.6 Brownell and Young, dipilih  $t_h$  standar 5/16 in (0,3125 in).

Berdasarkan tabel 5.8 Brownell and Young dipilih nilai  $sf$  sebesar 2 in (0,051 m).

$$ID = OD - 2ts$$

$$= 192 - (2 \times 0,188)$$

$$= 191,625 \text{ in}$$

$$= 4,867 \text{ m}$$

$$a = ID/2$$

$$= 191,625/2$$

$$= 95,813 \text{ in}$$

$$AB = a - irc$$

$$= 95,813 - 11,5$$

$$= 84,313 \text{ in}$$

$$BC = r - irc$$

$$= 170 - 11,5$$

$$= 158,5 \text{ in}$$

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

$$AC = \sqrt{(158,500)^2 - (84,313)^2}$$

$$AC = 134,215 \text{ in}$$

$$b = rc - AC$$

$$= 170 - 134,215$$

$$= 35,785 \text{ in} = 0,909 \text{ m}$$

$$AO = sf + b + th$$

$$= 2 + 35,785 + 0,3125$$

$$= 38,098 \text{ in} = 0,968 \text{ m}$$

Volume *head* total ( $V_{head}$ ) = vol.*head* ( $v_h$ ) + vol.*flange* ( $v_{sf}$ )

Volume sebuah *head* untuk *Torispherical dished head* adalah:

$$V_{dish} = 0,000049 D_s^3$$

$$\begin{aligned} V_{dish} &= 0,000049 \times (180,352^3) \\ &= 287,446 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$V_{head} = 2 \times (V_{sf} + V_{dish})$$

$$V_{head} = 2 \times (0,011 + 287,446)$$

$$V_{head} = 574,914 \text{ ft}^3 = 16,282 \text{ m}^3$$

$$V_{sf} = \frac{\pi}{4} \times ID^2 \times s_f$$

$$V_{sf} = \frac{\pi}{4} \times 180,352 \text{ in}^2 \times \left(\frac{2}{144}\right)$$

$$V_{sf} = 354,632 \text{ in}^3$$

$$= 0,011 \text{ ft}^3$$

Sehingga volume reaktor adalah:

$$V_{reaktor} = V_{shell} + V_{head}$$

$$V_{reaktor} = 75,462 + 16,282 = 91,744 \text{ m}^3$$

$$V_{Bottom} = 0,5 V_{head}$$

$$V_{Bottom} = 0,5 \times 16,282$$

$$V_{Bottom} = 8,141 \text{ m}^3$$

$$V_{Cairan} = V_{Shell} - V_{Bottom}$$

$$V_{Cairan} = 75,462 - 8,141$$

$$V_{Cairan} = 67,322 \text{ m}^3$$

Tinggi cairan dapat dihitung dengan cara:

$$h_{cairan} = \frac{4V}{\pi D^2}$$

$$h_{cairan} = \frac{4 \times 67,322 \text{ m}^3}{3,14 \times (4,581 \text{ m})^2}$$

$$h_{cairan} = 4,087 \text{ m} = 13,408 \text{ ft}$$

## 12. Menghitung Spesifikasi Pengaduk

### a. Menghitung Viskositas

$$P = 1,3 \text{ atm}$$

$$T = 150^\circ\text{C}$$

$$= 423 \text{ K}$$

$$\log \mu = A + \frac{B}{T} + CT + DT^2$$

Tabel A.5. Perhitungan viskositas

Komponen	A	B	C	D
C3H5OCl	-2,3159	5,65E+02	2,80E-03	-4,1693,E-



				06
NaOH	-4,1939	2,05E+03	2,79E-03	-6,16E-07
H2O	-10,2158	1,79E+03	1,77E-02	-1,2631,E-05
C3H8O3	-18,2152	4,23E+03	2,87E-02	-1,8648,E-05
NaCl	-0,9169	1,08E+03	-7,62E-05	1,1105,E-08

Komponen	Massa	kmol	x	$\mu$	$\mu$ camp (cp)
C3H5Ocl	3391,312	36,65285	0,22237	0,286107	0,149
NaOH	1466,007	36,65285	0,22237	53,2928	12,008
H2O	1648,797	91,52287	0,555261	0,182611	0,046
C3H8O3					
NaCl					
Total	6506,116	164,8286	1		12,204

$$\mu = 12,204 \text{ cP}$$

$$\mu = \text{lb/ft.s}$$

dipilih pengaduk jenis *Flat blades turbines impellers*. Perancangan untuk pengadukan dilakukan dengan prinsip similaritas menggunakan model sesuai dengan referensi buku Brown pada fig. 477 kurva nomor 15 halaman 507 dan tabelnya, diperoleh data sebagai berikut:

Diameter pengaduk (DI) :

$$DI/DM = \frac{1}{3}$$

$$DM \text{ (D shell)} = 4,581 \text{ m}$$

$$DI/DM = \frac{1}{3}$$

$$DI = \frac{4,581 \text{ m}}{3}$$

$$DI = 1,527 \text{ m}$$

Jarak pengaduk :

$$E/DM = \frac{1}{3}$$

$$E = \frac{4,581 \text{ m}}{3}$$

$$E = 1,527 \text{ m}$$

Lebar baffle :

$$B/DM = \frac{1}{12}$$

$$B = \frac{4,581 \text{ m}}{12}$$

$$B = 0,382 \text{ m}$$

Lebar pengaduk :

$$L/DI = \frac{1}{4}$$

$$L = \frac{1,527 \text{ m}}{4}$$

$$L = 0,382 \text{ m}$$

Tinggi pengaduk :

$$W/DM = \frac{1}{5}$$

$$W = \frac{4,581 \text{ m}}{5}$$

$$W = 0,916 \text{ m}$$

$$H/DM = 1$$

$$H = 4,581 \text{ m}$$

### 13. Menghitung Jumlah Impeler

WELH (*Water Equivale Liquid High*)

$$WELH = h_{\text{cairan}} \times sg$$

$$sg = \frac{\rho_{\text{cairan}}}{\rho_{\text{air}}}$$

$$sg = \frac{1171,222}{903,139 \text{ kg/m}^3}$$

$$sg = 1,297 \text{ kg/m}^3$$

$$\Sigma \text{ impeller} = \frac{WELH}{D}$$

$$WELH = h_{\text{cairan}} \times sg$$

$$WELH = 4,087 \text{ m} \times 1,297 \text{ kg/m}^3$$

$$WELH = 5,30 \text{ m}$$

$$\Sigma \text{ impeller} = \frac{5,30 \text{ m}}{4,581 \text{ m}}$$

$$\Sigma \text{ impeller} = 1,157 \text{ m}$$

Maka jumlah pengaduk adalah 1.

### 14. Putaran Pengaduk

$$\frac{WELH}{2 DI} = \left( \frac{\pi DI N}{600} \right)^2$$

$$N = \frac{600}{\pi DI} \sqrt{\frac{WELH}{2 DI}}$$

$DI = \text{diameter pengaduk}$

$$N = \frac{600}{\pi 1,527 \text{ m}} \sqrt{\frac{5,3 \text{ m}}{2 \times 1,527 \text{ m}}}$$

$$N = 164,850 \text{ rpm}$$

$$N = 2,747 \text{ rps}$$

Kecepatan standart motor (Wallas, 288) = 190 rpm = 3,167 rps

### 15. Menghitung daya motor

$$Re = \frac{\rho N D_i^2}{\mu L}$$

$$Re = \frac{1300,6403 \text{ kg/m}^3 \times 190 \text{ rpm} \times 1,527 \text{ m}^2}{0,8553 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot \text{min}}$$

$$Re = 673704,450$$

### 16. Power Number (Po)

Power number yang didapat dari fig.10.59 Towler dan Sinnott hal 619 = 5,0

$$P = \frac{N^3 \times D_i^5 \times \rho \times P_o}{500gc}$$

$$P = \frac{3,167 \text{ rps}^3 \times 1,2376 \text{ ft}^5 \times 58,340 \text{ lb/ft}^3 \times 5}{500 \times 32,150 \text{ ft/s}^2}$$

$$P = 1,521 \text{ Hp}$$

Daya motor, efisiensi motor adalah 80 % (Figur 14.38 Piters hal 514)

$$\text{Daya motor} = \frac{p}{n}$$

$$\text{Daya motor} = \frac{1,521 \text{ Hp}}{0,8}$$

$$\text{Daya motor} = 1,901$$

Dipilih Power Motor Standar = 2 Hp

## 17. Perancangan Koil Pendingin

### a. Menghitung Selubung Reaktor

$$L = \pi \times D_o \times H$$

$$L = \pi \times 4,581 \text{ m} \times 4,581$$

$$L = 65,893 \text{ m}^2$$

Diketahui:

$$Q_{pendinginan} = 5845766,6367 \text{ kJ/jam} = 5541786,772 \text{ btu/jam}$$

### b. Menentukan Suhu LMTD

*Hot fluid (heavy organic)*

$$T_{in} = 150 \text{ }^{\circ}\text{C} = 423 \text{ K} = 302 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$T_{out} = 150 \text{ }^{\circ}\text{C} = 423 \text{ K} = 302 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

*Cold fluid (water)*

$$T_{in} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} = 303 \text{ K} = 86 \text{ F}$$

$$T_{out} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C} = 313 \text{ K} = 104 \text{ F}$$

Fluida panas $^{\circ}\text{F}$		Fluida dingin $^{\circ}\text{F}$	$\Delta t$
302	Lower Temp	86	216
302	Higher Temp	104	198

Rumus menentukan suhu LMTD :

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln\left(\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}\right)}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{216 - 198}{\ln \left[ \frac{216}{198} \right]} = 206,8695^{\circ}\text{F}$$

**c. Menghitung Luas Transfer Panas**

$$A = \frac{Q}{U_d \cdot \Delta T_{LMTD}}$$

Diambil harga  $U_d$  sebesar 35 btu/ft<sup>2</sup>.F.jam, karena untuk fluida panas *heavy organic* dan fluida dingin air nilai  $U_d$  berkisar antara 5 sampai 75 btu/ft<sup>2</sup>.F.jam. Maka diperoleh nilai luas transfer panas sebesar:

$$A = \frac{5541786,7716}{35 \times 206,8695}$$

$$A = 765,3944 \text{ ft}^2$$

$$A = 71,1051 \text{ m}^2$$

Luas selimut < A terhitung, maka luas selimut dapat mencukupi sebagai luas transfer panas sehingga digunakan koil pendingin.

**d. Perancangan koil pendingin**

Suhu air masuk : 30°C = 86°F = 303,15°K

Suhu air keluar : 40°C = 104°F = 313,5°K

$\Delta T$  : 10°C = 18°F = 283,15 °K

T rata-rata = 40°C = 104°F = 308,15°K

Sifat fisis air pada T rata-rata K (Perry 1984 tabel 2-355)

$C_p$  = 4,1799 Kj/kg.K = 17,9819 kcal/kmol.K

$$\rho = 988,0360 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_v = W_t / \rho_{\text{air}}$$

$$Q_v = \frac{139758,02}{988,0360}$$

$$Q_v = 141,4503 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Luas Penampang A} : 141,4503 \text{ m}^3/\text{jam} / 36000 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{ID} = 0,0707 \text{ m} = 2,7854 \text{ in}$$

$$\text{NPS} = 3 \text{ in}$$

$$\text{Schedule Number} = 80$$

$$\text{OD} = 3,5 \text{ in}$$

$$\text{ID} = 2,9 \text{ in}$$

$$\text{Luas Penampang (A'')} = 6,6100 \text{ in}^2 = 0,0459 \text{ ft}^2$$

$$\text{Luas Perpan/Panjang (a'')} = 0,9170 \text{ ft}^2/\text{ft}$$

$$G_t = W/A$$

$$= 308113,67 \text{ lb/jam} / 0,0459 \text{ ft}^2$$

$$= 6172309,9928 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{jam}$$

$$v = 6172309,9928 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{jam} / 79,0476 \text{ lb/ft}^2$$

$$v = 84914,7948 \text{ ft/jam}$$

$$= 7,1897 \text{ m/s}$$

$$= 23,59 \text{ ft/s}$$

Diambil : D spiral koil = 70% \* Diameter tangki

$$\text{D spiral koil} : 126,2462 \text{ inch} = 10,5163 \text{ ft}$$

$$h_{io \text{ koil}} = h_{io \text{ pipa}} \left( 1 + 3,5 \frac{D \text{ koil}}{D \text{ spiral koil}} \right)$$

$$hio_{koil} = hio_{pipa} \left( 1 + 3,5 \frac{0,2417}{10,5163} \right)$$

$$hio_{koil} = 14198,5247 \frac{Btu}{ft^2} \cdot j \cdot F$$

**e. Menentukan Luas Bidang Transfer Panas**

$$A = Q_{total} / (U_d \times \Delta T_{LMTD}) :$$

$$A = \frac{5541786,772}{206,8695 \times 933,6629 \frac{Btu}{j \cdot ft^2}}$$

$$A = 28,6922 \text{ ft}^2$$

**f. Menentukan panjang koil**

$$L_{pipa \text{ koil}} = A / a''$$

$$L_{pipa \text{ koil}} = \frac{28,6922 \text{ ft}^2}{0,9170 \text{ ft}^2/\text{ft}}$$

$$L_{pipa \text{ koil}} = 31,2892 \text{ ft}$$

$$= 9,5369 \text{ m}$$

**g. Menentukan banyaknya lilitan**

$$N_{lilitan} = \frac{31,2892 \text{ ft}}{35,1008 \text{ ft}}$$

$$N_{lilitan} = 0,8914$$

Jadi, banyaknya lilitan yaitu 1 lilitan.

**h. Tinggi tumpukan koil**

$$\text{Tinggi tumpukan koil} = (N_{lilitan} - 1) \times x + N_{lilitan} \times OD$$

$$\text{Tinggi tumpukan koil} = (1-1) \times 0,1458 \text{ ft} + (1 \times 0,2917 \text{ ft})$$



Tinggi tumpukan koil = 0,2917 ft = 0,0889 m

Sehingga tinggi cairan total dalam reaktor setelah ada koil ( $Zc^2$ ) adalah:

$$Zc = \frac{V \text{ cairan dalam shell} + V \text{ koil}}{A \text{ shell}}$$

$$Zc = \frac{75,4625 \text{ m}^3 + 0,0375 \text{ m}^3}{18,5969 \text{ m}^2}$$

$$Zc = 4,0598 \text{ m}$$

$$Zc^2 = Zc + b + s_f$$

$$Zc^2 = 159,8350 \text{ in} + 35,785 \text{ in} + 2 \text{ in}$$

$$Zc^2 = 197,62 \text{ in} = 5,0196 \text{ m}$$

Tinggi tumpukan koil < Tinggi Cairan

$$0,0889 \text{ m} < 4,087 \text{ m}$$

**i. Menentukan Pressure drop**

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

$$\Delta P_T = \frac{0,00435 \frac{ft^2}{in^2} \times 84914,7948 \frac{ft}{jam} \times 31,2892 \text{ ft}}{5,22 \times 10^{10} \times 0,2417 \text{ ft}}$$

$$\Delta P_T = 0,0777 \text{ psi} < 2 \text{ psi}$$

## OPTIMASI REATOR

$$V = \frac{F_v \cdot X_a}{k \cdot CaO \cdot (1 - X_a) \cdot (M - X_a)}$$

$$CaO = 0,0066 \text{ kmol/L}$$

$$k = 32800$$

$$F_v = 5554,98232 \text{ liter}$$

Tabel. Harga Reaktor Hasil Optimasi

Jumlah Reaktor	Volume (liter)	Harga (\$)
1	62885,41	55606,8
2	3786,46	20604,8
3	152,650	4501,3
4	112,29	4991,9

