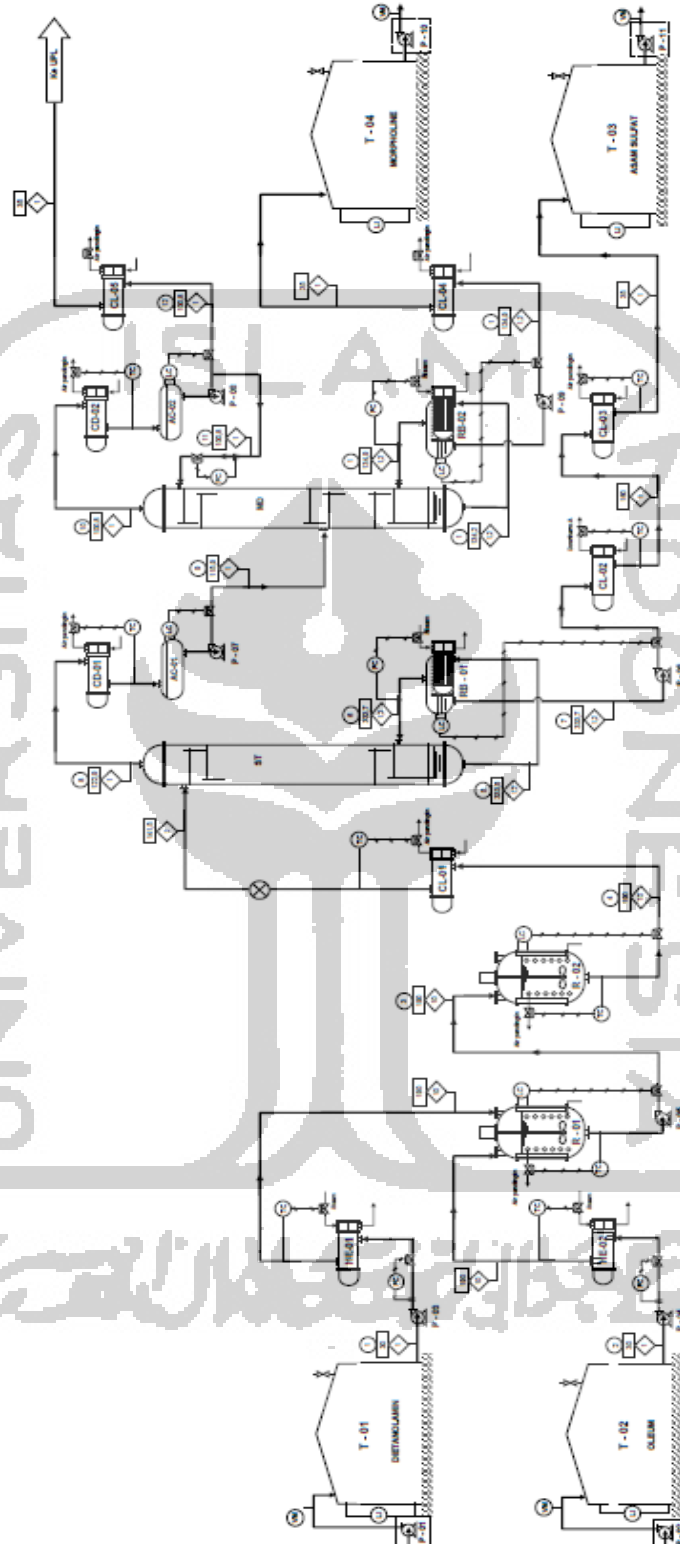


PRARANCANGAN PABRIK MORPHOLINE DARI DIETHANOLAMINE DAN OLEUM
KAPASITAS PRODUKSI : 100.000 TON / TAHUN



Gambar 5.1 PEFD

UNIVERSITAS		KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN INFORMATIKA	
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS TEKNOLOGI SURABAYA SURABAYA		INSTITUSI PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT UNIVERSITAS TEKNOLOGI SURABAYA SURABAYA	
NAMA: ... NIM: ... JURUSAN: ... FAKULTAS: ... TANGGAL: ...		NO. SURVEY: ... TANGGAL SURVEY: ... NAMA SURVEY: ... NO. SURVEY: ... TANGGAL SURVEY: ...	
NAMA: ... NIM: ... JURUSAN: ... FAKULTAS: ... TANGGAL: ...		NO. SURVEY: ... TANGGAL SURVEY: ... NAMA SURVEY: ... NO. SURVEY: ... TANGGAL SURVEY: ...	

ARUS MASSA (kg/jam)		NOMOR														
NO	KOMPONEN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	SO ₂	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
2	H ₂ O	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
3	GAJAH	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
4	CL ₂	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
5	SO ₂	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
Jumlah		1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00

LAMPIRAN

REAKTOR (R)

REAKTOR

Tugas : Mereaksikan diethanol amine menjadi morpholine

dengan kecepatan umpan = 100.000 Kg/jam

Jenis : Reaktor Alir Tangki Berpengaduk

Kondisi Operasi :

Tekanan : 10 atm

Suhu : 190 °C

1. NERACA MASSA :

Umpan Masuk :

$C_4H_{11}NO_2 = 155.0903 \text{ Kgmol/j} = 16284.4824 \text{ Kg/j}$

$H_2O = 9.1383 \text{ Kgmol/j} = 164.4897 \text{ Kg/j}$

$H_2SO_4 = 218.8720 \text{ Kgmol/j} = 21449.4590 \text{ Kg/j}$

$SO_3 = 67.0296 \text{ Kgmol/j} = 5362.3647 \text{ Kg/j}$

Jumlah = 450.1302 Kgmol/j = 43260.7969 Kg/j

Hasil reaksi :

$C_4H_{11}NO_2 = 7.7545 \text{ Kgmol/j} = 814.2241 \text{ Kg/j}$

$$\text{H}_2\text{O} = 89.4445 \text{ Kgmol/j} = 1610.0020 \text{ Kg/j}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 = 285.9016 \text{ Kgmol/j} = 28018.3555 \text{ Kg/j}$$

$$\text{C}_4\text{H}_9\text{NO} = 147.3358 \text{ Kgmol/j} = 12818.2139 \text{ Kg/j}$$

$$\text{Jumlah} = 530.4364 \text{ Kgmol/j} = 43260.7969 \text{ Kg/j}$$

2. NERACA PANAS

Diketahui C_p rata-rata untuk masing-masing komponen sebagai berikut :

$$c_p \text{ C}_4\text{H}_{11}\text{NO}_2 = 32.62 \text{ Kcal/kmol K}$$

$$c_p \text{ H}_2\text{O} = (92.05 - 0.03995 T - 2.1103\text{E-}04 T^2 + 5.3469\text{E-}07 T^3) / 4.2$$

$$\text{Kcal/kmol K}$$

$$c_p \text{ H}_2\text{SO}_4 = (26.00 + 0.70337 T - 0.0013856 T^2 + 1.0342\text{E-}06 T^3) / 4.2$$

$$\text{Kcal/kmol K}$$

$$C_p \text{ SO}_3 = 12.21 \text{ Kcal/kmol K}$$

$$c_p \text{ C}_4\text{H}_9\text{NO} = 39.24 \text{ Kcal/kmol K}$$

A. Enthalpi umpan 1 :

$$\text{Suhu Umpan masuk Reaktor} = 190.0 \text{ C}$$

$$\text{Suhu referensi} = 25 \text{ C}$$

Komponen	m		cp dT	H = m		cp dT
			J			J

C4H11NO2	155.090	5382.300	834742.500
H2O	9.138	3011.617	27521.111
H2SO4	218.872	5874.490	1285761.500
SO3	67.030	2014.650	135041.094
C4H9NO	0.000	6474.600	0.000

Jumlah 450.130 2283066.250

H1 = 2283066.2500 Kcal/j

B. Enthalpi hasil reaksi :

Suhu hasil reaksi keluar Reaktor = 190.0 C

Suhu referensi = 25 C

Komponen	m		cp dT	H = m		cp dT
	J		J			

C4H11NO2	7.755	5382.300	41737.129
H2O	89.445	3011.617	269372.719
H2SO4	285.902	5874.490	1679525.875
SO3	0.000	2014.650	0.000
C4H9NO	147.336	6474.600	953940.313

Jumlah 530.436 2944576.000

$$H_3 = 2944576.0000 \text{ Kcal/j}$$

c. Panas Reaksi :

Reaksi I

Dari data Literatur diperoleh :

$$\text{Panas Pembentukan } C_4H_{11}NO_2 = -94.55 \text{ Kcal/gmol}$$

$$\text{Panas Pembentukan } H_2O = -67.98 \text{ Kcal/gmol}$$

$$\text{Panas Pembentukan } C_4H_9NO = -44.45 \text{ Kcal/gmol}$$

Panas reaksi pada suhu 25 C = DHf produk - DHf reaktan

$$= (\text{DHf } C_4H_9NO + \text{DHf } H_2O) - (\text{Dhf } C_4H_{11}NO_2)$$

$$= (-44.4524 + -67.9762) - (-94.548) \text{ KCal/gmol}$$

$$= -17.881 \text{ KCal/gmol}$$

$$\text{Panas reaksi total} = dHR_{o1} \cdot NA_o \cdot X_a$$

$$= -17.8810 \cdot 1000 \cdot 155.090 \cdot 0.95 \text{ Kcal/j}$$

$$= -2634504.5000 \text{ Kcal/j}$$

Reaksi I

Dari data Literatur diperoleh :

$$\text{Panas Pembentukan } H_2SO_4 = -200.95 \text{ Kcal/gmol}$$

$$\text{Panas Pembentukan } H_2O = -67.98 \text{ Kcal/gmol}$$

$$\text{Panas Pembentukan } SO_3 = -94.21 \text{ Kcal/gmol}$$

Panas reaksi pada suhu 25 C = DHf produk - DHf reaktan

$$= (\text{DHf H}_2\text{SO}_4) - (\text{Dhf H}_2\text{O} + \text{Dhf SO}_3)$$

$$= (-200.9500) - (-67.9762 + -94.2143) \text{ KCal/gmol}$$

$$= -38.760 \text{ KCal/gmol}$$

Panas reaksi Reaksi 2 = dHRO2 . NAO . Xa

$$= -38.7595 \cdot 1000 \cdot 67.030 \cdot 1 \text{ Kcal/j}$$

$$= -2598033.5000 \text{ Kcal/j}$$

Jadi :

$$\text{Panas Masuk (H1)} = 2283066.2500 \text{ KCal/j}$$

$$\text{Panas Keluar (H2)} = 2944576.0000 \text{ KCal/j}$$

$$\text{Panas Reaksi (Qr1 + Qr2)} = -5232538.0000 \text{ KCal/j}$$

Neraca Panas disekitar reaktor :

$$\text{Input} - \text{output} = \text{Accumulation}$$

$$\text{Panas Masuk} - (\text{Panas keluar} + \text{panas reaksi} + \text{panas dibuang}) = 0$$

$$H1 - (H2 + Qr + Q1) = 0$$

$$\text{Panas Yang dibuang (Q1)} = (H1 + Qr) - H2$$

$$= (2283066.25 + 5232538.00) - 2944576.00$$

$$= 4571028.0000 \text{ KCal/j}$$

Neraca Panas :

Masuk	Keluar
1. Enthalpi Umpan masuk I pada suhu 190 oC = 2283066.250 Kcal/jam	1. Enthalpi hasil reaksi pada suhu 190 oC = 2944576.000 Kcal/jam
2. Panas Reaksi = 5232538.000 Kcal/jam	2. Panas Dibawa pendingin = 4571028 Kcal/jam
<hr/>	
7515604.000 Kcal/jam	7515604.000 Kcal/jam

3. Menentukan Konstanta Kecepatan Reaksi

Dari data di Perry's Hand Book diperoleh :

Komponen	Densitas (Kg/Lt)
C4H11NO2	1.0970
H2O	0.9980
H2SO3	1.8400
SO3	1.9200
C4H9NO	1.0070

konstanta kecepatan

reaksi untuk kondisi operasi $T = 190.0\text{ C}$ dan Tekanan 1 atm

Volume cairan :

Komponen	massa kg	densitas	volume
C4H11NO2	16284.4824	1.0970	14844.5596
H2O	164.4897	0.9980	164.8193
H2SO4	21449.4590	1.8400	11657.3145

SO3	5362.3647	1.9200	2792.8984
C4H9NO	0.0000	1.0070	0.0000

29459.5918

Konstanta kecepatan reaksi ditentukan berdasarkan data Patent no.
dengan persamaan reaksi :



sehingga diperoleh harga k sebagai berikut :

Kondisi Awal :

Konsentrasi awal C₄H₁₁NO₂ = 0.005265 Kgmol/l

Konversi Reaktor (X_a) = 0.9500

Waktu reaksi dalam reaktor = 1.00 jam

Untuk Reaktor Alir Tangki Berpengaduk berlaku :

$$C_{Ao} \cdot x_a$$

$$(V / F_v) = \frac{C_{Ao} \cdot x_a}{k \cdot C_A}$$

$$(-r_a)$$

$$C_{Ao} \cdot x_a$$

$$(V / F_v) = \frac{C_{Ao} \cdot x_a}{k \cdot C_A}$$

$$k \cdot C_A$$

$$x_a$$

$$(V / Fv) = \frac{1}{k \cdot (1 - xa)}$$

$$k \cdot (1 - xa)$$

$$xa$$

$$k = \frac{1}{(V / Fv)(1 - xa)}$$

$$(V / Fv)(1 - xa)$$

$$0.950$$

$$1.00 (1 - 0.950)$$

$$= 19.00 \text{ 1/jam}$$

4. Perhitungan Volume dan ukuran reaktor

Anggapan :

- Volume cairan selama reaksi tetap
- Bisa dianggap isothermal karena cairan dalam tangki mixed flow
- Reaksi sederhana orde satu

Reaksi : $A + B \rightarrow \text{Produk}$

dengan $-ra = -dCA/dt = k_1 \cdot CA$

$$= k_1 CA_0 (1 - xa)$$

Kondisi Awal :

Konsentrasi awal $C_{4H11NO_2} = 0.005265 \text{ Kg/mol/l}$

maka diperoleh volume reaktor dengan volume:

Konversi Reaktor (X_a) = .95

Volume cairan dalam reaktor :

$$V = \frac{F_v \cdot x_a}{k(1 - x_a)}$$

$$= \frac{(29459.592) \cdot 0.9500}{19.00(1 - 0.95)}$$

$$= 29459.590 \text{ lt}$$

Over Design : 20 %

$$\begin{aligned} \text{Volume reaktor} &= 1.2 \cdot 29459.590 \text{ lt} \\ &= 35351.508 \text{ lt} \end{aligned}$$

$$\text{Dipakai Volume reaktor} = 35.35 \text{ m}^3$$

Menghitung ukuran reaktor :

Reaktor berbentuk silinder tegak dengan perbandingan $H : D = 1.5 : 1$

$$V_t = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot (h/d) \cdot D}{4} + \frac{\pi}{12} D^2 \cdot D$$

Atau :

$$\left[V_t \right]^{1/3}$$

$$\text{diameter (D)} = \left[\frac{\quad}{\pi/4 (h/d) + \pi / 12} \right]$$

$$= \left[\frac{35.352}{\pi/4 \cdot 1.50 + \pi / 12} \right]^{1/3}$$

$$= 2.91 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (H)} = 1.5 \cdot 2.91$$

$$= 4.36 \text{ m}$$

diperoleh ukuran Reaktor :

$$\text{diameter} = 2.91 \text{ m}$$

$$\text{tinggi} = 4.36 \text{ m}$$

$$\text{Volume cairan dalam head} = (1/2)(\pi/12) 2.907 \text{ m}^3$$

$$= 3.214 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume cairan dibadan Reaktor} = 29.460 \text{ m}^3 - 3.214 \text{ m}^3$$

$$= 26.246 \text{ m}^3$$

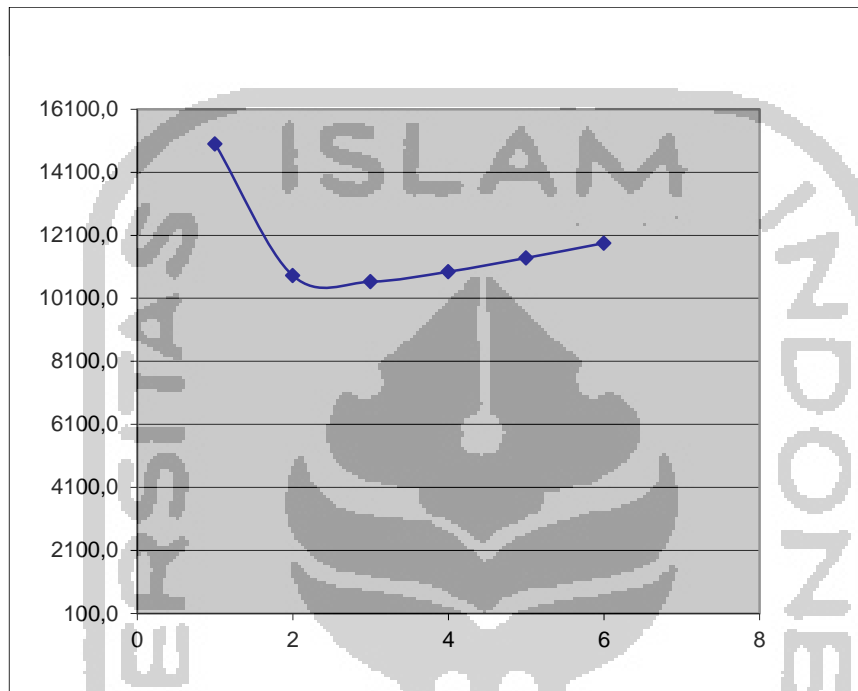
$$\text{Tinggi cairan dibadan Reaktor} = 26.246 / 6.633 \text{ m}$$

$$= 3.957 \text{ m}$$

Ukuran yang di peroleh terlalu besar maka di lakukan proses optimasi yang dipasang secara seri :

Jumlah	Harga	Volume (gal)	Hrg satuan
1	15000,0	5961,765	15000,00

2	13118,2	1501,870	6559,12
3	13504,0	801,906	4501,33
4	14177,8	538,441	3544,45
5	14901,1	403,309	2980,23
6	15608,7	321,550	2601,45



Digunakan jumlah reaktor seri = 2 reaktor

Konversi keluar reaktor 1 = 0.776 reaktor

Konversi keluar reaktor 2 = 0.950 reaktor

Volume tiap reaktor = 5383.49 Lt

Over Design : 20 %

$$\text{Volume reaktor} = 1.20 \cdot 5383.494 \text{ lt}$$

$$= 6460.193 \text{ lt}$$

dipakai Volume reaktor = 6.46 m³

Menghitung ukuran reaktor :

Reaktor berbentuk silinder tegak dengan perbandingan H : D = 1.5 : 1

$$V_t = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot (h/d) \cdot D}{4} + \frac{\pi}{12} D^2 \cdot D$$

Atau :

$$\text{diameter (D)} = \left[\frac{V_t}{\pi/4 (h/d) + \pi/12} \right]^{1/3}$$

$$= \left[\frac{6.460}{\pi/4 \cdot 1.50 + \pi/12} \right]^{1/3}$$

$$= 1.65 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (H)} = 1.5 \cdot 1.65$$

$$= 2.47 \text{ m}$$

diperoleh ukuran Reaktor :

$$\text{diameter} = 1.65 \text{ m}$$

$$\text{tinggi} = 2.47 \text{ m}$$

$$\text{Volume cairan dalam head} = (1/2)(\pi/12) 1.650 \text{ m}^3$$

$$= 0.587 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume cairan dibadan Reaktor} = 5.383 \text{ m}^3 - 0.587 \text{ m}^3$$

$$= 4.796 \text{ m}^3$$

$$\text{Tinggi cairan dibadan Reaktor} = 4.796 / 2.136 \text{ m}$$

$$= 2.245 \text{ m}$$

5. Menghitung tebal shell dan head

Tebal shell :

Tekanan operasi (p) = 14.70 psi

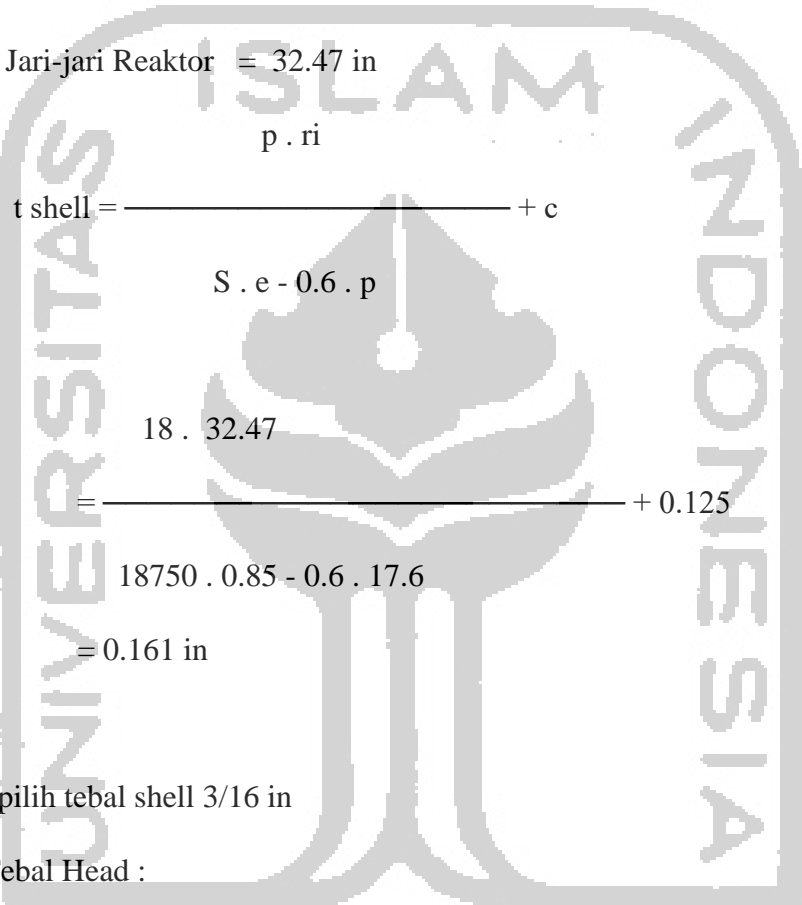
Tekanan design (p) = 17.64 psi

Allowable stress = 18750 psi

Efisiensi sambungan = 0.85

Faktor korosi = 0.125 in

Jari-jari Reaktor = 32.47 in



$$t_{\text{shell}} = \frac{p \cdot r_i}{S \cdot e - 0.6 \cdot p} + c$$
$$= \frac{18 \cdot 32.47}{18750 \cdot 0.85 - 0.6 \cdot 17.6} + 0.125$$
$$= 0.161 \text{ in}$$

Dipilih tebal shell 3/16 in

Tebal Head :

$$t_{\text{head}} = \frac{0.885 \cdot p \cdot d}{2 \cdot S \cdot e - 0.2 \cdot p} + c$$
$$= \frac{0.885 \cdot 18 \cdot 64.94}{2 \cdot 18750 \cdot 0.85 - 0.2 \cdot 17.6} + 0.125$$
$$= 0.157 \text{ in}$$

Dipilih tebal head 3/16 in

6. Menghitung pengaduk dalam Reaktor

Dipilih : Pengaduk type Marine dengan 3 blade

Jumlah baffle 4 buah

Dari tabel 477. Brown diperoleh :

$$Dt/Di = 3$$

$$zi/Di = 0.75 - 1.3$$

$$W/Di = 0.1$$

Diameter Impeler = 54.99 cm

Tinggi Impeler = 54.99 cm

Lebar Baffle = 5.50 cm

diambil :

$$zi/Di = 1$$

Putaran = 1.5 rps

efisiensi = 80 %

Tinggi baffle diambil sama dengan tinggi cairan

bilangan Reynold dalam Reaktor :

$$n \cdot di^2 \cdot \rho$$

$$Re = \frac{\quad}{\quad}$$

visc

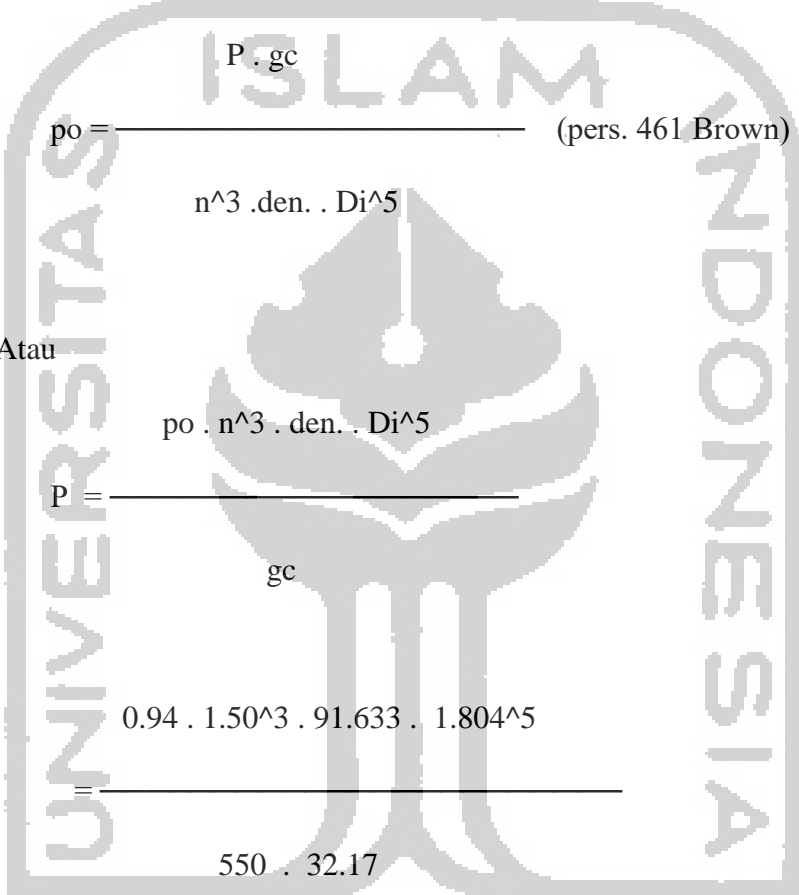
$$1.5 \cdot 54.99^2 \cdot 1.468$$

$$= \frac{\quad}{\quad}$$

$$0.0095$$

$$= 700313.2$$

Dari fig. 477 brown diperoleh $p_o = 0.94$



$$P = \frac{p_o \cdot n^3 \cdot \text{den.} \cdot Di^5}{gc}$$
 (pers. 461 Brown)

Atau

$$P = \frac{0.94 \cdot 1.50^3 \cdot 91.633 \cdot 1.804^5}{550 \cdot 32.17}$$

$$= 0.215 \text{ Hp}$$

effisiensi : 80 %

$$\text{Power} = \frac{P}{\text{eff}} = \frac{0.215}{0.80}$$

$$= 0.269 \text{ Hp}$$

Digunakan motor dengan daya = 0.50 Hp

Perpindahan panas :

Menghitung perpindahan panas Reaktor I :

Dipilih pendingin coil dengan media pendingin air

dengan :

suhu bahan masuk = 190 °C

suhu bahan keluar = 190 °C

suhu Pendingin masuk = 30 °C

suhu Pendingin keluar = 50 °C

Kebutuhan Air pendingin :

$$W_a = \frac{Q}{C_p \cdot \Delta t}$$

dengan :

Q : Jumlah panas yang harus diserap = 2285514 Kcal/j.

C_p : Panas jenis pendingin = 1 Kcal/Kg oC.

Δt : beda suhu pendingin = 20 C

$$2285514.00 \text{ Kcal/j}$$

$$W_a = \frac{\quad}{\quad}$$

$$1 \text{ (Kcal/Kg oC) } \cdot 20.0 \text{ (oC)}$$

$$= 114275.7 \text{ Kg/j}$$

Pemilihan Diameter pipa Coil

Kecepatan massa pendingin = 114275.703 kg/j

Densitas pendingin = 1000.000 kg/m³

$$114275.70 \text{ kg/j}$$

$$Q_v = \frac{\text{---}}{\text{---}}$$

$$1000.00 \text{ kg/m}^3$$

$$= 114.28 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$= 0.0317 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Dari tabel : hal 159 Coulson & Richardson, 1987

diperoleh kecepatan linier pendingin dalam pipa = 2.80 m/dt

Luas Penampang :

$$0.0317 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$A = \frac{\text{---}}{\text{---}}$$

$$2.80 \text{ m/dt}$$

$$= 0.01134 \text{ m}^2$$

Diameter pipa coil :

$$D_i = \left[\frac{4 \cdot 0.01134 \text{ m}^2}{\pi} \right]^{1/2}$$

$$= 0.120 \text{ m}$$

$$= 4.731 \text{ in}$$

Dipilih diameter pipa coil 4 inches, 40 NPS.

Dari tabel 11. Kern : OD = 4.5 in

$$ID = 4.025 \text{ in}$$

$$At = 12.71749 \text{ in}^2$$

$$At' = 1.053208 \text{ sqft/ft}$$

a. Menghitung koefisien transfer panas :

- Untuk cairan dalam mixer maka dipakai persamaan 20.4 Kern.

$$h_c = \frac{0.87 \cdot k}{D} \left[\frac{L^2 \cdot N \cdot \text{den}}{\text{visc.}} \right]^{2/3} \left[\frac{C_p \cdot \text{visc}}{k} \right]^{1/3} \left[\frac{\text{visc.}}{\text{viscw.}} \right]^{0.14}$$

dengan :

h_c = Koeff. transfer panas cairan, Btu/sqft j F

D_i = Diameter mixer = 5.412067 ft

k = Konduktivitas panas = .36 Btu/j sqft (F/ft)

L = diameter putar pengaduk = 1.804022 ft

den = densitas larutan = 91.6331 lb/cuft

C_p = panas jenis = .561 Btu/lb F

visc = Viskositas cairan = 2.30142 lb/j ft

viscw = Viskositas air = 1.8392 lb/j ft

$$h_c = \frac{0.87 \cdot 0.360}{5.41} \left[\frac{700313.2}{1} \right]^{2/3} \left[\frac{0.56 \cdot 2.30}{0.360} \right]^{1/3} \left[\frac{2.30}{1.84} \right]^{0.14}$$

maka diperoleh :

$$h_c = 923.2161 \text{ Btu/j sqft F}$$

- Untuk pendingin dalam coil

D . wa . 2.2

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

Visc . at

$$0.34 \cdot 114275.70 \cdot 2.2$$

$$= \frac{0.34 \cdot 114275.70 \cdot 2.2}{1.839 \cdot 0.0883}$$

$$= 519150.5$$

Dari fig. 24 Kern, diperoleh $jH = 280$

$$hi = jH \frac{k}{D} \left[\frac{cp \cdot visc.}{k} \right]^{1/3} \left[\frac{visc}{viscw} \right]^{0.14}$$

dengan :

hi = Koeff. transfer panas pipa, Btu/sqft j F

Di = Diameter dalam pipa = .3354167 ft

k = Konduktivitas panas = .569 Btu/j sqft (F/ft)

Cp = panas jenis pendingin = 1 Btu/lb F

$visc$ = Viskositas cairan = 1.8392 lb/j ft

$viscw$ = Viskositas air = 1.8392 lb/j ft

$$hi = 280 \frac{0.569}{0.34} \left[\frac{1.00 \cdot 1.839}{0.569} \right]^{1/3} \left[\frac{1.839}{1.839} \right]^{0.14}$$

$$h_i = 702.0284 \text{ Btu/j sqft F}$$

$$\begin{aligned} D_{\text{coil}} &= 0.5 \cdot D_i - W + 0.5 \cdot D_p \\ &= 0.5 \cdot 1.650 - 0.05 + 0.5 \cdot 0.550 \\ &= 1.044745 \text{ m} \\ &= 3.427643 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{io} &= h_i \cdot (1 + 3.5 \cdot d/D_c) \quad \text{Kern. hal.721} \\ &= 702.03 \cdot (1 + 3.5 \cdot 0.375/1.045) \\ &= 1583.978 \text{ Btu/j sqft F} \end{aligned}$$

b. Overall heat transfer U_d :

Overall transfer panas saat start up

$$\begin{aligned} U_c &= \frac{h_{io} \cdot h_o}{h_{io} + h_o} \\ &= \frac{1583.98 \cdot 923.22}{1583.98 + 923.22} \\ &= 583.2631 \text{ Btu/j sqft F} \end{aligned}$$

Dari Kern p.846 untuk larutan garam $R_d = 0.001$

dan untuk bahan organik $R_d = 0.001$

Jadi R_d total = 0.002

$$\begin{aligned} U_d &= \frac{U_c}{U_c \cdot R_d + 1} \\ &= \frac{583.26}{583.26 \cdot 0.002 + 1} \end{aligned}$$

$$= \frac{583.26 \cdot 0.0015}{1} + 1$$

$$583.26 \cdot 0.0015 + 1$$

maka diperoleh :

$$U_d = 311.0911 \text{ Btu/sqft F}$$

c. Menghitung Luas transfer panas :

Luas perpindahan panas yang diperlukan :

$$Dt1 - Dt2$$

$$LMTD = \frac{Dt1 - Dt2}{\ln Dt1/Dt2}$$

$$\ln Dt1/Dt2$$

dengan :

$$Dt1 = 190 - 50 = 140 \text{ C}$$

$$Dt2 = 190 - 30 = 160 \text{ C}$$

maka diperoleh :

$$140.0 - 160.0$$

$$LMTD = \frac{140.0 - 160.0}{\ln (140.0 / 160.0)}$$

$$\ln (140.0 / 160.0)$$

$$= 149.78 \text{ C}$$

$$= 269.5995 \text{ F}$$

maka luas perpindahan panas :

$$Q$$

$$A_o = \frac{Q}{U_d \cdot LMTD}$$

$$U_d \cdot LMTD$$

$$9069500.00$$

$$= \frac{9069500.00}{269.5995}$$

$$311.09 \cdot 269.60$$

$$= 108.1376 \text{ sqft}$$

$$\text{Diameter lilitan} = 3.427643 \text{ ft}$$

Luas perpindahan panas per coil :

$$\begin{aligned} A' &= A_t' \cdot \pi \cdot D_c \\ &= 1.053 \cdot \pi \cdot 3.428 \\ &= 11.33547 \text{ sqft} \end{aligned}$$

Jumlah lilitan :

$$\begin{aligned} N_t &= \frac{A_o}{A_t'} \\ &= \frac{108.14}{11.34} \\ &= 9.539753 \end{aligned}$$

diambil jumlah lilitan (N_t) = 10

panjang total coil :

$$\begin{aligned} L &= \frac{A_o}{A_t'} = \frac{108.138}{1.053} \\ &= 102.6744 \text{ ft} \end{aligned}$$

Tinggi lilitan coil minimum yaitu jika coil disusun tanpa jarak

yaitu :

$$\begin{aligned}
 H_{\min} &= N_t \cdot OD = 10 \cdot 4.5 / 12 \\
 &= 3.577407 \text{ ft} \\
 &= 1.090394 \text{ m}
 \end{aligned}$$

diambil jarak antar coil = 1 inchi

Tinggi coil total :

$$\begin{aligned}
 H &= H_{\min} + (N_t - 1) \cdot pt / 12 = 3.577 + (10 - 1) \cdot 1 / 12 \\
 &= 4.289053 \text{ ft} \\
 &= 1.307304 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jadi Tinggi cairan lebih tinggi dari tinggi Coil.

Menghitung perpindahan panas Reaktor II :

Dipilih pedingin coil dengan media pendingin air dengan :

$$\begin{aligned}
 \text{suhu bahan masuk} &= 190 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \text{suhu bahan keluar} &= 190 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \text{suhu Pendingin masuk} &= 30 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \text{suhu Pendingin keluar} &= 50 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan Air pendingin :

$$W_a = \frac{Q}{C_p \cdot Dt}$$

dengan :

Q : Jumlah panas yang harus diserap = 2285514 Kcal/j.

C_p : Panas jenis pendingin = 1 Kcal/Kg oC.

Dt : beda suhu pendingin = 20 C

$$2285514.00 \text{ Kcal/j}$$

$$W_a = \frac{\quad}{\quad}$$

$$1 \text{ (Kcal/Kg } ^\circ\text{C)} \cdot 20.0 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$= 114275.7 \text{ Kg/j}$$

Pemilihan Diameter pipa Coil

$$\text{Kecepatan massa pendingin} = 114275.703 \text{ kg/j}$$

$$\text{Densitas pendingin} = 1000.000 \text{ kg/m}^3$$

$$114275.70 \text{ kg/j}$$

$$Q_v = \frac{\quad}{\quad}$$

$$1000.00 \text{ kg/m}^3$$

$$= 114.28 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$= 0.0317 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Dari tabel : hal 159 Coulson & Richardson, 1987

diperoleh kecepatan linier pendingin dalam pipa = 2.80 m/dt

Luas Penampang :

$$0.0317 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$A = \frac{\quad}{\quad}$$

$$2.80 \text{ m/dt}$$

$$= 0.01134 \text{ m}^2$$

Diameter pipa coil :

$$D_i = \left[\frac{4 \cdot 0.01134 \text{ m}^2}{\pi} \right]^{1/2}$$

$$= 0.120 \text{ m}$$

$$= 4.731 \text{ in}$$

Dipilih diameter pipa coil 4 inches, 40 NPS.

Dari tabel 11. Kern : OD = 4.5 in

$$ID = 4.025 \text{ in}$$

$$A_t = 12.71749 \text{ in}^2$$

$$A_t' = 1.053208 \text{ sqft/ft}$$

a. Menghitung koefisien transfer panas :

- Untuk cairan dalam mixer maka dipakai persamaan 20.4 Kern.

$$h_c = \frac{0.87 \cdot k}{D} \left[\frac{L^2 \cdot N \cdot \text{den}}{\text{visc.}} \right]^{2/3} \left[\frac{C_p \cdot \text{visc.}}{k} \right]^{1/3} \left[\frac{\text{visc.}}{\text{viscw.}} \right]^{0.14}$$

dengan :

h_c = Koeff. transfer panas cairan, Btu/sqft j F

D_i = Diameter mixer = 5.412067 ft

k = Konduktivitas panas = .36 Btu/j sqft (F/ft)

L = diameter putar pengaduk = 1.804022 ft

den = densitas larutan = 91.6331 lb/cuft

C_p = panas jenis = .561 Btu/lb F

visc = Viskositas cairan = 2.30142 lb/j ft

viscw = Viskositas air = 1.8392 lb/j ft

$$h_c = \frac{0.87 \cdot 0.360}{5.41} \left[\frac{700313.2}{0.360} \right]^{2/3} \left[\frac{0.56 \cdot 2.30}{0.360} \right]^{1/3} \left[\frac{2.30}{1.84} \right]^{0.14}$$

maka diperoleh :

$$h_c = 923.2161 \text{ Btu/j sqft F}$$

- Untuk pendingin dalam coil

$$D \cdot w \cdot 2.2$$

$$Re = \frac{\text{Visc} \cdot at}{0.34 \cdot 114275.70 \cdot 2.2}$$

$$= \frac{1.839 \cdot 0.0883}{0.34 \cdot 114275.70 \cdot 2.2}$$

$$= 519150.5$$

Dari fig. 24 Kern, diperoleh $jH = 280$

$$h_i = jH \frac{k}{D} \left[\frac{cp \cdot visc.}{k} \right]^{1/3} \left[\frac{visc}{viscw} \right]^{0.14}$$

dengan :

h_i = Koeff. transfer panas pipa, Btu/sqft j F

D_i = Diameter dalam pipa = .3354167 ft

$k =$ Konduktivitas panas = .569 Btu/j sqft (F/ft)

$C_p =$ panas jenis pendingin = 1 Btu/lb F

$\text{visc} =$ Viskositas cairan = 1.8392 lb/j ft

$\text{viscw} =$ Viskositas air = 1.8392 lb/j ft

$$h_i = 280 \frac{0.569 \left[\frac{1.00 \cdot 1.839}{0.569} \right]^{1/3} \left[\frac{1.839}{1.839} \right]^{0.14}}{0.34}$$

$$h_i = 702.0284 \text{ Btu/j sqft F}$$

$$D_{\text{coil}} = 0.5 \cdot D_i - W + 0.5 \cdot D_p$$

$$= 0.5 \cdot 1.650 - 0.05 + 0.5 \cdot 0.550$$

$$= 1.044745 \text{ m}$$

$$= 3.427643 \text{ ft}$$

$$h_{io} = h_i \cdot (1 + 3.5 \cdot d/D_c) \quad \text{Kern. hal.721}$$

$$= 702.03 \cdot (1 + 3.5 \cdot 0.375/1.045)$$

$$= 1583.978 \text{ Btu/j sqft F}$$

b. Overall heat transfer U_d :

Overall transfer panas saat start up

$$h_{io} \cdot h_o$$

$$U_c = \frac{\quad}{\quad}$$

$$h_{io} + h_o$$

$$1583.98 \cdot 923.22$$

$$= \frac{\quad}{\quad}$$

$$1583.98 + 923.22$$

$$= 583.2631 \text{ Btu/j sqft F}$$

Dari Kern p.846 untuk larutan garam $R_d = 0.001$

dan untuk bahan organik $R_d = 0.001$

Jadi $R_d \text{ total} = 0.002$



$$U_d = \frac{U_c}{U_c \cdot R_d + 1}$$

$$= \frac{583.26}{583.26 \cdot 0.0015 + 1}$$

maka diperoleh :

$$U_d = 311.0911 \text{ Btu/sqft F}$$

c. Menghitung Luas transfer panas :

Luas perpindahan panas yang diperlukan :

$$Dt_1 - Dt_2$$

$$LMTD = \frac{Dt_1 - Dt_2}{\ln Dt_1/Dt_2}$$

dengan :

$$Dt_1 = 190 - 50 = 140 \text{ C}$$

$$Dt_2 = 190 - 30 = 160 \text{ C}$$

maka diperoleh :

$$140.0 - 160.0$$

$$\text{LMTD} = \frac{140.0 - 160.0}{\ln(140.0 / 160.0)}$$

$$\ln(140.0 / 160.0)$$

$$= 149.78 \text{ C}$$

$$= 269.5995 \text{ F}$$

maka luas perpindahan panas :

$$A_o = \frac{Q}{U_d \cdot \text{LMTD}}$$

$$= \frac{9069500.00}{311.09 \cdot 269.60}$$

$$= 108.1376 \text{ sqft}$$

$$= 108.1376 \text{ sqft}$$

$$= 108.1376 \text{ sqft}$$

$$= 108.1376 \text{ sqft}$$

$$= 108.1376 \text{ sqft}$$

$$\text{Diameter lilitan} = 3.427643 \text{ ft}$$

Luas perpindahan panas per coil :

$$A' = A_t' \cdot \pi \cdot D_c$$

$$= 1.053 \cdot \pi \cdot 3.428$$

$$= 11.33547 \text{ sqft}$$

Jumlah lilitan :

$$N_t = \frac{A_o}{A_t'}$$

$$= \frac{108.14}{11.33547}$$

$$N_t = \frac{11.34}{9.539753}$$

$$= 1.1887$$

$$= 9.539753$$

diambil jumlah lilitan (N_t)= 10

panjang total coil :

$$L = \frac{A_o}{A_t'} = \frac{108.138}{1.053}$$

$$= 102.6744 \text{ ft}$$

Tinggi lilitan coil minimum yaitu jika coil disusun tanpa jarak yaitu :

$$H_{\min} = N_t \cdot OD = 10 \cdot 4.5 / 12$$

$$= 3.577407 \text{ ft}$$

$$= 1.090394 \text{ m}$$

diambil jarak antar coil = 1 inchi

Tinggi coil total :

$$H = H_{\min} + (N_t - 1) \cdot \frac{pt}{12} = 3.577 + (10 - 1) \cdot \frac{1}{12}$$

$$= 4.289053 \text{ ft}$$

$$= 1.307304 \text{ m}$$

Jadi Tinggi cairan lebih tinggi dari tinggi Coil.

8. Spesifikasi Reaktor

Tugas : Mereaksikan diethanol amine menjadi morpholine

dengan kecepatan umpan = 100.000 Kg/jam

Jenis : Reaktor Alir Tangki Berpengaduk

Kondisi Operasi :

Tekanan : 10 atm

Suhu : 190 °C

Diperoleh ukuran reaktor :

Diameter = 1.65 m

Tinggi = 2.47 m

Volume cairan dalam head = 0.587 m³

Volume cairan dibadan RATB = 4.796 m³

Tinggi cairan dibadan RATB = 2.245 m

Dipilih Tebal shell : 3/8 in

Tebal Head : 3/8 in

Dipilih : Pengaduk type Marine dengan 3 blade

Jumlah baffle 4 buah

Diameter Impeler = 54.99 cm

Tinggi Impeler = 54.99 cm

Lebar Baffle = 5.50 cm

Digunakan motor dengan daya = 0.50 Hp

Luas perpindahan Panas :

$$A = 108.1376 \text{ sqft}$$

Coil (Lilitan) :

Reaktor I :

$$\text{Diameter Coil} = 3.428 \text{ ft}$$

$$\text{Luas perpindahan panas per coil} = 11.34 \text{ sqft}$$

$$\text{Jumlah Coil} = 10 \text{ Lilitan}$$

$$\text{Tinggi lilitan Coil minimum} = 1.090 \text{ m}$$

$$\text{Jarak antar Coil} = 1.0 \text{ inchi}$$

$$\text{Tinggi Coil total} = 1.307 \text{ m}$$

Reaktor II :

$$\text{Diameter Coil} = 3.428 \text{ ft}$$

$$\text{Luas perpindahan panas per coil} = 11.34 \text{ sqft}$$

$$\text{Jumlah Coil} = 10 \text{ Lilitan}$$

$$\text{Tinggi lilitan Coil minimum} = 1.090 \text{ m}$$

$$\text{Jarak antar Coil} = 1.0 \text{ inchi}$$

$$\text{Tinggi Coil total} = 1.307 \text{ m}$$

Tebal Isolasi :

$$\text{Tebal Isolasi} = 3 \text{ in}$$

Jenis bahan Isolasi = Asbes

Jenis Bahan Reaktor : Baja Stainless Steel

$$\text{Jumlah reaktor} = 2$$



LAMPIRAN GAMBAR REAKTOR RATB

