BAB VI
PERANCANGAN ALAT UTAMA

Nama alat	:	Reaktor
Kode alat	:	R-110
Fungsi	:	Untuk mereaksikan HCHO,NaOH, dan CH3CHO
Jumlah	:	1 buah
Type	:	*Mixed Flow*
Bentuk	:	Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk standart dished dan tutup bawah conical dengan sudut puncak 120^o
Perlengkapan	:	Pengaduk dan coil pendingin

Kondisi operasi	:	- Temperatur	=	60 ^oC
		- Tekanan	=	1 atm
		- Waktu operasi	=	1 jam
		- Fase	=	liquid - liquid
Direncanakan	:	- Bahan konstruksi	=	Stainless Steel SA 240 grade M type 316
		allowable stress (f)	=	18750 (Brownell & Young hal 342)
		- Pengelasan	=	Single welded butt joint E = 0,8 (Brownell & Young hal 254)
		- Faktor korosi	=	1/16
		- Bahan masuk	=	70242,6646 kg/jam
			=	154856,9784 lb/jam

Menentukan densitas dan viskositas campuran

Rate bahan	:	HCHO	=	8663,2620	kg/jam
			=	19099,0274	lb/jam
	:	NaOH	=	11707,11	kg/jam
			=	25809,4965	lb/jam
	:	CH4O	=	2341,4222	kg/jam
			=	5161,8994	lb/jam
	:	CH3CHO	=	23180,0793	kg/jam
			=	51102,8028	lb/jam
	:	H2O	=	24350,7904	kg/jam
			=	53683,7525	lb/jam

Densitas	:	HCHO	=	0,0764	lb/ft^3
	:	NaOH	=	91,4800	lb/ft^3

:	CH_4O	=	48,7400	lb/ft^3
:	CH_3CHO	=	0,0079	lb/ft^3
	H_2O	=	62,6500	lb/ft^3

Viskositas	:	HCHO	=	0,000005	lb/ft.s
	:	NaOH	=	0,0001	lb/ft.s
	:	CH_4O	=	0,0003	lb/ft.s
	:	CH_3CHO	=	0,0000048	lb/ft.s
	:	H_2O	=	0,0005	lb/ft.s

Komponen	Massa lb/jam	xi Massa	ρ lb/ft^3	μ lb/ft.s	xi × ρ	xi × μ
HCHO	19099,027	0,12	0,0764	0,000005	0,009	0,00000065
NaOH	25809,496	0,17	91,4800	0,0001	15,247	0,000016
CH_4O	5161,899	0,03	48,7400	0,0003	1,625	0,000011
CH_3CHO	51102,803	0,33	0,0079	0,000005	0,003	0,0000016
H_2O	53683,753	0,35	62,6500	0,0005	21,719	0,000185
Total	154856,979	1	202,9543	0,001	38,602	0,000215

$$\rho \text{ campuran} = \frac{\sum xi.\rho}{\sum xi} = \frac{38,6020}{1} = 38,602 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu \text{ campuran} = \frac{\sum xi.\mu}{\sum xi} = \frac{0,0002}{1} = 0,0002 \text{ lb/ft.s}$$

6.1. Rancangan dimensi reaktor

A. Menghitung volume reaktor

Bahan masuk = 70242,6646 kg/jam

= 154856,9784 lb/jam

ρ campuran = 38,6020 lb/ft^3

Rate volumetrik $= \frac{\text{Bahan masuk}}{\rho \text{ campuran}}$

$= \frac{154856,9784}{38,6020}$

= 4011,6286 ft^3/jam

Volume liquid = 4011,6286 ft^3/jam × 1,00 jam

= 4011,6286 ft^3

Volume ruang kosong = 20% Volume total

Volume total = Volume liquid + Volume ruang kosong

Volume total = 4011,6286 + 20% Volume total

80% Volume total = 4011,6286

Volume total = 5014,5358 ft^3

B. Menghitung dimensi vessel

- Menghitung diameter vessel

Asumsi : Ls = 1,5 di

$V_{total} = V_{tutup\ bawah} + V_{silider} + V_{tutup\ atas}$

$$5014{,}5358 = \frac{\pi\, di^3}{24\ tg\ ½\ \alpha} + \left(\frac{\pi}{4} \times di^2 \times Ls\right) + 0{,}0847\ di^3$$

$$5014{,}5358 = \frac{\pi\, di^3}{24\ tg\ ½\ \alpha} + \left(\frac{\pi}{4} \times di^2 \times 1{,}5\ di\right) + 0{,}0847\ di^3$$

$5014{,}5358 = 0{,}0755\ di^3 + 1{,}1775\ di^3 + 0{,}0847\ di^3$

$5014{,}5358 = 1{,}3377\ di^3$

$di^3 = 3748{,}5284$

di = 15,5341 ft

= 186,4096 in

- menghitung volume liquid dalam silinde (Vls)

Vls = Vliquid - V tutup bawah

$$= 4011{,}6286 - \frac{\pi\, di^3}{24\ \tan 1/2\alpha}$$

$$= 4011{,}6286 - \frac{3{,}14}{24} \times \frac{3748{,}5284}{1{,}7321}$$

= 3728,4854 ft^3

- Menghitung tinggi tangki yang terisi bahan (H)

$V_{total} = V_{tutup\ bawah} + V_{silider} + V_{tutup\ atas}$

$$5014{,}5358 = \frac{\pi\, di^3}{24\ tg\ ½\ \alpha} + \left(\frac{\pi}{4} \times di^2 \times H\right) + 0{,}0847\ di^3$$

5014,5358 = 283,1433 + 189,4277 H + 1,3157

5014,5358 = 284,4590 + 189,4277 H

189,4277 H = 4730,0768

H = 24,9704 ft = 299,6442 in

- Menghitung tekanan design (Pi)

$P_i = P_{atm} + P_{hidrostatik}$

$$P_{hidrostatik} = \frac{\rho\,(H-1)}{144}$$

(Brownell dan Young, pers. 3.17, hal 46)

$$= \frac{38{,}6020 \times (24{,}9704 - 1)}{144}$$

= 6,4257 psia

Poperasi = . atm = ,7 psia

Pi = $P_{atm} + P_{hidrostatik}$

= 14,6959 + 6,4257

= 21,1216 psia

= 6,4216 psig

tebal silinder (ts) $= \dfrac{Pi.di}{2(f.E - 0,6Pi)} + C$

$= \dfrac{6,4216 \times 186,4096}{2 \times [(18750 \times 0,8)-(0,6 \times 6,42)]} + \dfrac{1}{16}$

$= 0,0399 + \dfrac{1}{16}$

$= \dfrac{1,64}{16} \approx \dfrac{3}{16}$

Standarisasi do

do = di + 2 ts

$= 186,4096 + (2 \times \dfrac{3}{16})$

= 186,7846 in

Standarisasi dengan Tabel 5.7, Brownell and Young, hal 89

do = 192

icr = 11 1/2

r = 170

ts = 0,6250

maka :

di_{baru} = do - ts

$= 192 - (2 \times 0,6250)$

= 190,7500 in

= 15,8958 ft

Cek hubungan Ls dengan di:

$V_{total} = V_{tutup\ bawah} + V_{silider} + V_{tutup\ atas}$

$5014,5358 = \dfrac{\pi\ di^3}{24\ tg\ \frac{1}{2}\ \alpha} + \left(\dfrac{\pi}{4} \times di^2 \times Ls\right) + 0,0847\ di^3$

$5014,5358 = 370,0667 + 198,3519\ Ls + 340,1992$

$5014,5358 = 710,2659 + 198,3519\ Ls$

$198,3519\ Ls = 4304,2699$

Ls = 21,7002 ft

$\dfrac{Ls}{di} = \dfrac{21,7002}{15,8958} = 1,3651 < 1,5$ (memenuhi)

C. Menghitung dimensi tutup

- Menghitung dimensi tutup atas (standart dished)

r = 170

icr = 11 1/2

sf = 2 *(Brownell dan Young, tabel 5.6, hal 88)*

Tebal tutup atas (tha)

$$tha = \frac{0{,}885\ Pi.di}{2\ (fE - 0{,}1\ Pi)} + C$$

$$= \frac{0{,}885 \times 6{,}4216 \times 190{,}7500}{2 \times [(18750 \times 0{,}8)-(0{,}1 \times 6{,}422)]} + \frac{1}{16}$$

`

$$= 0{,}0361 + \frac{1}{16}$$

$$= \frac{1{,}5782}{16} \approx \frac{3}{16}$$

Tinggi tutup atas (ha)

$$ha = 0{,}1690 \times di$$

$$= 0{,}1690 \times 190{,}7500$$

$$= 32{,}2368 \text{ in}$$

$$= 2{,}6864 \text{ ft}$$

- Menghitung dimensi tutup bawah (conical)

$$thb = \frac{Pi.di}{2 \cos \tfrac{1}{2} \alpha\ (fE - 0{,}6Pi)} + C$$

$$= \frac{6{,}4216 \times 190{,}7500}{2 \times \cos 60 \times [(18750 \times 0{,}8)-(0{,}6 \times 6{,}4)]} + \frac{1}{16}$$

$$= 0{,}0472 + \frac{1}{16}$$

$$= \frac{1{,}7546}{16} \approx \frac{3}{16}$$

$$hb = \frac{\tfrac{1}{2}\ di}{tg\ \tfrac{1}{2} \alpha}$$

$$= \frac{95{,}3750}{1{,}7321}$$

$$= 55{,}0632 \text{ in}$$

$$= 4{,}5886 \text{ ft}$$

Dari perhitungan di atas, maka diperoleh dimensi reaktor sebagai berikut:

-	do	=	192	in	-	tha	=	3/16 in
-	di	=	190,7500	in	-	ha	=	32,237 in
-	Ls	=	260,4021	in	-	thb	=	3/16 in
-	ts	=	0,6250	in	-	hb	=	55,063 in

- Tinggi reaktor = $T_{tutup\ atas} + T_{silinder} + T_{tutup\ bawah}$

$$= 32{,}2368 + 260{,}4021 + 55{,}0632$$

$$= 347{,}7021 \text{ in}$$

$= 28{,}9752$ ft

6.2. Rancangan Pengaduk

Rencana pengaduk:

- Jenis pengaduk : Axial turbin 4 blades sudut 60°
- Bahan impeller : High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316
- Bahan poros pengaduk : Hot Rolled Steel SAE 1020

Dari G.G. Brown hal 507, didapatkan:

- Dt/Di = 3
- Zi/Di = 0,05
- W/Di = 0,2

Dimana:
Dt = Diameter dalam silinder
Di = Diameter impeller
Zi = Tinggi impeller dari dasar tangki
Zl = Tinggi liquid dalam silinder
W = Lebar baffel impeller
L = Panjang impeller

A. Menghitung dimensi pengaduk

- Menghitung diameter impeller

$$\frac{Dt}{Di} = 3$$

$$Di = \frac{Dt}{3} = \frac{190{,}7500}{3} = 63{,}5833 \text{ in} = 5{,}2986 \text{ ft}$$

- Menghitung tinggi impeler dari dasar tangki

$$\frac{Zi}{Di} = 0{,}05$$

$$Zi = 0{,}05 \times Di = 0{,}05 \times 63{,}5833 = 3{,}179167 \text{ in} = 0{,}2649 \text{ ft}$$

- Menghitung panjang impeller

$$\frac{L}{Di} = \frac{1}{4}$$ *(Geankoplis 3 th ed,tabel 3.4-1, hal 144)*

$$L = \frac{1}{4} \times Di = \frac{1}{4} \times 63{,}5833 = 15{,}8958 \text{ in} = 1{,}3247 \text{ ft}$$

- Menghitung lebar impeller

$$\frac{W}{Di} = 0,2$$

$$W = 0,2 \times Di$$
$$= 0,2 \times 63,5833$$
$$= 12,71667 \text{ in}$$
$$= 1,0597 \text{ ft}$$

- Menentukan tebal blade

$$\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$$ *(Geankoplis 3 th ed,tabel 3.4-1, hal 144)*

$$J = \frac{1}{12} \times Dt$$
$$= \frac{1}{12} \times 190,7500$$
$$= 15,8958 \text{ in}$$
$$= 1,3247 \text{ ft}$$

- Menentukan jumlah pengaduk

$$n = \frac{H_{liquid}}{2 \times Di^2}$$
$$= \frac{24,9704}{2 \times 28,0753}$$
$$= 0,4447 \approx 0,5 \text{ buah}$$

B. Perhitungan daya pengaduk

$$P = \frac{\varphi \times \rho \times n^3 \times Di^5}{gc}$$ *(G. G. Brown, pers. 461, hal 506)*

Dimana : P = daya pengaduk
φ = power number
ρ = densitas bahan
Di = diameter impeller
gc = 32,2 lb.ft/s².lbf
n = putaran pengaduk, ditetapkan = 100 rpm
= 1,6667 rps
(Perry ed 7 th , hal 23-46)

Menghitung bilangan Reynold

$$N_{Re} = \frac{D^2\, n\, \rho}{\mu}$$
$$= \frac{(5,2986)^2 \times 100 \times 38,6020}{0,0002}$$
$$= 504099565,3762 \quad (\text{Turbulen}, N_{Re} > 10^4)$$

Dari G. G. Brown fig. 4.77 hal 507, diperoleh φ = 0,7

$$P = \frac{\varphi \times \rho \times n^3 \times Di^5}{gc}$$

$$= \frac{0,7 \times 38,6020 \times (1,6667)^3 \times (5,2986)^5}{32,2}$$

= 16225,8966 lb ft/s

= 29,5016 Hp

Kehilangan-kehilangan daya:

- Gain losses (kebocoran daya pada proses dan bearing) diperkirakan 10% dari daya masuk
- Transmission system losses (kebocoran belt atau gear) diperkirakan 15% dari daya masuk

Sehingga daya yang dibutuhkan:

P yang dibutuhkan = (0,1 + 0,15 P) + P

= (0,25 × 29,5016) + 29,5016

= 36,8770 Hp ≈ 49 Hp

Jadi, digunakan pengaduk dengan daya 49 Hp

C. Perhitungan poros pengaduk

- Diameter poros

$$\tau = \frac{\pi \times s \times D^3}{16}$$ *(Hesse, pers 16-1, hal 465)*

Dimana : τ = momen puntir

P = daya motor pada poros

N = putaran pengaduk

s = maksimum design shering stress yang diijinkan

D = diameter poros

Sehingga,

$$\tau = \frac{63025 \times P}{N}$$ *(Hesse, hal 469)*

$$= \frac{63025 \times 49}{100}$$

= 30882,2500 lb in

Dari Hesse tabel 16-1 hal 467, untuk bahan Hot Rolled Steel SAE 1020 mengandung kabon = 20% dengan batas = 36000 lb/in^2

S = maksimum design shering stress yang diijinkan

= 20% × 36000

= 7200 lb in

Diameter poros pengaduk (D)

$$D = \left(\frac{16 \times \tau}{\pi \times s} \right)^{1/3}$$

$$= \left(\frac{16 \times 30882{,}2500}{3{,}14 \times 7200} \right)^{1/3}$$

= 2,7959 in

= 0,2330 ft

- Panjang poros (L)

L = H + Z - Zi

Dimana : Zi = jarak impeller dari dasar tangki

Z = panjang impeller di atas bejana tangki

H = $T_{silinder} + T_{tutup\ atas}$

= 260,4021 + 32,2368

= 292,6389 in

= 24,3866 ft

L = 292,6389 + 15,8958 - 3,1792

= 305,3555 in

= 25,4463 ft

Kesimpulan dimensi pengaduk:

Type	:	Axial turbin 4 blade sudut 90°				
Di	:	63,5833	in	=	5,2986	ft
Zi	:	3,1792	in	=	0,2649	ft
W	:	12,7167	in	=	1,0597	ft
L	:	15,8958	in	=	1,3247	ft
n	:	1	buah			
daya	:	49	Hp			
diameter poros	:	2,7959	in	=	0,2330	ft
panjang poros	:	305,3555	in	=	25,4463	ft

6.3. Rancangan Nozzle

Perencanaan:

a. Nozzle pada tutup standart dished
  - Nozzle untuk pemasukan umpan HCHO
  - Nozzle untuk pemasukan umpan NaOH
  - Nozzle untuk pemasukan umpan CH_3CHO

b. Nozzle silinder reaktor
  - Nozzle untuk manhole
  - Nozzle untuk pemasukan air pendingin pada coil
  - Nozzle untuk keluaran air pendingin pada coil

c. Nozzle pada tutup bawah conical
  - Nozzle untuk pengeluaran produk

Bahan kostruksi untuk nozzle menggunakan High Alloy Steel

Dasar Perhitungan

a. Nozzle untuk pemasukan umpan Formaldehid (HCHO)

Rate umpan masuk = 23414,2215 kg/jam = 51618,9927 lb/jam

Densitas umpan = 0,0764 lb/ft^3

$$\text{Rate volumetrik (Q)} = \frac{\text{Rate umpan masuk}}{\text{Densitas umpan}}$$

$$= \frac{23414,2215}{0,0764}$$

= 306388,661 ft^3/jam

= 85,1080 ft^3/s

dari Peter & Timerhause didapatkan di optimum :

ID optimal = $3,9\ Q^{0,45}\ \rho^{0,13}$

= $3,9 \times 85,1080^{0,45} \times 0,076^{0,13}$.

= 20,6238 in

= 1,7186 ft

dari Geankoplis app. A-5 halaman 892 maka dipilih pipa dengan ukuran:

- Ukuran pipa = 2 in sch. 40
- OD = 2,375 in
- ID = 2,0670 in
- A = 0,02330 ft^2

b. Nozzle untuk pemasukan umpan NaOH

Rate umpan masuk = 23414,2215 kg/jam = 51618,9927 lb/jam

Densitas umpan = 91,4800 lb/ft^3

$$\text{Rate volumetrik (Q)} = \frac{\text{Rate umpan masuk}}{\text{Densitas umpan}}$$

$$= \frac{51618,9927}{91,4800}$$

= 564,2653 ft^3/jam

= 0,1567 ft^3/s

dari Peter & Timerhause didapatkan di optimum:

ID optimal = $3,9\ Q^{0,45}\ \rho^{0,13}$

= $3,9 \times 0,1567^{0,45} \times 91,4800^{0,13}$.

= 3,04697 in

= 0,2539 ft

dari Geankoplis app. A-5 halaman 892 maka dipilih pipa dengan ukuran:

- Ukuran pipa = 1/8 in sch. 40
- OD = 0,405 in
- ID = 0,2690 in
- A = 0,00040 ft^2

b. Nozzle untuk pemasukan umpan CH_3CHO

Rate umpan masuk = 23414,2215 kg/jam = 51618,9927 lb/jam

Densitas umpan = 38,6020 lb/ft^3

Rate volumetrik (Q) = $\frac{\text{Rate umpan masuk}}{\text{Densitas umpan}}$

= $\frac{51618,9927}{38,6020}$

= 1337,2095 ft^3/jam

= 0,3714 ft^3/s

dari Peter & Timerhause didapatkan di optimum:

ID optimal = $3,9\ Q^{0,45}\ \rho^{0,13}$

= $3,9 \times 0,3714^{0,45} \times 38,6020^{0,13}$.

= 4,01585 in

= 0,3347 ft

dari Geankoplis app. A-5 halaman 892 maka dipilih pipa dengan ukuran:

- Ukuran pipa = 1/4 in sch. 40
- OD = 0,540 in
- ID = 0,3640 in
- A = 0,00072 ft^2

B. Nozzle pada silinder

- Nozzle untuk manhole

Lubang manhole berdasarkan standart yang ada yaitu 20 in

(Brownell and Young item 3, 4 dan 5 halaman 351)

berdasarkan fig. 12.2 Brownell and Young halaman 221,
diperoleh dimensi pipa:

- Ukuran pipa (NPS) : 20 in
- Diameter luar (DO) : 27 1/2 in
- Ketebalan flange minimum (T) : 1 11/16 in
- Diameter lubang (R) : 23 in
- Diameter hubungan pada titik pengelasan (K) : 20 in
- Diameter huubngan pada alas (E) : 22 in
- Tebal nozzle (L) : 5 11/15 in
- Diameter dalam nozzle (B) : 19,25 in
- Jumlah lubang baut : 20 buah
- Diameter baut : 1 1/8 in

- Nozzle untuk air pendingin inlet dan air pendingin out
  - Ukuran pipa (NPS) : 2 in
  - Diameter luar (A) : 6 in

- Ketebalan flange minimum	(T)	:	3/4 in
- Diameter lubang	(R)	:	3 5/8 in
- Diameter hubungan pada titik pengelasan	(K)	:	2,38 in
- Diameter hubungan pada alas	(E)	:	3 1/16
- Tebal nozzle	(L)	:	2 1/2
- Diameter dalam nozzle	(B)	:	2,07 in
- Jumlah lubang maut		:	4 buah
- Diameter baut		:	5/8 in

C. Nozzle untuk pengeluaran produk

Rate produk keluar = 70242,6646 kg/jan = 154856,98 lb/jam

Densitas produk = 86,4700 lb/ft^3

$$\text{Rate volumetrik (Q)} = \frac{\text{Rate produk keluar}}{\text{Densitas produk}}$$

$$= \frac{154856,978}{86,4700}$$

= 1790,8752 ft^3/jam

= 0,4975 ft^3/s

dari Peter & Timerhause didapatkan di optimum:

ID optimal = $3,9\ Q^{0,45}\ \rho^{0,13}$

= $3,9 \times 0,4975^{0,45} \times 86,4700$

= 5,08628 in

= 0,4239 ft

dari Geankoplis app. A-5 halaman 892 maka dipilih pipa dengan ukuran:

- Ukuran pipa = 3/8 in sch. 40
- OD = 0,675 in
- ID = 0,4930 in
- A = 0,00133 ft^2

Dari Brownel & Young tabel 12.2 halaman 221 diperoleh dimensi flange untuk semua nozzle, dipilih flange standart type wlding neck dengan dimensi nozzle:

- Nozzle A : Nozzle untuk pemasukan umpan HCHO
- Nozzle B : Nozzle untuk pemasukan umpan NaOH
- Nozzle C : Nozzle untuk pemasukan CH_3CHO
- Nozzle D : Nozzle untuk pengeluaran produk
- Nozzle E : Nozzle untuk manhole

- Nozzle F : Nozzle untuk pemasukan air pendingin dan keluaran air pendingin
- A : Diameter luar flange, in
- T : Ketebalan minimum flange, in
- R : Diameter luar bagian yang menonjol, in
- E : Diameter hubungana atas, in
- K : Diameter hubungan pada titik pengelasan, in
- L : panjang julakan, in
- B : diameter dalam flange, in

Nozzle	NPS	A	T	R	E	K	L	B
A	2	7 1/2	15/16	5	4 1/4	3,50	2 3/4	3,55
B	1/8	4 5/8	5/8	2 1/2	2 5/16	1,66	2 1/4	1,38
C	1/4	4 5/8	5/8	2 1/2	1 5/16	1 2/3	2 1/4	2,07
D	3/8	7/12	15/16	5	1 1/4	3,50	2 3/4	1,05
E	20	27 1/2	1 11/6	23	22	20	5 11/16	19,25
F	2	6	3/4	3 5/8	3 1/16	2,38	2 1/2	2,07

6.4. Perhitungan Coil Pendingin

Dalam reaktor, reaksi yang terjadi adalah reaksi eksotermis, jadi dibutuhkan coil dengan air sebagai media pendingin untuk menjaga agar suhu tetap pada 90°C

Dasar Perancangan :

Bahan Masuk	=	3326487896 kg/jam
	=	7333575215,52 lb/jam
Kebutuhan steam dalam reaktor	=	1025390,0000 kkal/jam
	=	4069075,6448 Btu/jam
Bentuk coil	=	Spiral
Rd min	=	0,0010
Kecepatan putaran (N)	=	100
Steam masuk pada suhu	=	130 ^{o}C (266 °F)
Steam keluar pada suhu	=	130 ^{o}C (248 °F)
Panas laten steam pada 130°C	=	519,5029 kkal/kg
Bahan konstruksi	=	High Alloy Steel SA 240 Grade S Tipe 316 (Brownell & Young, tabel 13.1 hal.251)
Diameter pengaduk (Da)	=	5,2986 ft
Diameter tangki (Di)	=	190,7500 in = 15,89583 ft
Tinggi silinder (L_s) :	=	260,4021 in = 21,70018 ft
Tinggi liquid dalam silinder (L_{ls})	=	299,6442 in = 24,97035 in

A. Menghitung ΔT_{LMTD}

- t_1 = suhu badan masuk = 30 °C = 86 °F = 303,15 K
- t_2 = suhu badan keluar = 50 °C = 122 °F = 323,15 K
- T_1 = suhu steam masuk = 60 °C = 140 °F = 333,15 K
- T_2 = suhu steam keluar = 60 °C = 140 °F = 333,15 K
- Δt_1 = (140 - 122) °F = 18 °F
- Δt_2 = (140 - 86) °F = 54 °F
- $$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{(18-54)\ °F}{\ln \frac{18\ °F}{54 °F}}$$

$= 32{,}769$ °F

B. Menghitung Suhu Kalorik (Tc dan tc)

- Tc = $(T_1+T_2)/2$ = 140 °F
- tc = (ti + t2)/2 = 147 °F

C. Menentukan Dimensi Pipa Coil

Pipa coil yang digunakan adalah 3" IPS Sch 40 (*Kern*, tabel 11. Hal 844) sehingga diperoleh data-data sebagai berikut:

Do = 3,5 in
Di = 3,068 in
a' = 9,648 in²
a" = 0,917 ft²/ft

Menghitung ho dan hio

Bagian Bejana (Bahan)	
1. Menghitung Nre	1. Menghitung Nre
$\text{Nre} = \frac{Da^2 \times N \times \rho}{\mu \times 2{,}42}$	at=a'= 9,65 in²
$= \frac{28{,}0753 \times 100 \times 38{,}602}{0{,}0002 \times 2}$	$\frac{G_t\ M}{at} - \frac{154856{,}98}{9{,}648}$
= 1219920948,2103	= 16050,682 lb/jam
	μ = 0,45 Cp (pada suhu Tc)
2. JH = 2000	
dari gambar 20.2 hal 718 (*kern*)	$\text{Nre} = \frac{G_t \times di}{\mu \times 2}$
	$= \frac{16050{,}682 \times 3{,}068}{0{,}45 \times 2}$
3. Menghitung harga koefisien film	= 45219,00081
Cp = 25,71 BTU/lb.°F	2. Jc = -
k = 0,322 BTU/jam.ft².°F/ft	

$k((Cp.\mu)/k)^{1/3}$ = 0,001842462
ho/φs = 760,3333
tw = 120,286
φs = 1 (karena viscositas rendah)
ho = 760,3333 Btu/jam ft²°F

3. Karena bahan adalah air,maka:

$$v = \frac{Gt}{3600 \times \rho} = \frac{16050,682}{3600 \times 61,98} = 276,33924$$

dari kern , Fig 25, hal 835 didapatkan
hi = 15000 Btu/jam ft²°F
faktor koreksi = 0,94
hi = 1050 Btu/jam ft² °F

$$hio = hi \times \left(\frac{di}{do}\right) = 17112,125 \text{ Btu/jam ft}^2\text{°F}$$

E. Mencari tahanan panas pipa bersih

$$Uc = \frac{ho \times hio}{ho + hio} = \frac{760,3333 \times 17112,12516}{760,3333 + 17112,12516} = 727,9871 \text{ BTU/jam.ft}^2\text{°F}$$

G. Mencari dirt factor (faktor kekotoran) pipa terpakai

$$Rd = \frac{Uc - Ud}{Uc \times Ud}$$

$$0,001 = \frac{727,98707 - Ud}{727,98707 \times Ud}$$

0,72799 Ud = 727,98707 - Ud
1,72799 Ud = 727,98707
Ud = 421,2920

H. Luas Perpindahan Panas

$$A = \frac{Q}{U\text{Ľ} . \Delta T} = \frac{4069075,6448}{421,2920 \times 32,7686} = 316497,757 \text{ ft}^2$$

$$L = \frac{A}{a''} = \frac{316497,76}{0,917} = 345144,773 \text{ ft}$$

$$\text{Jumlah lilitan (nc)} = \frac{L}{\pi \times dc}$$

$d_{pengaduk} < d_{coil} < d_{bejana}$ = 5,2986 < d_{coil} < 21,7002 dipilih d_{coil} = 21 ft

maka

Jumlah lilitan (nc) = $\frac{345144,7727}{3,14 \times 21}$

= 2308293,066 buah = 24 buah

I. Menentukan Tinggi lilitan Coil

Jarak antara dua coil (hc) = 1 in

Lc = (n-1) x (do + hc+ do)

= 21 - 1) x (3,5 + 1 + 3,5)

= 160,00 In

= 1920,000 ft

karena tinggi lilitan coil < tinggi liquid dalam silinder (Lls), maka design tersebut dapat digunakan karena coil masih berada dalam liquid

6.5. Sambungan Tutup (Head) dengan Dinding Reaktor

Untuk mempermudah perbaikan dan perawatan tangki, maka tutup tangki dihubungkan dengan bagian shell secara flange dan bolting.

A. Gasket

Dari Brownell and Young fig 12.11 hal 228, didapatkan:

Bahan konstruksi	:	Asbestos
Gasket factor (m)	:	2
Min desain seating stress (y)	:	1600 psia

B. Bolting

Dari Brownell & Young, App. D-4 hal. 344, didapatkan :

Bahan konstruksi	:	High Alloy Steel SA 193 Grade B8c type 347
Tensile strength minimum	:	75000 psia
Allowable stress (f)	:	15000

C. Flange

Dari Brownell & Young, App. D-4 hal. 342, didapatkan :

Bahan komstruksi	:	HAS SA 240 Grade M type 316
Tensile strength minimum	:	75000 psia
Allowable stress (f)	:	18750
Type flange	:	Ring flange loose type

A. Menghitung Lebar Gasket

$$\frac{do}{di} = \sqrt{\frac{y - p.m}{y - p(m+1)}}$$

(Brownell and Young, pers. 12.2, hal 226)

Dimana :
do = diameter luar gasket
di = diameter dalam gasket
y = yield stress = 1600 psia
p = internal pressure = 14,6959 psia
m = gasket factor = 2

Diketahui di gasket = di shell 190,7500 in = 15,8958 ft

Maka didapatkan:

$$\frac{do}{di} = \sqrt{\frac{1600 - (14{,}7 \times 2)}{1600 - 14{,}696 \times (2 + 1)}}$$

$$\frac{do}{di} = \sqrt{1{,}0094}$$

$$\frac{do}{di} = 1{,}0047$$

do = 1,0047 × di

do = 1,0047 × 190,7500

do = 191,6487 in

= 15,9707 ft

Lebar gasket minimum (A) $= \frac{do - di}{2}$

$= \frac{191{,}6487 - 190{,}7500}{2}$

= 0,4494 in

Daimbil gasket (n) = 0,4494 in

D rata-rata gasket (G) = do + n

= 191,6487 + 0,4494

= 192,0981 in

= 16,0082 ft

B. Menghitung Jumlah dan Ukuran Baut (Bolting)

- Menghitung beban baut

Lebar setting gasket bawah

$$Bo = \frac{n}{2} = \frac{0{,}4494}{2} = 0{,}2247 \text{ in}$$

(Brownell and Young, fig. 12.12, hal 229)

Beban gasket supaya tidak bocor (Hy)

W_{m2} = Hy = π b G y *(Brownell and Young, pers. 12.88, hal 240)*

= 3,14 × 0,2247 × 192,098 × 1600

= 216838,5017 lb

Beban baut agar tidak bocor (Hp)

H_p = 2 π b G m p *(Brownell and Young, pers. 12.90, hal 240)*

= 2 × 3,14 × 0,2247 × 192,0981 × 2 × 14,7

= 7966,5923 lb

Beban karena tekanan dalam (H)

$$H = \frac{\pi}{4} G^2 p$$

(Brownell and Young, pers. 12.89, hal 240)

$$= \frac{3{,}14}{4} \times 192{,}0981^2 \times 14{,}6959$$

= 425708,0707 lb

Total berat beban pada kondisi operasi (W_{ml})

W_{ml} = H + H_p *(Brownell and Young, pers. 12.91, hal 240)*

= 425708,0707 + 7966,5923

= 433674,6631 lb

W_{ml} > W_{m2}

433674,6631 > 216838,5017

Karena W_{ml} > W_{mz}, maka yang mengkontrol adalah W_{ml}

- Menghitung luas minimum bolting area

$$A_{ml} = \frac{W_{ml}}{f_b}$$ *(Brownell and Young, pers. 12.92, hal 240)*

$$= \frac{433674,6631}{15000}$$

= 30,9768 in^2

= 0,2151 ft^2

- Menghitung bolting optimum

Dari Brownell and Young tabel 10.4 hal 188, didapatkan:

Ukuran baut = 1 1/2 in

Root area = 1,2940 in^2

Jumlah bolting optimum $= \frac{A_{ml}}{\text{root area}} = \frac{30,9768}{1,2940} = 24 \approx 24$ buah

Dari Brownell and Young tabel 10.4 hal 188, didapatkan:

Bolt spacing = 3 1/2 in

Minimum radial distance (R) = 2 1/8 in

Edge distance (E) = 1 5/8 in

di shell = 190,7500 in

g_o = 3/16

Bolting circle diameter (C)

C = di shell + 2 (1,415 g_o + R)

= 190,8 + 2 × (1,415 × 3/16 + 2 1/8)

= 195,5306 in

Diameter luar flange (OD)

OD = C + 2E

= 195,5306 + (2 × 1 5/8)

= 198,7806 in

Cek lebar gasket

A_b aktual = jumlah bolt × root area

= 23,9388 × 1,2940

= 30,9768 in^2

Lebar gasket minimum

$$L = A_b \text{ aktual} \times \frac{f}{2 \pi y G}$$

$$= 30,9768 \times \frac{15000}{2 \times 3,14 \times 1600 \times 192,0981}$$

= 0,2407 in

L	<	n
0,2407	<	0,4494

Karena L < n, maka perhitungan bolting optimum memenuhi.

- **Menghitung moment**

Untuk keadaan bolting up (tanpa tekanan uap dalam), maka:

$$W = \left(\frac{A_m + A_b}{2}\right) \times f_a$$ *(Brownell and Young, pers. 12.94, hal 242)*

$$= \left(\frac{30,9768 + 30,9768}{2}\right) \times 15000$$

= 464651,4247 lb

Jarak radial dari beban gasket yang bereaksi terhadap bolt circle

$$h_G = \frac{C - G}{2}$$ *(Brownell and Young, pers. 12.101, hal 242)*

$$= \frac{195,5306 - 192,0981}{2}$$

= 1,7163 in

Moment flange (M_a) = $W \times h_G$ *(Brownell and Young, hal 243)*

= 464651,4247 × 1,7163

= 797468,9438 lb in

Dari Brownell and Young hal 243, dalam kondisi operasi maka:

W = W_{ml} = 464651,4247 lb

Hidrastic and force pada daerah dalam flange (H_D)

H_D = $0,785 B^2 p$ *(Brownell and Young, pers. 12.96, hal 242)*

Dimana: B = do shell reaktor = 204 in

p = tekanan operasi = 14,6959 lb/in²

Maka,

H_D = 0,785 × 204 ^{2} × 14,6959
= 480093,8909 lb

Jarak radial bolt circle pada aksi (h_D)

$$h_D = \frac{C - B}{2}$$ *(Brownell and Young, pers. 12.100, hal 242)*

$$= \frac{195,5306 - 192}{2}$$

= 1,7653 in

M_D = $H_D \times h_D$ *(Brownell and Young, pers. 12.96, hal 242)*
= 480093,8909 × 1,7653
= 847515,7468 lb in

Perbedaan antara beban baut flange dengan gaya hidrostatik total (H_G)

H_G = W - H *(Brownell and Young, pers. 12.98, hal 242)*
= 464651,4247 - 425708,0707
= 38943,3540 lb

M_G = $H_G \times h_G$ *(Brownell and Young, pers. 12.98, hal 242)*
= 38943,3540 × 1,7163
= 66837,4479 lb in

H_T = H - H_D *(Brownell and Young, pers. 12.97, hal 242)*
= 425708,0707 - 480093,8909
= -54385,8202 lb

$$h_T = \frac{h_D + h_G}{2}$$ *(Brownell and Young, pers. 12.97, hal 242)*

$$= \frac{1,7653 + 1,7163}{2}$$

= 1,740793 in

M_T = $H_T \times h_T$
= -54385,8202 × 1,74079
= -94674,4560 lb in

Moment total pada keadaan operasi (M_o)

M_o = $M_D + M_T + M_G$
= 847515,7468 + -94674,456 + 66837,4479
= 819678,7386 lb in

M_a < M_o
797468,9438 < 819678,7386

Karena $M_a < M_o$, maka $M_{max} = M_o$ = 819678,7386 lb in

C. Perhitungan Tebal Flange

$$f_T = \frac{Y\ M_o}{t^2\ B}$$ *(Brownell and Young, pers. 12.85, hal 239)*

Sehingga didapatkan rumus:

$$t = \sqrt{\frac{Y \times M}{f \times B}}$$

$$k = \frac{A}{B}$$

Dimana: A = diameter luar flange

B = diameter dalam flange

f = stress yang diijinkan untuk bahan flange

Maka:

$$k = \frac{A}{B} = \frac{198{,}7806}{195{,}5306} = 1{,}0166$$

Dari Brownell and Young fig. 12.22 hal 238, didapatkan:

Y = 67

Sehingga tebal flange:

$$t = \sqrt{\frac{67 \times 819678{,}7386}{18750 \times 195{,}5306}}$$

$$= 3{,}8704 \text{ in}$$

Kesimpulan Perancangan:

A. Gasket

Dari Brownell and Young fig 12.11 hal 228, didapatkan:

Bahan konstruksi	:	Asbestos	
Gasket factor (m)	:	2	
Min desain seating stress (y)	:	1600	psia
Tebal gasket (n)	:	0,4494	in

B. Bolting

Dari Brownell & Young, App. D-4 hal. 344, didapatkan :

Bahan konstruksi	:	HAS SA 193 Grade B8c type 347	
Tensile strength minimum	:	75000	psia
Allowable stress (f)	:	15000	
Ukuran baut	:	1 1/2	in
Jumlah baut	:	24	buah

C. Flange

Dari Brownell & Young, App. D-4 hal. 342, didapatkan :

Bahan komstruksi	:	HAS SA 240 Grade M type 316	
Tensile strength minimum	:	75000	psia
Allowable stress (f)	:	18750	
Tebal flange	:	3,8704	in
Diameter dalam (Di)	:	195,5306	in

Diameter luar (Do) : 198,7806 in
Type flange : Ring flange loose type

6.6. Menghitung Sistem Penyangga Reaktor

Sistem penyangga dirancang agar mampu untuk penyangga beban reaktor dan perlengkapannya.

A. Berat shell reaktor

$$W_s = \frac{\pi}{4} (do^2 - di^2)\ H\ \rho$$ *(Hesse, pers. 4-16 hal. 92)*

Dimana:
- W_s = berat shell reaktor, lb
- do = diameter luar shell , ft
- di = diameter dalam shell, ft
- H = tinggi shell reaktor (L_s), ft
- ρ = densitas bahan konstruksi
  = 489 lb/ft^3 *(Perry ed 7 th , tabel 2-118, hal 2-119)*

Maka, berat shell reaktor:

$$W_s = \frac{3,14}{4} \times \left(16,0000^2 - 15,8958^2 \right) \times 21,7002 \times 489$$

= 1000026,383 lb
= 453511,9648 kg

B. Berat tutup atas standart dished

W_d = A t ρ
A = 6,28 L h *(Hesse, pers. 4-16, hal 92)*

Dimana:
- W_d = berat tutup atas reaktor, lb
- A = luas tutup atas standart dishead, ft^2
- t = tebal tutup atas (tha), ft
- ρ = ρ bahan konstruksi
  = 489 lb/ft^3 *(Perry ed 7 th , tabel 2-118, hal 2-119)*
- L = crown radius (r), ft
- h = tinggi tutup atas reaktor (ha), ft

Maka,
Luas tutup atas:

A = 6,28 × 14,1667 × 2,6864
= 47,7999 ft^2

Berat tutup atas:

W_d = 47,7999 × 0,0156 × 489
= 365,2214 lb
= 165,6279 kg

C. Berat tutup bawah conical

W_d = A t ρ

A = 0,785 (D + m) $\sqrt{4h^2 + (D - m)}$ + 0,78 d^2 *(Hesse, pers. 4-16, hal 92)*

Dimana:
- W_d = berat tutup bawah reaktor, lb
- A = luas tutup bawah conical, ft²
- t = tebal tutup bawah (thb), ft
- ρ = densitas dari bahan konstruksi
  = 489 lb/ft^3 *(Perry ed 7th, tabel 2-118, hal 2-119)*
- D = diameter dalam silinder , ft
- m = flat spot diameter = ½ D

Maka,
Luas tutup bawah:

$$A = 0{,}785\left(15{,}90 + 7{,}95\right) \times \sqrt{4x\ 15{,}90^{2} + 7{,}95 + 0{,}78} \times 15{,}9^{2}$$

= 39,9445 ft^2

Berat tutup bawah:

W_d = 39,9445 × 0,0156 × 489
= 305,2006 lb
= 138,4085 kg

D. Berat liquid dalam reaktor

W_l = m t *(Hesse, pers. 4-16, hal 92)*

Dimana:
- m = berat larutan dalam reaktor
- t = waktu tinggal liquid dalam reaktor

Maka,

W_l = 154856,9784 × 1,00
= 154856,978 lb
= 70227,6397 kg

E. Berat poros pengaduk dalam reaktor

W_p = V ρ

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

(Hesse, pers. 4-16, hal 92)

Dimana:
- W_p = berat poros pengaduk dalam reaktor, lb
- V = volume poros pengaduk, ft³
- ρ = densitas dari bahan konstruksi = 489 lb/ft^3
- D = diameter poros pengaduk, ft
- L = panjang poros pengaduk, ft

Maka,
Volume poros pengaduk:

$$V = \frac{3,14}{4} \times 0,2330^2 \times 25,4463$$

$= 1,0844 \ ft^3$

Berat poros pengaduk:

$W_p = 1,0844 \times 489$

$= 106,0511$ lb

$= 48,0942$ kg

F. Berat impeller dalam reaktor

$W_l = V \rho$

$V = 4 \, p \, \ell \, t$

$$p = \frac{D_p}{2}$$ *(Hesse, pers. 4-16, hal 92)*

Dimana:

W_l	=	berat impeller dalam reaktor, lb
V	=	volume dari total blades, ft³
ρ	=	densitas dari bahan konstruksi
	=	489 lb/ft³ *(Perry ed 7th, tabel 2-118, hal 2-119)*
p	=	panjang 1 kupingan blade, ft²
l	=	lebar 1 kupingan blade, ft
t	=	tebal 1 kupingan blade, ft
D_p	=	diameter pengaduk, ft

Maka,

Volume impeller pengaduk:

$$p = \frac{D_p}{2} = \frac{5,2986}{2} = 2,6493 \ ft$$

$V = 4 \times 2,6493 \times 1,0597 \times 1,3247$

$= 14,8760 \ ft^3$

Berat impeller pengaduk:

$W_l = 14,8760 \times 489$

$= 1454,8727$ lb

$= 659,7848$ kg

G. Berat Coil Pendingin

$$W_{coil} = \frac{\pi}{4}(do^2 - di^2) H \rho$$ *(Hesse, pers. 4-16, hal 92)*

Dimana:

Wcoil	=	berat coil, lb					
do	=	diameter luar coil,ft	=	3,5000	in	=	0,2917 ft
di	=	diameter dalam coil,ft	=	3,068	in	=	0,25567 ft

H = panjang coil,ft
ρ = densitas bahan konstruksi
= 489 lb/ft^3 *(Perry ed 7th , tabel 2-118, hal 2-119)*

Maka, berat jaket:

$$W_{coil} = \frac{3,14}{4}\left(0,2917^2 - 0,25567^2\right) \times 502,83 \times 489$$

= 3803,2432 lb
= 1724,7708 kg

H. Berat attachment

Berat attachment merupakan berat dari seluruh perlengkapan seperti nozzle, dan sebagainya.

Dari Brownell and Young hal 157, didapatkan berat attachment:

W_a = 18% W_s
= 18% × 453511,9648
= 40816,0768 kg

Berat Total Reaktor

Bagian	Berat (kg)
W_{shell}	1724,7708
$W_{tutup\ atas}$	165,6279
$W_{tutup\ bawah}$	138,4085
W_{liquid}	70227,6397
$W_{poros\ pengaduk}$	48,0942
$W_{pengaduk}$	659,7848
W_{jaket}	453511,9648
$W_{attachment}$	40816,0768
W_{total}	567292,3674

Dengan faktor keamanan 10%, maka berat total reaktor adalah
= 10% × 567292,3674
= 56729,2367 kg

6.7. Menghitung Kolom Penyangga Reaktor (Leg)

Perencanaan:

- Menggunakan 4 buah kolom penyangga (kaki penahan)
- Jenis kolom yang digunakan adalah I beam

A. Beban tiap kolom

$$P = \frac{4 P_w (H - L)}{n D_{be}} + \frac{\Sigma W}{n}$$

Dimana: P = beban tiap kolom, lb

P_w = total beban permukaan karena angin, lb
H = tinggi vessel dari pondasi, ft
L = jarak antara vessel dengan dasar pondasi, ft
D_{bc} = diameter anchor bolt circle, ft
n = jumlah support
ΣW = berat total, lb
P = beban kompresi total maksimum untuk tiap leg, lb

Reaktor diletakkan di dalam ruangan, sehingga tidak dipengaruhi adanya tekanan angin (beban tekanan angin tidak dikontrol).

Maka berlaku rumus :

$P_w = 0$

$$P = \frac{\Sigma W}{n} = \frac{56729,2367}{4} = 14182,3092 \text{ kg}$$

$$= 31266,3188 \text{ lb}$$

Direncanakan:

- Jarak kolom penyangga dari tanah (L) = 5 ft
- Tinggi reaktor (H) = 28,9752 ft
- Panjang penyangga = ½ (H + L)
  = ½ (28,9752 + 5)
  = 16,9876 ft = 1,4156 in

Jadi panjang penyangga (leg) = 16,9876 ft = 1,4156
= 203,8510 in

B. Trial ukuran I beam

Trial ukuran I beam 4" ukuran 4 × 2 5/8 dengan pemasangan memakai beban eksentrik (terhadap sumbu).

Dari Brownell and Young App G-3 hal 355, didapatkan:

- Normal size = 4,00 in
- Berat = 9,50 lbs
- Area of section (A_y) = 2,76 in^2
- Depth of beam (h) = 4,00 in
- a = 1,25 in
- Width of flange (b) = 2,796 in
- *I* = 6,70 in
- Axis (r) = 1,56 in^4

Analisa terhadap sumbu Y-Y

Dengan:

$$\frac{L}{r} = \frac{203,8510}{1,56} = 130,6737$$

Karena $\frac{L}{r}$ nilainya antara 0-60, maka nilai fc = 15000 psia

$$f_{eksentrik} = \frac{P \times (a + ½ b)}{I_{1-1} / ½ b}$$

$$= \frac{31266{,}3188 \times (1{,}25 + 1{,}398)}{6{,}70 / 1{,}398}$$

$$= 17275{,}3598$$

$$A = \frac{P}{f_c - f_{eksentrik}}$$

$$= \frac{203{,}8510}{15000 - 17275{,}3598}$$

$$= -0{,}0896 \text{ in}^2$$

$A < A_y$

$-0{,}0896 < 2{,}76$

Karena $A < A_y$ yang tersedia, berarti trial I beam sudah memadai.

Kesimpulan perancangan penyangga (leg):

- Ukuran I beam = 4 × 2 5/8 in
- Berat = 9,50 lb
- Jumlah penyangga = 4 buah
- Peletakan beban dengan beban eksentrik.

6.8. Base Plate

A. Luas base plate

$$A_{bp} = \frac{P}{f_c}$$

Dimana: A_{bp} = luas base plate, in²

P = beban dari tiap-tiap base plate

f_c = stress yang diterima oleh pondasi bearing capacity yang terbuat dari beton

= 600 lb/in^2 *(Hesse, tabel 7-7 hal 162)*

Sehingga:

$$A_{bp} = \frac{31266{,}3188}{600} = 52{,}1105 \text{ in}^2$$

B. Panjang dan lebar base plate

$A_{bp} = p \times \ell$

Dimana: A_{bp} = luas base plate

p = panjang base plate, in = $2m + 0{,}95h$

ℓ = lebar base plate, in = $2n + 0{,}8b$

(Hesse, hal. 163)

Diasumsikan m = n

$b = 2{,}796$ in

$h = 4{,}00$ in

Maka:

$A_{bp} = (2m + 0{,}95h) \times (2n + 0{,}8b)$

$52{,}1105 = (2\ m + 0{,}95 \times 4{,}00) \times (2\ n + 0{,}8 \times 2{,}8)$

$52{,}1105 = (2\ m + 3{,}80) \times (2\ m + 2{,}237)$

$52{,}1105 = 4\ m^2 + 4{,}4736\ m + 7{,}6\ m + 8{,}5$

$52{,}1105 = 4\ m^2 + 12{,}074\ m + 8{,}5$

$0 = 4\ m^2 + 12{,}074\ m + -43{,}6107$

$= -4\ m^2 -12{,}07\ m + 23{,}0821$

Dengan menggunakan rumus abc, didapatkan:

$$m_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \times a \times c}}{2 \times a}$$

$$= \frac{-12{,}1 \pm \sqrt{-12{,}07^2 - 4 \times -4 \times 23{,}082}}{2 \times -4}$$

$m_1 = 4{,}3454$

$m_2 = -1{,}3279$

Diambil, $m = 4{,}3454$

Sehingga:

Panjang base plate (p) $= 2m + 0{,}95h$

$= (2 \times 4{,}3454) + (0{,}95 \times 4{,}00)$

$= 12{,}4909$ in ≈ 13 in

lebar base plate (ℓ) $= 2n + 0{,}8b$

$= (2 \times 4{,}3454) + (0{,}8 \times 2{,}80)$

$= 11{,}8909$ in ≈ 12 in

Dari perhitungan didapatkan panjang base plate 13 in dan lebar base plate 12 in, maka ditetapkan ukuran base plate adalah 13 × 12 in dengan luas (A) = 156 in^2

C. Peninjauan terhadap bearing capacity (f)

$$f = \frac{P}{A}$$

Dimana:
- f = bearing capacity, lb/in²
- P = beban tiap kolom, lb
- A = luas base plate, in^2

Maka,

$$f = \frac{31266{,}3188}{156} = 200{,}4251\ lb/in^2$$

f	<	f_c
200,4251	<	600

Karena $f < f_c$, maka dimensi base plate sudah memenuhi.

D. Peninjauan terhadap harga m dan n

Panjang base plate (p) = 2m + 0,95h

13,00 = 2 m + (0,95 × 4,00)

13,00 = 5,8000 m

m = 2,2414

lebar base plate (ℓ) = 2n + 0,8b

12,00 = 2 n + (0,8 × 2,80)

12,00 = 4,2368 m

n = 2,8323

Karena n > m, maka tebal base plate dihitung berdasarkan harga n.

E. Tebal base plate

$$t = \sqrt{0{,}00015 \, . \, f \, . \, n^2}$$ *(Hesse, pers. 7-12, hal 163)*

Dimana: t = tebal base plate, in

f = actual unit pressure yang terjadi pada base plate

n = 2,8323 in

Maka, tebal base plate

$$t = \sqrt{0{,}00015 \times 152{,}7621 \times 2{,}8323^2}$$

= 0,4911 in ≈ 1/16 in ≈ 3/16

Jadi, digunakan tebal base plate 3/16 in

F. Ukuran baut

Beban tiap baut:

$$P_{baut} = \frac{P}{n_{baut}} = \frac{31266{,}3188}{4} = 7816{,}5797 \text{ lb}$$

f_{baut} = stress tiap baut max = 12000 lb/in^2

$$A_{baut} = \frac{P_{baut}}{f_{baut}} = \frac{7816{,}5797}{12000} = 0{,}6514 \text{ in}^2$$

d_{baut} = 0,9109 in = 1 in ≈ 1 in

Dari Brownell and Young tabel 10.4 hal 188, diperoleh ukuran baut 1/2 in dengan dimensi baut sebagai berikut:

- Ukuran baut (d) = 1 /2 in
- Root area (A) = 0,1260 in^2
- Bolt spacing min = 1 1/4 in

- Min radial distance = 1 3/16 in
- Edge distance = 3/8 in
- Nut dimension = 7/8 in
- Max filled radius = 1/4 in

6.9. Menghitung Lug dan Gusset

Berdasarkan Brownell and Young fig 10.6 hal 191, diperoleh:

A. Lebar lug

Lebar lug (A) = ukuran baut + 9 in *(Brownell and Young, hal 193)*

= 1 /2 + 9

= 9,50 in

Jarak antar gusset (B) = ukuran baut + 8 in *(Brownell and Young, hal 193)*

= 1 /2 + 8

= 8,50 in

B. Lebar gusset

Lebar gusset (L) = 2 (lebar kolom - 0,5 ukuran baut)

= 2 × (12 - 0,5)

= 11,000 in

(Brownell and Young, hal 193)

Lebar lug atas (a) = 0,5 (panjang kolom + ukuran baut)

= 0,5 × (13 + 1/2)

= 6,75 in

(Brownell and Young, hal 193)

Perbandingan tebal base plate $= \frac{B}{L} = \frac{8,50}{11,00} =$ 0,7727 in

Berdasarkan Brownell and Young tabel 10.6 hal 192, didapatkan:

γ_1 = 0,4217

e = 0,5 × nut dimension

= 0,5 × 7/8

= 0,4375 in

C. Tebal plate horizontal (lug)

Menemukan maksimum bending moment sepanjang sumbu radial

$$My = \frac{P}{4\pi}\left[(1+\mu)\times \ln\frac{2L}{\pi.e} + (1-\gamma_1)\right]$$

(Brownell and Young, pers 10.40, hal 192)

Dimana: P = beban tiap baut

μ = posson's ratio

= 0,3 untuk steel

L = panjang horisontal plate bawah

e = nut dimension

γ_1 = 0,4217

Maka,

$$My = \frac{31266,3188}{4 \times 3,14}\left[(1+0,3)\times\ln\frac{2\times 7,50}{3,14\times 0,4375}+(1-0,4217)\right]$$

= 10415,0888 lb

$$thp = \frac{6 \times My}{f_{allow}}$$ *(Brownell and Young, pers 10.41, hal 193)*

$$= \frac{6 \times 10415,0888}{15000}$$

= 2,0411 in

Maka digunakan plate dengan tebal = 2,0411 in

D. Tebal plate vertikal (gusset)

$$\text{Gusset min} = \frac{3}{8}\,thp$$ *(Brownell and Young, pers 10.47, hal 194)*

$$= \frac{3}{8} \times 2,0411$$

= 0,7654 in

E. Tinggi gusset

hg = A + ukuran baut

= 9,50 + 1/2

= 10,00 in

F. Tinggi lug

Tinggi lug = hg + 2 thp

= 10,00 + (2 × 2,0411)

= 14,0822 in

Dari perhitungan di atas, maka diperoleh dimensi lug dan gusset sebagai berikut:

- Lug
  - Lebar = 9,50 in
  - Tebal = 2,0411 in
  - Tinggi = 14,0822 in
- Gusset
  - Lebar = 11,00 in
  - Tebal = 0,7654 in
  - Tinggi = 10,0000 in

6.10. Perhitungan Pondasi

Perencanaan:

Beban total yang harus ditahan pondasi:

- Berat reaktor total
- Berat kolon penyangga
- Berat base plate

Ditentukan:

- Masing-masing penyangga diberi pondasi
- Spesifik untuk semua penyangga sama

A. Berat total reaktor

W = 56729,2367 kg
= 125065,2753 lb

B. Beban yang harus ditanggung tiap kolom

W_{bp} = p ℓ t ρ

Dimana: p = panjang base plate, ft
ℓ = lebar base plate, ft
t = tebal base plate, ft
ρ = densitas dari bahan konstruksi
= 489 lb/ft^3 *(Perry ed 7 th , tabel 2-118, hal 2-119)*

Maka, beban yang ditanggung tiap kolom:

W_{bp} = 1,0833 × 1,0000 × 0,0625 × 489
= 33,1094 lb

C. Beban tiap penyangga

W_p = L A F ρ

Dimana: L = tinggi kolom, ft
A = luas kolom I beam, ft^2
F = faktor koreksi = 3,4
ρ = densitas dari bahan konstruksi
= 489 lb/ft^3 *(Perry ed 7 th , tabel 2-118, hal 2-119)*

Maka, beban tiap penyangga:

W_p = 16,9876 × 0,0192 × 3,4 × 489
= 541,3349 lb

D. Beban total

W_{total} = W + W_{bp} + W_p
= 125065,2753 + 33,1094 + 541,3349
= 125639,7196 lb

Dianggap hanya ada gaya vertikal dan berat kolom itu sendiri bekerja pada pondasi, maka diambil:

Luas atas = 35 x 35 in^2
Luas bawah = 50 × 50 in^2

Tinggi = 20 in

Luas permukaan tanah rata-rata:

$A = 42{,}5 \times 42{,}5 = 1806{,}25 \text{ in}^2$

Volume pondasi:

$V = A \times t$

$= 1806{,}25 \times 20$

$= 36125{,}00 \text{ in}^3$

$= 20{,}9057 \text{ ft}^3$

Berat pondasi:

$W = V \times \rho$

Dimana: ρ = densitas semen

= 144 lb/ft^3 *(Perry ed 7th , tabel 2-118, hal 2-119)*

Maka, berat pondasi:

$W = 20{,}9057 \times 144$

$= 3010{,}4167 \text{ lb}$

$= 1365{,}5160 \text{ kg}$

Tekanan tanah:

Pondasi didirikan di atas semen,tanah dan kerikil dengan:

Save bearing minimum = 5 ton/ft²

Save bearing maximum = 10 ton/ft² *(Hesse, tabel 12.2, hal 237)*

Kemampuan tekanan tanah sebesar:

$$P = 5 \times \frac{2240 \text{ lb x 1 ft}}{1 \text{ ton x } 144 \text{ in}^2}$$

$= 77{,}7778 \text{ lb/in}^2$

Tekanan pada tanah:

$$P = \frac{W}{A}$$

Dimana: W = berat beban total + berat pondasi

A = luas bawah pondasi 40 x 40 in² = 1806,25 in^2

Maka, tekanan pada tanah:

$$P = \frac{125639{,}720 + 3010{,}4167}{1806{,}25} = 71{,}225 \text{ lb/in}^2$$

Tekanan pada tanah < Kemampuan tekanan tanah

71,2250 < 77,7778

Karena tekanan yang diberikan tanah lebih kecil dari pada kemampuan tanah menahan pondasi, maka pondasi dengan ukuran (35 × 35) in^2 untuk luas atas dan (50 × 50) in^2 untuk luas bawah dengan tinggi pondasi 10 in dapat digunakan.

Dimensi Peralatan:

1. **Dimensi tangki:**

- Bahan konstruksi	=	Stainless steel SA Grade M Tipe 316	
- Do (diameter luar)	=	192	in
- Di (diameter dalam)	=	190,7500	in
- ts (tebal silinder)	=	0,6250	in
- Ls (tinggi silinder)	=	260,4021	in
- tha (tebal tutup atas)	=	3/16	in
- ha (tinggi tutup atas)	=	32,2368	in
- thb (tebal tutup bawah)	=	3/16	in
- hb (tinggi tutup bawah)	=	55,0632	in
- Tinggi reaktor	=	347,7021	in
- Jumlah	=	1	buah

2. **Dimensi pengaduk :**

- Jenis pengaduk	=	Axial turbin 4 blades sudut 60°	
- Bahan impeller	=	HAS SA 240 Grade M type 316	
- Diameter impeller (Di)	=	63,5833	in
- Tinggi impeller (Zi)	=	3,1792	in
- Panjang impeller (L)	=	15,8958	in
- Lebar impeller (W)	=	12,7167	in
- Daya pengaduk	=	49	Hp
- Diameter poros	=	2,7959	in
- Panjang poros	=	305,3555	in
- Jumlah	=	1	buah

3. **Nozzle**

- Diameter nozzle HCHO	=	2,3750	in
- Diameter nozzle NaOH	=	0,4050	in
- Diameter nozzle CH3CHO	=	0,5400	in
- Diameter nozzle air pendingin inlet dan outlet	=	6	in
- Diameter nozzle produk	=	0,6750	in

4. **Nozzle untuk Man Hole**

- Ukuran nominal pipa (NPS)	=	20	in
- Diameter luar flange (A)	=	27 1/2	in
- Ketebalan flange minimum (T)	=	1 11/16	in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R)	=	23	in
- Diameter hubungan atas (E)	=	22	in
- Diameter hubungan pada titik pengelasan (K)	=	20	in
- Panjang julakan (L)	=	5 12/16	in
- Diameter dalam flange (B)	=	19,25	in

5. Coil Pendingin

Bahan konstruksi	=	HAS SA 240 Grade M type 316	
Diameter luar (do)	=	3,5	in
Diameter dalam (di)	=	3,0680	in
Diameter Coil (dc)	=	21	in
Jumlah lilitan Coil (nc)	=	24 buah	
Tinggi lilitan coil (Lc)	=	160	in

6. Flange

- Bahan konstruksi	=	HAS SA 240 Grade M type 316	
- Tensile strength minimum	=	75000	psia
- Allowable stress (f)	=	18750	in
- Tebal flange	=	3,8704	in
- Diameter dalam (Di) flange	=	195,5306	in
- Diameter luar (Do) flange	=	198,7806	in
- Type flange	=	Ring flange loose type	

7. Bolting

- Bahan konstruksi	=	HAS SA 193 Grade B8c type 347	
- Tensile strength minimum	=	75000	psia
- Ukuran baut	=	1 1/2	in
- Jumlah baut	=	24	buah
- Allowable stress (f)	=	15000	

8. Gasket

- Bahan gasket	=	Asbestos	
- Lebar (L)	=	0,2407	in
- Tebal gasket (n)	=	0,4494	in
- Gasket faktor (m)	=	2	
- Diameter rata-rata (G)	=	192,0981	in

9. Sistem Penyangga

- Jenis	=	Kolom I beam	
- Jumlah	=	4	buah
- Panjang (L)	=	203,8510	in
- Ukuran I beam	=	4 × 2 5/8	
- Area of section (A_y)	=	2,76	in^2
- Depth of beam (h)	=	4	in
- Width of flange (b)	=	2,80	in
- Axis (r)	=	1,56	in

10. Base Plate

- Panjang (p)	=	13	in
- Lebar (l)	=	12	in

- Tebal (t)	=	1/16 in	
- Ukuran baut	=	1	in
- Jumlah baut	=	4	buah

11. Lug

- Lebar	=	10	in
- Tebal	=	2,0411	in
- Tinggi	=	14,0822	in

12. Gusset

- Lebar gusset	=	11	in
- Tebal gusset	=	0,7654	in
- Tinggi gusset	=	10,0000	in