

LAMPIRAN F

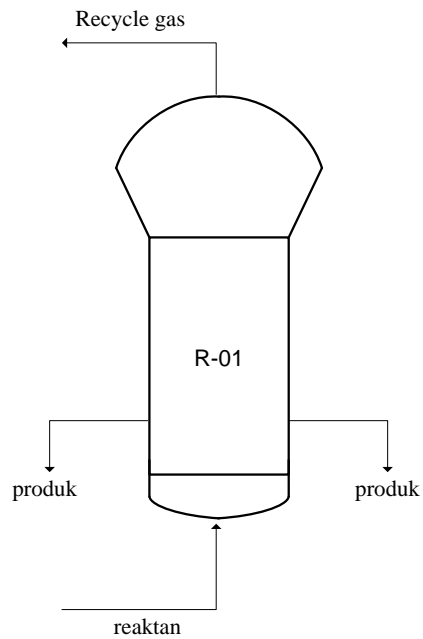
PERANCANGAN FLUIDIZED BED REAKTOR (RE-01)

Fungsi : mereaksikan ethylene , i-butene dan hidrogen

Tekanan operasi :

Konversi : 98%

Syarat terjadinya fluidisasi adalah ketika kecepatan gas masuk (u_o) lebih besar dari kecepatan minimum fluidisasinya (u_{mf}) (Levenspiel, 1991).



Kondisi operasi :

$P = 20 \text{ atm}$

$T = 363 \text{ K}$

Langkah perancangan :

1. Menentukan tipe reaktor

Dipilih reaktor tipe fluidized bed dengan pertimbangan :

- a. Zat pereaksi berupa gas dan katalis
- b. Penanganan dan transportasi produk (padatan) lebih mudah
- c. Distribusi suhu merata
- d. Produk (padatan) memiliki ukuran medium

(Ulman's Encyclopedia, hal 242)

2. Menentukan konstruksi reaktor

Dipilih bahan konstruksi plate steel SA 357 dengan pertimbangan :

- a. Bahan tahan panas (s/d 110°C)
- b. Mempunyai tekanan maksimum yang besar (s.d 32.500 psi)

(Brownell, hal 342)

3. Menghitung dimensi reaktor

- Menghitung density gas (ρ_g)

$$P_g = \frac{M.P}{R.T}$$

(Perry, hal. 3-267)

Dengan : M = BM rata-rata umpan

P = 20 atm

R = 82,05 atm cm² / mol K

Komponen	X _i	BM	BM.X _i
C ₂ H ₄	0.99	28.02	277.398
C ₄ H ₈	1.79E-06	56.04	0.0001
TEAL	2.62E-05	114.169	0.00299
H ₂	6.40E-08	2	1.3E-07
Jumlah			27.7429

$$\rho_g = \frac{27,7429 \times 20}{82,05 \times 363} = 0,0186 \text{ gr/cm}^3 = 18,6 \text{ kg/m}^3$$

- Menghitung viskositas gas (μ_g)

Dari Bird Appendix E didapat data-data :

Komponen	T _c (K)	P _c (atm)	μ_g (gr/cm dt)
C ₂ H ₄	282.4	49.7	2.15E-04
C ₄ H ₈	419.6	39.7	3.36E-04
H ₂	33.3	12.8	3.47E-05
Jumlah			0.0005857

Sehingga untuk umpan campuran diperoleh :

$$T_c = (0,99 \times 282,4) + (1,79 \times 10^{-6} \times 419,6) + (6,4 \times 10^{-8} \times 33,3) = 279,577 \text{ K}$$

$$P_c = (0,99 \times 49,7) + (1,79 \times 10^{-6} \times 39,7) + (6,4 \times 10^{-8} \times 12,8) = 49,2 \text{ atm}$$

$$\begin{aligned} \mu_g &= (0,99 \times 2,15 \times 10^{-4}) + (1,79 \times 10^{-6} \times 3,36 \times 10^{-4}) + (6,4 \times 10^{-8} \times 3,47 \times 10^{-5}) \\ &= 2,13 \times 10^{-4} \text{ gr/cm dt} \end{aligned}$$

$$T_r = T/T_c = 363 / 279,577 = 1,298$$

$$P_r = P/P_c = 20 / 49,2 = 0,406$$

Dari Bird fig. 1.3.1. untuk harga T_r dan P_r di atas didapat harga $\mu_r = 0,6$ dimana

$$\mu_r = \mu_g / \mu_c$$

$$\mu_g = \mu_r \times \mu_c = (0,6) \cdot (2,13 \cdot 10^{-4} \text{ gr/cm dt})$$

$$= 1,28 \cdot 10^{-4} \text{ gr/cm dt}$$

$$= 1,28 \cdot 10^{-4} \text{ poise}$$

- **Menghitung kecepatan volumetrik gas umpan (Q)**

Massa gas umpan (M) = 1.262.571,786 kg/jam (dari Neraca Massa)

$$Q = M / \rho = 1262571,8 / 18,6$$

$$= 67880,2 \text{ m}^3/\text{jam} = 18.855,6 \text{ cm}^3/\text{dt}$$

- **Menghitung kecepatan fluidisasi minimum (U_{mf})**

$$\frac{dp \cdot U_{mf} \cdot \rho_g}{\mu} = \left[(33,7)^2 + \frac{(0,0408) \cdot (dp)^3 \rho_g \cdot (\rho_s - \rho_g) \cdot g}{\mu^2} \right]^{1/2} - 33,7$$

D_p = diameter partikel = 1600 μm = 0,16 cm

P = density partikel = 0,92 gr/cm³

$$\frac{0,16 \cdot U_{mf} \cdot 0,0186}{1,28 \cdot 10^{-4}} = \left[(33,7)^2 + \frac{(0,0408) \cdot (0,16)^3 \cdot 0,0186 \cdot (0,92 - 0,0186) \cdot 980,66}{(1,28 \cdot 10^{-4})^2} \right]^{1/2} - 33,7$$

$$U_{mf} = 16,22 \text{ cm/dt}$$

- **Menghitung terminal velocity (V_t)**

$$V_t = \left[\frac{3,1 \cdot (\rho_s - \rho_g) \cdot dp \cdot g}{\rho_g} \right]^{0,5}$$

$$= \left[\frac{3,1 \cdot (0,92 - 0,0186) \cdot 0,16 \cdot 980,66}{0,0186} \right]^{0,5}$$

$$= 153,53 \text{ cm/dt}$$

- **Menghitung diameter zona reaksi (D_t)**

$$U_{mf} = 16,22 \text{ cm/dt}$$

$$V_t = 153,53 \text{ cm/dt}$$

$$V_t/U_{mf} = 9,46 \text{ diambil } V_o = 9 \cdot U_{mf}$$

$$V_o = 9 \cdot 16,22 \text{ cm/dt} = 145,98 \text{ cm/dt}$$

$$A = \frac{Q}{V_o} = \frac{18855612}{145,98} = 129.165,7 \text{ cm}^2$$

$$D_t = \left[\frac{4 \cdot A}{\pi} \right]^{0,5} = \left[\frac{4 \cdot 129.165,7}{3,14} \right]^{0,5} = 405,5 \text{ cm} = 4,05 \text{ m}$$

- **Menghitung Transport Disengaging Height (TDH)**

$$V_o = 145,98 \text{ cm/dt}$$

$$D_t = 4,05 \text{ m}$$

Dari Kunii fig 3-16 didapat : $TDH/D_t = 5$

$$TDH = 5 \times D_t = 5 \times 4,05 = 20,25 \text{ m}$$

- **Menghitung Head Bawah (L_h)**

Dipilih *head elliptical dished*, sehingga :

$$L_h = 0,25 \times Dt = 0,25 \times 4,05 = 1,01 \text{ m}$$

- **Menghitung tinggi pada fluidisasi minimum (L_{mf})**

$$FC_{AIZ} = FC_{AIZ+\Delta Z} + (-r_A) dV$$

$$FC_{AIZ} = FC_{AIZ+\Delta Z} + (-r_A) A dz$$

$$-(FC_{AIZ+\Delta Z} - FC_{AIZ}) = (-r_A) dV$$

$$-\frac{d(FC_A)}{dz} = (-r_A) \cdot A$$

$$-F \frac{d(C_{A0}(1-x_A))}{dz} = (-r_A) \cdot A$$

$$FC_{A0} = \frac{dx_A}{dz} = (-r_A) \cdot A$$

$$dz = \frac{F \cdot C_{A0}}{(-r_A) \cdot A} dx_A \quad \text{dengan } -r_A = k_p \cdot (C^*) \cdot C_A :$$

$(-r_A)$ = kecepatan polimerisasi

k_p = kecepatan propagasi

C^* = konsentrasi situs aktif katalis

C = konsentrasi etilen

Dari literatur didapat :

$$k_p = 800 \text{ l/mol dt}$$

$$C^* = 42 \text{ mol}$$

Maka persamaan dz menjadi :

$$dz = \frac{F \cdot C_{A0}}{k_p \cdot C^* \cdot C_A \cdot A} dx_A$$

$$dz = \frac{F \cdot C_{A0}}{k_p \cdot C^* \cdot C_{A0} \cdot (1 - X_A) \cdot A} dx_A$$

$$dz = \frac{F}{k_p \cdot C^* \cdot (1 - X_A) \cdot A} dx_A$$

Disini C^* dalam satuan mol sehingga dz akan mempunyai dimensi L^{-2} , supaya dz mempunyai dimensi L, maka C^* dibuat dalam satuan mol/volume reaktor. Sehingga persamaan akan menjadi :

$$dz = \frac{F \cdot V}{k_p \cdot C^* \cdot (1 - X_A) \cdot A} dx_A$$

$$dz = \frac{F \cdot A \cdot z}{k_p \cdot C^* \cdot (1 - X_A) \cdot A} dx_A$$

$$\frac{1}{z} dz = \frac{F}{k_p \cdot C^* \cdot (1 - X_A)} dx_A$$

F = kecepatan volumetric gas = 18.855,6 l/dt

$X_A = 0 - 0,02$ (konversi per pass)

Penyelesaian persamaan diferensial di atas dengan cara diintegalkan :

$$\int_l^z \frac{1}{z} dz = \int_0^{0,02} \frac{F}{k_p \cdot C^* \cdot (1 - X_A)} dx_A$$

$$L_n z = 0,56$$

$$z = 4,11 \text{ m}$$

$$L_{mf} = 4,11 \text{ m}$$

- **Menentukan Volume Reaktor**

V = luas alas x tinggi

Diketahui : d (diameter) = 4,05 m

$$L = L_{mf} = 4,11 \text{ m}$$

$$V = \frac{1}{4} \pi d^2 L$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (4,05 \text{ m})^2 \times 4,11 \text{ m}$$

$$= 52,92 \text{ m}^3$$

Volume Reaktor dilebihkan 20 %

$$V = 52,92 \times 1,2$$

$$= 63,50 \text{ m}^3$$

- **Menentukan tinggi reaktor pada zona reaksi (L_r)**

$$L_r = TDH + L_h + L_{mf}$$

$$= 20,25 + 1,0125 + 4,11$$

$$= 25,37 \text{ m}$$

Diambil faktor keamanan 10%

$$L_r = 1,1 \times 25,37 \text{ m} = 27,9 \text{ m}$$

- **Menentukan tinggi freeboard (L_f)**

Dari “Encyclopedia Chemical Engineering”, John Mc Ketta vol. 14 untuk perancangan yang memadai dipakai tinggi freeboard 6 - 10 m di atas permukaan bed (L_{mf}).

Direncanakan tinggi freeboard (L_f) = 8 m

- **Menentukan tinggi ekpanded section (L_e)**

$$L_e = TDH - L_f = 20,25 - 8 = 12,25 \text{ m}$$

- **Menghitung diameter Expanded Section (D_e)**

Pada Expanded Section supaya tidak terjadi entrainment atau partikel yang terikut aliran fluida maka kecepatan massa diatur agar sama dengan kecepatan pada saat fluidisasi minimum.

$$Q = 18855612 \text{ cm}^3/\text{dt}$$

$$U_{mf} = 16,22 \text{ cm}/\text{dt}$$

$$A_e = \frac{Q}{U_{mf}} = \frac{18855612}{16,22} = 1162491,5 \text{ cm}^2$$

$$D_e = \left[\frac{4 \cdot A_f}{\pi} \right]^{0,5} = \left[\frac{4 \cdot 1162491,5}{3,14} \right]^{0,5} = 716,9 \text{ cm} = 7,2 \text{ m}$$

4. Menghitung tebal dinding reaktor

Dari Brownell hal.342 dipilih bahan dengan spesifikasi :

Plate steel = SA-357

T design = 373

P design = 20 atm=294 psi

P maksimum diijinkan (f) = 32.500 psi

Efisiensi pengelasan (E) = 80%

Faktor korosi (c) = 0,125

ID shell = 4,05 m = 159,45 in

Persamaan yang digunakan :

$$T_s = \frac{T \cdot ID}{(f \cdot E) - (0,6 \cdot P)} + c$$

$$= \frac{294 \cdot 159,5}{(32.500 \times 0,8) - (0,6 \times 294)} + 0,125$$

$$= 1,94 \text{ in}$$

Sehingga direncanakan tebal shell yang digunakan yaitu tebal shell standar 2 in.

5. Menghitung pressure drop

Persamaan yang digunakan :

$$\frac{\Delta P}{Lmf} = (1 - \varepsilon) \cdot (\rho_s - \rho_g) \frac{g}{gc}$$

Dalam hubungan ini :

ΔP = pressure drop

ρ_s = density partikel = 0,92 gr/cm³

ρ_g = density gas = 0,0186 gr/cm³

$$\varepsilon = \text{porositi} = 0,4$$

$$\Delta P = (1-0,4) \cdot (0,92-0,0186) \cdot 1.411 = 221,9 \text{ gr/cm}^2$$

6. Menghitung dimensi gas plate distributor

a. Menghitung ΔP melalui distributor

$$\Delta P_d = 10\% \text{ dari } \Delta P \text{ reactor}$$

$$= 0,1 \times 221,9 \text{ gr/cm}^2$$

$$= 22,2 \text{ gr/cm}^2$$

b. Menghitung koefisien orifice (C_d)

$$N_{RE} = \frac{Dt \cdot \rho_g V_o}{\mu} = \frac{405,53 \times 0,0186 \times 145,98}{1,28 \times 10^{-4}} = 8.602.393,8$$

Dari Kunii fig 3.12 untuk $N_{RE} > 10.000$, koefisien orifice (C_d) = 0,6

c. Menghitung kecepatan gas melalui orifice (U_{or})

Dari Kunii pers. 3-35 hal 88

$$U_{or} = C_d \left[\frac{2 \cdot g_c \cdot \Delta P_d}{\rho_g} \right]^{0,5} = 0,6 \left[\frac{2 \cdot 980,665 \cdot 22,194}{0,0186} \right]^{0,5} = 917,88 \text{ cm/dt}$$

d. Menghitung jumlah lubang (N_{or})

$$N_{or} = \frac{4 \cdot V_o}{U_{or} \cdot \pi \cdot D_{or}^2}$$

D_{or} (Diameter orifice) yang biasa digunakan yaitu antara 0,6 mm – 2,5 mm. Diambil

harga rata-rata, sehingga diameter orifice yang digunakan 1,5 mm

$$N_{or} = \frac{4 \cdot 145,98}{917,88 \cdot \pi \cdot 1,5^2} = 0,091 / \text{mm}^2 = 9,1 / \text{cm}^2$$

Dari perhitungan di atas direncanakan jumlah lubang = 10 lubang /cm²

7. Menentukan waktu tinggal gas pereaktan pada reaktor

Rumus yang digunakan :

$$\tau = \frac{W}{F_o}$$

dengan :

τ = waktu tinggal

F_o = laju alir umpan masuk = 1.262.571,786 kg/jam (dari neraca massa)

W = berat bed (kg)

= (luas penampang x tinggi) zona reaksi x ρ polietilen

= ($\pi \times (2,03 \text{ m})^2 \times 4,11 \text{ m}) \times 924 \text{ kg/m}^3$

= 48923 kg

$$\tau = \frac{W}{F_o} = \frac{48923}{1.262.571,79} = 0,038 \text{ jam} = 2,32 \text{ menit}$$

Menentukan diameter dan tinggi reaktor

a. Diameter dalam *shell* (D_i)

- **Pemilihan *head***

Untuk menentukan bentuk-bentuk *head* ada 3 pilihan :

- ***Flanged and Standar Dished Head***

Digunakan untuk vesel proses vertikal bertekanan rendah, terutama digunakan untuk tangki penyimpan horizontal, serta untuk menyimpan fluida yang volatil.

- ***Torispherical Flanged and Dished Head***

Digunakan untuk tangki dengan tekanan dalam rentang 15 psig (1,020689 atm) – 200 psig (13,60919 atm).

- ***Elliptical Flanged and Dished Head***

Digunakan untuk tangki dengan tekanan tinggi dalam rentang 100 psig dan tekanan diatas 200 psig (Brownell and Young, 1959).

Oleh karena tekanan operasi reaktor yaitu 20 atm, maka digunakan *Elliptical Flanged and Dished Head* .

b. Diameter Dalam Shell (D_i)

$$V_{L, \text{total}} = \frac{\pi D_i^2 H_L}{4} + \frac{\pi D_i^2 sf}{4} + 0,000076 D_i^3$$

Keterangan :

D_i = Diameter dalam *shell*,ft

H_L = Tinggi cairan, ft

Diambil perbandingan tinggi cairan terhadap diameter dalam *shell* standar dan tinggi sf adalah :

$$H_L = D_i \quad (\text{Geankoplis, 1993})$$

$$sf = 2 \text{ in} = 0,167 \text{ ft}$$

$$V_{\text{total}} = \frac{\pi D_i^3}{4} + \frac{\pi D_i^2 sf}{4} + 0,000076 D_i^3$$

$$\text{Diperoleh } D_i = 4,994 \text{ ft} = 59,934 \text{ in}$$

Maka tinggi cairan adalah :

$$H_L = D_i = 4,994 \text{ ft} = 59,934 \text{ in} = 1,522 \text{ m}$$

Diameter dalam *shell* standar adalah :

$$D_i = 60 \text{ in} = 5 \text{ ft} = 1,524 \text{ m} \quad (\text{Brownell \& Young, 1959:45})$$

c. Bahan Konstruksi

Material = *Stainless Steel SA 167 Grade 11 type 316* (Brownell:251)

Alasan = Sesuai digunakan untuk gas yang bersifat korosif.

f = 15.289 psi

C = 0,125 in

E = 0,85

d. Menghitung Tebal Shell

$$t_s = \frac{P r_i}{f E - 0,6 P} + c \quad (\text{Brownell \& Young, 1959:45})$$

Keterangan :

t_s = Tebal *shell* (in)

P = Tekanan operasi (psi)

f = *Allowable stress* (psi)

r_i = Jari-jari *shell* (in)

E = Efisiensi pengelasan

C = Faktor korosi (in)

$$t_s = \frac{50,876 \times (30)}{(18.750 \times 0,85) - (0,6 \times 50,876)} + 0,25$$

$$= 0,346 \text{ in (digunakan tebal standar } 0,375 \text{ in} = 0,031 \text{ ft)}$$

e. Diameter Luar Shell (OD_s)

$$OD_s = ID + 2 \cdot t_s$$

$$OD_s = ID + 2 \cdot t_s$$

$$= 60 \text{ in} + 2 (3/8 \text{ in})$$

$$= 60,750 \text{ in} \qquad = 5,063 \text{ ft} \qquad = 1,543 \text{ m}$$

8. Menghitung Tinggi Tutup Reaktor (OA)

$$OA = t_h + b + sf$$

Keterangan :

b = *Depth of dish (inside)*, in

t_h = *tebal torispherical head*, in

sf = *straight flange*, in

a. Menghitung tebal head

$$t = \frac{P \cdot D \cdot V}{2 \cdot f \cdot E - 0,2 \cdot P} + C \quad (\text{Brownell \& Young, pers. 7.77, 1959})$$

$$V = \frac{1}{6} (2 + k^2) \quad (\text{Brownell \& Young, pers. 7. 76, 1959})$$

Keterangan :

V = *stress-intensification factor*

$$k = \frac{a}{b}, \text{ mayor-to-minor-axis ratio}$$

$$a = \frac{D_i}{2} = \frac{39,37}{2} = 19,6850 \text{ in}$$

$$b = \frac{D_i}{4} = \frac{39,37}{4} = 9,8425 \text{ in}$$

$$k = \frac{19,6850}{9,8425} = 2$$

$$V = \frac{1}{6}(2 + 2^2) = 1$$

$$t = \frac{63,8261 \times 40,37 \times 1}{2 \times 15,289 \times 0,85 - 0,2 \times 63,8261} + 0,125$$

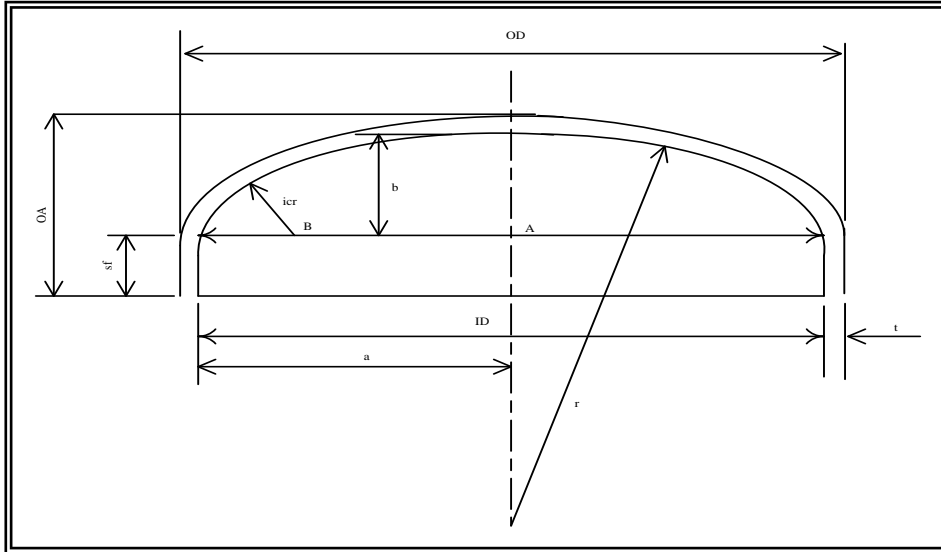
$$= 0,3132 \text{ in}$$

Digunakan tebal plat standar = 0,5 in

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

Untuk OD = 95,1981cin, maka icr = 4,375 r = 96

$$b = 96 - \sqrt{(96 - 4,375) - \left(\frac{39,37}{2} - 4,375\right)} = 3,8857$$



Gambar F.1. Hubungan dimensi untuk (elliptical) *flanged and dish Heads*

Tinggi Tutup (OA)

$$\begin{aligned}
 OA &= t_h + b + sf \\
 &= 0,5 \text{ in} + 3,8857 \text{ in} + 3,5 \text{ in} \\
 &= 7,0857 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Tinggi total reactor = tinggi *shell* (H_s) + [2 x (tinggi tutup atau OA)]

$$\begin{aligned}
 &= 750,5418 \text{ in} + (2 \times 7,0857) \\
 &= 764,7132 \text{ in} = 19,4238 \text{ m} = 63,7255 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Merancang Pendingin Reaktor

Karena reaksi yang terjadi didalam reaktor bersifat eksotermis, maka panas yang dilepaskan dari reaksi harus ditransfer (diserap) dari reaktor untuk mencegah kenaikan temperature. Koil atau jaket pendingin digunakan untuk menjaga temperature reaktor tetap stabil.

a. Menghitung luas perpindahan panas

Luas perpindahan panas yang tersedia

$$\begin{aligned} A &= \text{Luas selimut reaktor} + \text{Luas penampang bawah reaktor} \\ &= OD \times H_L + (\pi/4 \times OD^2) \end{aligned}$$

Diketahui :

$$\begin{aligned} OD &= 146,52 \text{ in} \\ &= 12,2102 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_L &= 764,71 \text{ in} \\ &= 63,72 \text{ ft} \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} A &= (12,2102 \times 63,72 + (\pi/4 \times (12,2102)^2)) \\ &= 237,977 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Luas perpindahan panas yang dibutuhkan

Dari Al-Zahrani diketahui range $U_D = 250 - 500 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Dipilih $U_D = 500 \text{ W/m}^2 \text{ K} = 88,0545 \text{ Btu/h ft}^2 \text{ F}$

Dari perhitungan neraca energi reaktor diketahui bahwa Q yang harus diserap adalah 1.053.902,0913 kJ/Jam (990.902,4505 Btu/jam). Sebagai media pendingin digunakan dowtherm A.

$$t_{\text{masuk}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 59 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$T_{\text{keluar}} = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 392 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

Kebutuhan pendingin :

$$m = 4181,4891 \text{ kg/jam} = 9922,4461 \text{ lb/jam}$$

Diasumsikan bahwa temperatur dinding shell reaktor sama dengan temperatur liquid dalam reaktor yaitu $240 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($482 \text{ }^{\circ}\text{F}$).

Maka:

$$\Delta T_{\text{lmtd}} = \frac{(T_{\text{reaktor-t in}}) - (T_{\text{reaktor-t out}})}{\ln \frac{(T_{\text{reaktor-t in}})}{(T_{\text{reaktor-t out}})}}$$

$$= \frac{(482-59) - (482-392)}{\ln \frac{(482-59)}{(482-392)}}$$

$$= 206,5358 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$A = \frac{Q}{(Ud \times \Delta T_{\text{lmtd}})} = \frac{998.902,4504}{(88,0545 \times 206,5328)} = 54,9266 \text{ ft}^2$$

$$A_{\text{kebutuhan}} < A_{\text{tersedia}} (54,9266 \text{ ft}_2 < 237,9777 \text{ ft}_2)$$

Sehingga jaket pendingin bisa digunakan.

b. Menghitung Tebal Jaket

untuk menghitung tebal jaket dilakukan dengan cara trial dan error diameter baru

$$(D_{\text{vessel+jaket}}).$$

$$V_{\text{pendingin}} = V_{\text{reaktor+jaket}} - V_{\text{reaktor}}$$

$$V_{\text{pendingin}} = \text{massa pendingin} / \text{densitas pendingin}$$

Diketahui :

Jenis pendingin : dowtherm A

Densitas pendingin : 64,8575 lb/ft³

$$V_{\text{pendingin}} = \frac{4181,1891}{64,8575} = 114,1461 \text{ lb/ft}^3$$

$$V_{\text{reaktor+jaket}} = \frac{1/4 \pi D_{\text{reaktor+jaket}}^2}{H_{\text{total}}}$$

$$V_{\text{reaktor}} = \frac{1/4 \pi ID^2}{H_{\text{total}}}$$

Jadi,

$$V_{\text{pendingin}} = (1/4 \pi D_{\text{baru}}^2 \times H_{\text{total}}) - (1/4 \pi ID^2 \times H_{\text{total}})$$

$$114,1461 = (1/4 \pi D_{\text{baru}}^2 \times H_{\text{total}}) - (1/4 \pi ID^2 \times H_{\text{total}})$$

Dengan menggunakan menu solver pada Microsoft excel, diperoleh

$$D_{\text{baru}} = 12,3250 \text{ ft} = 3,8567 \text{ m}$$

$$\text{Tebal Jacket} = D_{\text{baru}} - OD_{\text{vessel}} = 3,8567 - 3,7217 = 0,135 \text{ m}$$

Merancang Sambungan Head dengan Shell

Sambungan antara tutup bejana dengan bagian shell menggunakan sistem flange dan baut. Bahan konstruksi yang dipilih berdasarkan kondisi operasi.

Data perancangan :

$$\text{Tekanan desain (p)} = 63,8425 \text{ psia}$$

$$\text{Temperatur desain} = 240 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Material} = \text{ASTM-201 Grade B} \quad (\text{Brownell and Young, 1959})$$

$$\text{Bolting Steel} = \text{SA-193, grade B7} \quad (\text{Brownell and Young, 1959})$$

$$\text{Material gasket} = \text{Solid flat metal (Stainlees Steels)}$$

Diameter luar shell (B)	= 95,1981 in
Ketebalan <i>shell</i>	= 0,3125 in
Diameter dalam <i>shell</i>	= 94,8856 in
Tegangan dari material <i>flange</i>	= 21.250 psi
Tegangan dari <i>bolting material</i>	= 20.000 psi
Tipe <i>flange</i> = <i>Optional loose type</i>	

a. Perhitungan Lebar Gasket Minimum

$$\text{Lebar Gasket Minimum, } N = \frac{(d_o - d_i)}{2}$$

Keterangan :

d_o = Diameter luar gasket, in

d_i = Diameter dalam gasket, in

$$\frac{d_o}{d_i} = \sqrt{\frac{y - p \cdot m}{y - p(m+1)}} \quad (\text{Pers. 12.2, Brownell and Young, 1959})$$

Keterangan :

y = *Yield Stress*, lb/in²

p = *internal pressure*

m = Faktor gasket (Gambar 12.11)

Digunakan *stainless steel* dari Gambar 12.11, pers.12.2, Brownell and Young, 1959

diperoleh :

y = 26.000 lb/in²

m = 6,5

sehingga,

$$\frac{d_o}{d_i} = \sqrt{\frac{26.000 - (63,8425 \text{ psia} \times 6,5)}{26.000 - (63,482 \text{ psia} \times (6,5 + 1))}} = 1,1021$$

Diameter dalam gasket di sama dengan diameter luar *shell* = 95,1981 in,

Sehingga :

$$d_o = 1,1021 (95,1981 \text{ in}) = 104,9178 \text{ in}$$

$$\text{Lebar gasket minimum, } N = \frac{(d_o - d_i)}{2} = \frac{(104,9178 - 95,1981)}{2} = 4,8599 \text{ in}$$

Jadi, digunakan gasket dengan lebar standar 5 in Gambar 12.12, Brownell and Young, 1959.

$$\begin{aligned} \text{Diameter Gasket rata - rata, } G &= d_i + \text{lebar gasket} \\ &= 95,1981 \text{ in} + 5 \text{ in} = 100,1981 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari Gambar 12.12, Brownell and Young, 1959, kolom I type 1.a :

$$b_o = \frac{N}{4} = \frac{5}{2} = 1,25 \text{ in}$$

$$b = \frac{\sqrt{b_o}}{2} = \frac{\sqrt{1,25}}{2} = 0,5590 \text{ in}$$

jika $b_o > 0,25 \text{ in}$ maka $b = b_o = 0,5590 \text{ in}$

- Perhitungan Beban Baut (bolt)

Beban terhadap seal gasket :

$$W_{m2} = H_y = \pi \times b \times G \times y \quad (\text{Brownell and Young, pers 12.88, 1959})$$

Keterangan :

H_y : berat beban bolt maksimum (lb)

b : effective gasjet (in)

G : dimensi gasket rata – rata (in)

$$\begin{aligned} W_{m2} &= 3,14 \times 0,5590 \text{ in} \times 100,198 \text{ in} \times 26000 \text{ lb/in}^2 \\ &= 4575175,0779 \text{ lb} \end{aligned}$$

Beban operasional total

$$W_{m1} = H + H_p \quad (\text{Brownell and Young, pers 12.91, 1959})$$

Keterangan :

H = beban dari tekanan internal

H_p = beban joint tight (lb)

Beban untuk menjaga joint tight saat operasi

$$\begin{aligned} H_p &= 2 \times b \times \pi \times G \times m \times p \quad (\text{Brownell and Young, pers 12.90, 1959}) \\ &= 2 \times 0,5590 \text{ in} \times 3,14 \times 100,1981 \text{ in} \times 6,5 \times 63,8425 \text{ lb/in}^2 \\ &= 146045,3099 \text{ lb} \end{aligned}$$

Keterangan :

m = factor gasket (Brownell and Young, fig 12.11, 1959)

P = tekanan operasi (psi)

Beban dari tekanan internal (Brownell and Young, pers 12.89, 1959)

$$\begin{aligned}
 H &= ((\pi \times G^2) / 4) \times p \\
 &= (3,14 \times (100,1981 \text{ in})^2 / 4) \times 63,8425 \text{ lb/in}^2 \\
 &= 503406,4162 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

Beban operasi total

$$\begin{aligned}
 W_{m1} &= H + H_p \\
 &= 503406,4162 \text{ lb} + 146045,3099 \text{ lb} \\
 &= 649451,7261 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

Beban pengontrol

W_{m1} lebih besar dari pada W_{m2}

Sehingga beban pengontrol adalah $W_{m1} = 649451,7261 \text{ lb}$

Perhitungan Luas Baut Minimum (Minimum Bolting Area)

$$\begin{aligned}
 A_{m1} &= W_{m1} / f_b && \text{(Brownell and Young, pers 12.92, 1959)} \\
 &= 649451,7261 \text{ lb} / 20000 \\
 &= 32,4726 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Perhitungan ukuran baut optimum (Tabel 10.4 dan Tabel 12.3 dan Brownell dan Young 1959)

Digunakan baut dengan ukuran 3 :

$$\text{Root area} = 2,0490 \text{ in}^2$$

$$\text{Bolt spacing (BS) } = 4 \text{ in}$$

$$R = 2^{3/8} \text{ in}$$

$$\text{Edge distance (E) } = 1^{7/8} \text{ in}$$

$$\text{Jumlah baut minimum} = A_{m1} / \text{roof area}$$

$$= 32,4726 \text{ in}^2 / 2,0490 \text{ in}^2$$

$$= 15,8480 \text{ buah}$$

Digunakan 17 baut dengan bolt circle diameter :

$$BC = ID + 2 [(1,145 \times g_o) + R]$$

$$= 94,8896 \text{ in} + 2 [(1,145 \times 0,3125) + 2^{3/8} \text{ in}]$$

$$= 100,3512 \text{ in}$$

Detil dimensi baut ditunjukkan pada gambar

- Perhitungan Diameter Luar Flange

$$\text{Flange OD (A) } = BC + 2E$$

$$= 100,3512 \text{ in} + 2(1,8750 \text{ in})$$

$$= 104,1012 \text{ in}$$

Check lebar gasket :

$$\begin{aligned}
 A_{b \text{ actual}} &= \text{jumlah baut x roof area} \\
 &= 17 \times 2,0490 \text{ in}^2 \\
 &= 37,15 \text{ in}^2
 \end{aligned}$$

Lebar gasket minimum :

$$\begin{aligned}
 N_{\min} &= (A_{b \text{ actual}} \times f_{\text{allow}}) / (2 \times \pi \times G) \\
 &= (37,15 \times 20000) / (2 \times 26000 \times 3,14 \times 100,1981) \\
 &= 0,0454 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Karena $0,0454 \text{ in} < 4,8599 \text{ in}$ maka lebar gasket memenuhi.

- Perhitungan tebal flange

Perhitungan tebal flange (Brownell and Young, pers 12.85, 1959)

$$t = \sqrt{\frac{Y M_{\max}}{f_a B}}$$

keterangan :

M_{\max} = momen saat beroperasi sebagai pengontrol, lb-in

B = OD shell, in

f_a = Tegangan dari bolting material = 20000 psi

Y = diperoleh dari gambar (Brownell and Young, fig 12.22, 1959)

Menghitung M_{\max} = $M_O = M_D + M_G + M_T$

Menghitung M_D

Moment, M_D (Brownell and Young, pers 12.85, 1959)

$$M_D = H_D \times h_D$$

Untuk kondisi beroperasi $W = W_m$ (Brownell and Young, pers 12.95, 1959)

$$H_D = 0,785 B^2 p \quad (\text{Brownell and Young, pers 12.85, 1959})$$

$$= 0,785 (95,1981 \text{ in})^2 (63,8425 \text{ psi})$$

$$= 454188,4758 \text{ lb}$$

Keterangan :

H_D = hydrostatic and force pada area flange (lb)

The lever arm (Brownell and Young, pers 12.100, 1959)

$$h_D = \frac{1}{2} (BC - B)$$

$$= \frac{1}{2} (100,3512 \text{ in} - 95,1981 \text{ in})$$

$$= 2,5766 \text{ in}$$

$$M_D = H_D \times h_D$$

$$= 454188,4758 \text{ lb} \times 2,5766 \text{ in}$$

$$= 1170244,9947 \text{ lb-in}$$

Menghitung M_G

$M_G = H_G \times h_G$ (Brownell and Young, pers 12.91, 1959)

Hubungan level arm (Brownell and Young, pers 12.101, 1959)

$$h_G = \frac{1}{2} (BC - G)$$

$$= \frac{1}{2} (100,3512 \text{ in} - 100,1981 \text{ in})$$

$$= 0,0766 \text{ in}$$

Keterangan :

h_G = tahanan radial circle bolt (in)

BC = Bolt Circle diameter (in)

G = Diameter gasket rata – rata (in)

Nilai H_G (Brownell and Young, pers 12.101, 1959)

$H_G = W - H$

$W = \frac{1}{2} (A_b + A_m) f_a$
 $= \frac{1}{2} (37,1500 \text{ in}^2 + 32,4726 \text{ in}^2) (20000 \text{ psi})$
 $= 696225,8631 \text{ lb}$

Keterangan :

W = berat beban (lb)

A_{m1} = luas baut minimum (in^2)

A_b = luas actual baut (in^2)

f_a = tegangan yang diizinkan (psi)

$H_G = W - H$
 $= 696225,8631 \text{ lb} - 503406,4126 \text{ lb}$
 $= 192819,4469 \text{ lb}$

$M_G = H_G \times h_G$
 $= 192819,4469 \text{ lb} \times 0,0766 \text{ in}$
 $= 14762,7389 \text{ lb-in}$

Menghitung M_T (Moment diberikan)

$$M_T = H_T \times h_T \quad (\text{Brownell and Young, pers 12.97, 1959})$$

$$\begin{aligned} H_T &= H - H_D \\ &= 503406,4162 \text{ lb} - 454188,4758 \text{ lb} \\ &= 49217,9404 \text{ lb} \end{aligned}$$

Hubungan level arm (Brownell and Young, pers 12.102, 1959)

$$\begin{aligned} h_T &= \frac{1}{2} (h_D + h_G) \\ &= \frac{1}{2} (2,5766 \text{ in} + 0,0766 \text{ in}) \\ &= 1,3266 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_T &= H_T \times h_T \\ &= 49127,9404 \text{ lb} \times 1,3266 \text{ in} \\ &= 65290,6740 \text{ lb-in} \end{aligned}$$

Menghitung M_{\max}

Jumlah moment untuk kondisi M_O

$$\begin{aligned} M_{\max} &= M_O \quad (\text{Brownell and Young, pers 12.99, 1959}) \\ &= M_D + M_G + M_T \\ &= (1170244,9947 + 14762,7389 + 65290,6740) \text{ lb-in} \\ &= 1250298,4076 \text{ lb-in} \end{aligned}$$

Jadi momen saat beroperasi sebagai pengontrol adalah $M_{\max} = 1250298,4076 \text{ lb-in}$.

Perhitungan tebal flange (Brownell and Young, pers 12.85, 1959)

$$t = \sqrt{\frac{Y M_{max}}{f_a B}}$$

$$K = A/B$$

$$= 104,1012 \text{ in} / 95,1981 \text{ in} = 1,0935$$

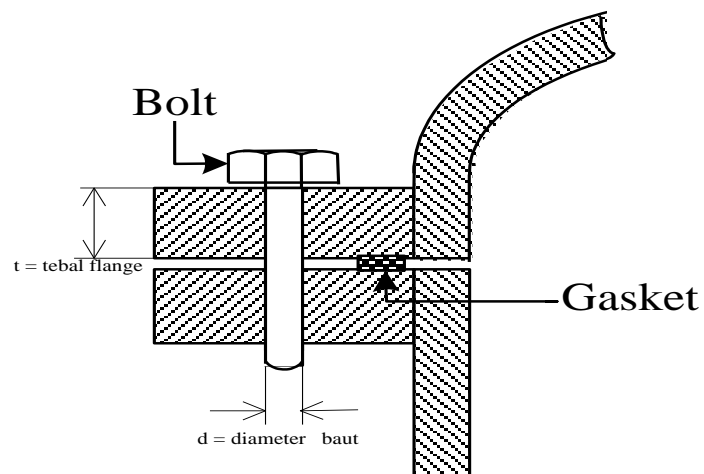
Dari Gambar 12.22, Brownell and Young, 1959, dengan K sama dengan 1,0935, maka :

$$Y = 22$$

$$t = \sqrt{\frac{22 \times 1.250.884,7979 \text{ lb in}}{20000 \times 146,5233}}$$

$$= 2,2547 \text{ in}$$

Digunakan *flange* standar dengan ketebalan 3 in. Detil *flange* dan *bolt* pada sambungan *head* dan *shell* ditunjukkan pada Gambar



Gambar Detail *flange* dan *bolt* pada *head vessel*

IV. Merancang Perpipaan dan Nozzel

a. Pipa Umpan C₂H₄

Komponen	Massa (kg)	W _i	ρ _i (kg/m ³)	μ _i (cP)	W _i / ρ _i	w _i ln μ
C ₂ H ₄	8.361,6697	1,0000	2,6220	0,0168	0,3808	-4.08638

$$\text{Laju alir massa (G)} = 8.361,6697 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Debit Cairan (Q)} &= G/\rho \\ &= \frac{8.361,6697 \text{ kg/jam}}{2,6260 \text{ kg/m}^3} \end{aligned}$$

$$\text{Diameter optimum(d)} = 282 G^{0,52} \rho^{-0,37}$$

Data perhitungan :

Asumsi aliran adalah turbulen, (N_{Re}) > 4000

$$\begin{aligned} &= 282 (2,3227 \text{ kg/s})^{0,52} (2,6260 \text{ kg /m}^3)^{-0,37} \\ &= 250,0941 \text{ mm} \\ &= 9,8462 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari Tabel 11, Kern, hal 844, 1965 dipilih spesifikasi pipa standar adalah :

$$\text{Number Pipe Size (NPS)} = 10 \text{ in}$$

$$\text{Schedule pipa} = 40$$

$$\text{ID} = 10,02 \text{ in} = 0,2545 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 OD &= 10,75 \text{ in} \\
 A' &= 78,8 \text{ in}^2 = 0,0508 \text{ m}^2 \\
 \text{Kecepatan alir air (v)} &= Q / A' \\
 &= \frac{24,7357 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0508 \text{ m}^2} \\
 &= 486,9232 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{Re} &= \frac{\rho_{mix} D v}{\mu_{mix}} \\
 &= \frac{0,0939 \text{ kg/m} \times 0,2545 \text{ m} \times 486,9232 \text{ m/s}}{0,0168 \text{ E} - 0,3 \text{ kg/m.s}} \\
 &= 692635,2497 \text{ (asumsi aliran turbuler benar)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan spesifikasi pipa standar di atas, ditentukan spesifikasi *nozzel* standar untuk pipa umpan.

Spesifikasi *nozzel* standar dari Brownell and Young, 1959, Appendix. F item 1 adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Size} &= 10 \\
 \text{OD of pipe} &= 10,75 \text{ in}
 \end{aligned}$$

b. **Pipa Umpan C₄H₈**

Aliran umpan masuk

Komponen	Massa (kg)	W _i	ρ _i (kg/m ³)	μ _i (cP)	W _i / ρ _i	w _i ln μ
C ₄ H ₈	22.018,068	1,0000	3.4232	0,0238	0,29212	-3,7380

$$\text{Laju alir massa (G)} = 22.018,068 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Debit Cairan (Q)} &= G/\rho \\ &= \frac{22.018,068 \text{ kg/jam}}{3,4232 \text{ kg/m}^3} \\ &= 6432,0134 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\text{Diameter optimum(d)} = 282 G^{0,52} \rho^{-0,37} \text{ (Pers 5.14, Couldson, 1983)}$$

Data perhitungan :

Asumsi aliran adalah turbulen, $(N_{Re}) > 4000$

$$\begin{aligned} &= 282 (6,1161 \text{ kg/s})^{0,52} (3,4232 \text{ kg /m}^3)^{-0,37} \\ &= 373,1721 \text{ mm} \\ &= 14,6917 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari Tabel 11, Kern, hal 844, 1965 dipilih spesifikasi pipa standar adalah :

$$\text{Number Pipe Size (NPS)} = 16 \text{ in}$$

$$\text{Schedule pipa} = 30$$

$$\text{ID} = 15,25 \text{ in} = 0,3874 \text{ m}$$

$$\text{OD} = 16 \text{ in}$$

$$\text{A}' = 183 \text{ in}^2 = 0,1181 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kecepatan alir air (v)} &= Q/ A' \\
 &= \frac{1,7867 \text{ m}^3/\text{s}}{0,118 \text{ m}^2} \\
 &= 10,1784 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{Re} &= \frac{\rho_{mix} D v}{\mu_{mix}} \\
 &= \frac{3,4232 \text{ kg/m} \times 0,3874 \text{ m} \times 10,1784 \text{ m/s}}{0,00238 \text{ kg/m.s}} \\
 &= 567070,4405 \text{ (asumsi aliran turbuler benar)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan spesifikasi pipa standar di atas, ditentukan spesifikasi *nozzel* standar untuk pipa umpan.

Spesifikasi *nozzel* standar dari Brownell and Young, 1959, Appendix. F item 1 adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Size} &= 16 \\
 \text{OD of pipe} &= 16 \text{ in}
 \end{aligned}$$

c. Pipa umpan TEAL dan Hidrogen

Aliran umpan masuk

Komponen	Massa (kg)	W_i	ρ_i (kg/m ³)	μ_i (cP)	W_i / ρ_i	$w_i \ln \mu$
H ₂	5733,7164	0,233	3,3763	0,030	0,069	-0,8170
TEAL	18.873,48	0,766	2.6260	0,0270	0,2920	-2.7703
Total	623,6642	1,0000			0,361	-3,2687

$$\begin{aligned} \text{Laju alir massa (G)} &= 24.607,1994 \text{ kg/jam} \\ &= 4,6434 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{mix}} &= \frac{1}{\frac{w_i}{\rho_i}} \\ &= \frac{1}{0,361089} \\ &= 2,7694 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\ln \mu_{\text{mix}} = \sum(w_i \ln \mu_i)$$

$$\ln \mu_{\text{mix}} = -3,58737$$

$$\mu_{\text{mix}} = 0,0277\text{E-}03 \text{ kg/m.s}$$

$$\begin{aligned} \text{Debit Cairan (Q)} &= G/\rho \\ &= \frac{24.607,1994 \text{ kg/jam}}{2,7694 \text{ kg/m}^3} \\ &= 2,4681 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\text{Diameter optimum(d)} = 282 G^{0,52} \rho^{-0,37} \quad (\text{Pers 5.14, Couldson, 1983})$$

Data perhitungan :

Asumsi aliran adalah turbulen, $(N_{\text{Re}}) > 4000$

$$= 282 (4,6434 \text{ kg/s})^{0,52} (2,7694 \text{ kg /m}^3)^{-0,37}$$

$$= 429,8527 \text{ mm}$$

$$= 16,9233 \text{ in}$$

Dari Tabel 11, Kern, hal 844, 1965 dipilih spesifikasi pipa standar adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Number Pipe Size (NPS)} &= 18 \text{ in} \\
 \text{Schedule pipa} &= 20 \\
 \text{ID} &= 17,25 \text{ in} = 0,4382 \text{ m} \\
 \text{OD} &= 18 \text{ in} \\
 \text{A}' &= 234 \text{ in}^2 = 0,1510 \text{ m}^2 \\
 \text{Kecepatan alir air (v)} &= Q / A' \\
 &= \frac{4,6434 \text{ m}^3/\text{s}}{0,1510 \text{ m}^2} \\
 &= 11,1062 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{\text{Re}} &= \frac{\rho_{\text{mix}} ID v}{\mu_{\text{mix}}} \\
 &= \frac{2,7694 \text{ kg/m} \times 0,4382 \text{ m} \times 11,1062 \text{ m/s}}{0,0277 \text{ E} - 0,3 \text{ kg/m.s}} \\
 &= 487070,4405 \text{ (asumsi aliran turbuler benar)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan spesifikasi pipa standar di atas, ditentukan spesifikasi *nozzel* standar untuk pipa umpan.

Spesifikasi *nozzel* standar dari Brownell and Young, 1959, Appendix. F item 1 adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Size} &= 18 \\
 \text{OD of pipe} &= 18 \text{ in}
 \end{aligned}$$

VII. *Nozzle jaket*Tabel F.13. Aliran massa air pendingin masuk *coil* reaktor RE-01

Komponen	Massa (kg)	W _i	ρ _i (kg/m ³)	μ _i (cP)	W _i / ρ _i	w _i ln μ
C ₂ H ₄	58,5317	0.0008	2.6260	0,0168	0.0003	-0.0031
C ₄ H ₈	989,0661	0.0020	3.4232	0.0238	0.0006	-0.0074
H ₂	370,6011	0.0179	3.3763	0.0300	0.0053	-0.0627
Al ₂ (C ₂ H ₅) ₃	18.873	0.3446	2.6260	0.0270	0.1312	-1.2447
TiCl ₄	29.357	0.5371	9.2848	0.0164	0.0578	-2.2078
H ₂ O	5.337,73	0.0977	1.6881	0.1104	0.0578	-0.2152
Total	54.986,937	1,0000			0,2531	-3,7409

$$\text{Laju alir massa (G)} = 54,986,9371 \text{ kg/jam}$$

$$= 15,2742 \text{ kg/s}$$

$$\text{Densitas cairan } (\rho_{\text{mix}}) = \frac{1}{w / \rho_i}$$

$$= \frac{1}{0,2531}$$

$$= 3,9511 \text{ kg /m}^3$$

$$\ln \mu_{\text{mix}} = \Sigma(w_i \cdot \ln \mu_i)$$

$$\ln \mu_{\text{mix}} = -3,7409$$

$$\mu_{\text{mix}} = 0,0237 \text{ cP}$$

$$= 0,0237\text{E} -03 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Debit cairan (Q)} &= G / \rho \\
 &= 54.986,9371 \text{ kg/jam} \\
 &= 3,9511 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

$$\text{Diameter optimum (d)} = 282 G^{0.52} \rho^{-0.37} \quad (\text{Pers 5.14, Couldson, 1983})$$

Data perhitungan :

Asumsi aliran adalah turbulen, (N_{Re}) > 4000

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter optimum, d} &= 282 G^{0.52} \rho^{-0.37} \\
 &= 282 (15,2742 \text{ kg/s})^{0.52} (2,6157 \text{ kg /m}^3)^{-0.37} \\
 &= 815,4550 \text{ mm} \\
 &= 22,4940 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Dari Tabel 11, Kern, hal 844, 1965 dipilih spesifikasi pipa standar adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Number Pipe Size (NPS)} &= 24 \text{ in} \\
 \text{Schedule pipa} &= 20 \\
 \text{ID} &= 23,25 \text{ in} = 0,5906 \text{ m} \\
 \text{OD} &= 24 \text{ in} \\
 \text{A}' &= 335 \text{ in}^2 = 0,2290 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kecepatan alir air (v)} &= Q / A' \\
 &= \frac{3,8658 \text{ m}^3/\text{s}}{0,2290 \text{ m}^2} \\
 &= 16,8812 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$N_{Re} = \frac{\rho_{\text{mix}} \text{ ID } v}{\mu_{\text{mix}}} = 1.662.137,767 \text{ (asumsi aliran turbulen benar)}$$

Berdasarkan spesifikasi pipa standar di atas, ditentukan spesifikasi *nozzel* standar untuk pipa umpan.

Spesifikasi *nozzel* standar dari Brownell and Young, 1959, Appendix. F item 2 adalah :

$$Size = 20$$

$$OD \text{ of pipe} = 20 \text{ in}$$

e. Nozzle Jacket

Komponen	Massa (kg)	W_i	ρ_i (kg/m ³)	μ_i (cP)	W_i / ρ_i	$w_i \ln \mu$
Downtherm A	4121,4891	1,0000	982.1200	0,0007	0,0010	4.0775

$$\text{Laju alir massa (G)} = 4121,4891 \text{ kg/jam} = 1,1449 \text{ m/s}$$

$$\text{Debit Cairan (Q)} = G/\rho$$

$$= \frac{4121,4891 \text{ kg/jam}}{982,1200 \text{ kg/m}^3}$$

$$= 4,1965 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 4,1965 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 0,0012 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Diameter optimum(d)} = 282 G^{0,52} \rho^{-0,37} \text{ (Pers 5.14, Couldson, 1983)}$$

Data perhitungan :

Asumsi aliran adalah turbulen, $(N_{Re}) > 4000$

$$= 282 (1,1449 \text{ kg/s})^{0,52} (982,1200 \text{ kg /m}^3)^{-0,37}$$

$$= 23,6433 \text{ mm}$$

$$= 0,8377 \text{ in}$$

Dari Tabel 11, Kern, hal 844, 1965 dipilih spesifikasi pipa standar adalah :

Number Pipe Size (NPS) = 1 in

Schedule pipa = 40

ID = 1,0430 in = 0,0266 m

OD = 1,32 in

A' = 0,8640 in² = 0,0006 m²

Kecepatan alir air (v) = Q / A'

$$= \frac{0,0012}{0,0006} = 2 \text{ m/s}$$

$$N_{Re} = \frac{\rho_{mix} ID v}{\mu_{mix}}$$

$$= \frac{982,12 \text{ kg/m}^3 \times 0,0266 \text{ m} \times 2 \text{ m/s}}{0,0590 \frac{\text{kg}}{\text{m s}}}$$

$$= 52,2488 \text{ (} N_{re} < 4000, \text{ aliran laminar)}$$

Berdasarkan spesifikasi pipa standar di atas, ditentukan spesifikasi nozzle standar pipa umpan.

Spesifikasi nozzle standar dari Brownel and Young, 1959, Appendix F item 1 adalah :

Size : 1,5

OD of pipe : 1,9 in

Merancang Manhole (Shell Manhole)

Manhole adalah lubang pemeriksaan yang diperlukan pada saat pembersihan atau pemeriksaan pada bagian dalam kolom. Direncanakan manhole di pasang pada kolom bagian atas reaktor dengan ukuran standar 20 in berdasarkan rekomendasi API standard 12 C (Brownell and Young, Ap.F item 4) dengan spesifikasi :

Tebal shell = 0,3125 in

Jumlah = Satu

Ukuran potongan

Weld A = 0,1875 in

Weld B = 0,3125 in

Panjang sisi = 45,25 in

Lebar reinforcement (W) = 54 in

Diameter manhole, ID = 20 in

Maksimum diameter lubang,

D_p = 24,5 in

Diameter plat penutup

Cover plate = 28,75 in

Diameter bolt circle, D_B = 26,25 in

Menghitung berat reaktor

Berat mati reaktor = berat vessel dan perlengkapan + berat material

a. Berat vessel dan perlengkapan

Berat shell

Data perhitungan :

$$\text{ID shell} = 12,1685 \text{ ft}$$

$$t_s = 0,5 \text{ in}$$

$$\text{OD shell} = 146,5233 \text{ in (12,2102 ft)}$$

$$H_s = 65,5445 \text{ ft}$$

$$\rho_{\text{carbon steel}} = 489 \text{ lb}_m/\text{ft}^3 \quad (\text{Foust, App. D-10})$$

$$\begin{aligned} \text{volume shell} &= \frac{1}{4} \pi \times H_s \times (\text{OD}^2 - \text{ID}^2) \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 65,5445 \text{ ft} \times [(12,2102 \text{ ft})^2 - (12,1685 \text{ ft})^2] \\ &= 52,2350 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{berat shell total} &= \text{Volume shell} \times \rho_{\text{carbon steel}} \\ &= 52,2350 \text{ ft}^3 \times 489 \text{ lb}/\text{ft}^3 \\ &= 25542,9231 \text{ lb (11586,1939 kg)} \end{aligned}$$

Berat dish head

Data perhitungan :

$$\text{ID head} = 146,0233 \text{ in} = 12,1685 \text{ ft}$$

$$t_h = 0,5 \text{ in} = 0,043$$

$$\text{panjang straight flange} = 4,5 \text{ in}$$

$$\text{insede corner radius} = 9 \text{ in}$$

untuk $t_h > 1 \text{ in}$ ($t_d = 3 \text{ in}$) perkiraan blank diameter (b_d) adalah

$$\begin{aligned}
 bd &= OD + OD/42 + 2 \cdot S_f + 2/3 \times icr + t_h && \text{(Brownell and Young, pers 12.85, 1959)} \\
 &= [146,0233 + (146,0233/42) + (2 \times 4,5) + (2/3 \times 9) +] \\
 &= 167,5 \text{ in} && = 14,3836 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume dish head} &= \frac{1}{4} \pi (b_d^2) \times t_h \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (14,386)^2 (0,5) \\
 &= 81,2035 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Head} &= \text{Volume head} \times \rho_{\text{carbon steel}} \\
 &= 81,2035 \text{ ft}^3 \times 489 \text{ lb/ft}^3 \\
 &= 39708,5213 \text{ lb} \\
 &= 18011,6671 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat head and bottom} &= 2 \times 18011,66 \text{ kg} \\
 &= 36023,33 \text{ kg} \\
 &= 79417,04 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

Berat jaket

$$\begin{aligned}
 V_{\text{jaket}} &= 114,1461 \text{ ft}^3 \\
 \rho_{\text{steel}} &= 489 \text{ lb/ft}^3 && \text{(Foust, App. D-10)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jaket} &= \text{volume jaket} \times \rho_{\text{steel}} \\
 &= 114,1461 \times 489 \\
 &= 55817,4429 \text{ lb} \\
 &= 25318,62 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Berat Opening

Berat manhole

$$\text{Manhole 20 in} = 428 \text{ lb} = 194,1375 \text{ kg} \quad \text{(Brownell and Young, 1959)}$$

$$\text{Berat tutup} = 29,22 \text{ lb} = 13,2540 \text{ kg} \quad (\text{Megyesy, pp 384})$$

$$\begin{aligned} \text{Total Berat Manhole} &= 428 \text{ lb} + 29,22 \text{ lb} \\ &= 457,22 \text{ lb} = 207,39 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berat nozzle

$$\begin{aligned} \text{Ukuran nozzle} &= \text{Nozzle pipa umpan} + \text{nozzle produk} + \text{nozzle jaket} \\ &= 18 + 16 + 10 + 20 + 1,5 \\ &= 65,5 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat nozzle} &= 140 + 127 + 52 + 170 + 4 \quad (\text{Brownell and Young, Fig 12.2, 1959}) \\ &= 497 \text{ lb} = 207,39 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Opening total} &= 497 + 457,22 \\ &= 954,22 \text{ lb} = 438,83 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berat fluida dalam reaktor

Berat bahan baku

$$\text{Volume gas} = 585398,69 \text{ m}^3$$

$$\text{Densitas campuran dalam reaktor} = 0,0939 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Berat campuran dalam reaktor} = 54968,937 \text{ kg}$$

$$\text{Berat Pendingin} = 4121,489 \text{ kg/jam}$$

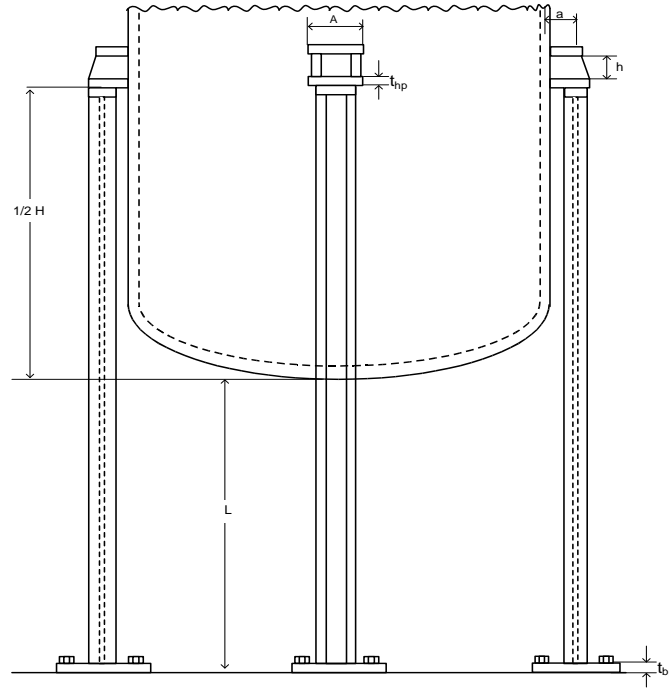
$$\begin{aligned} \text{Berat Fluida Total} &= 54968,937 + 4121,489 \\ &= 59090,426 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berat Mati Reaktor

$$\begin{aligned} \text{Berat mati reaktor} &= \text{Berat vessel dan perlengkapan} + \text{berat material} \\ &= 4503681,115 \text{ kg} = 9928815,38 \text{ lb} \end{aligned}$$

Desain system penyangga

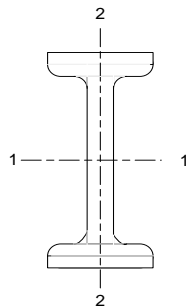
Reaktor disangga dengan 4 kaki. Kaki penyangga dilas ditengah – tengah ketinggian (50 % dari tinggi total reaktor):



Gambar F.4. Sketsa sistem penyangga Reaktor

a. Leg Planning

Digunakan kaki (leg) tipe I-beam dengan pondasi dari cor atau beton :



Gambar F.5. Kaki penyangga tipe I beam

1. Menghitung Ketinggian Kaki (H_{leg})

Karena kaki dilas pada pertengahan ketinggian reaktor, maka ketinggian kaki adalah :

$$(H_{leg}) = \frac{1}{2} H_r + L$$

Keterangan :

H_r = tinggi total reaktor, ft

L = Jarak antara bottom reaktor ke pondasi (digunakan 10 ft)

$$\begin{aligned} H_{leg} &= (1/2 \times 62,5445 \text{ ft}) + 10 \text{ ft} \\ &= 41,2723 \text{ ft} = 495,2726 \text{ in} \end{aligned}$$

2. Pemilihan Ukuran Beam

Digunakan I-beam 10 in (App. G, item 2, Brownell dan Young)

Dimensi I-beam :

Kedalaman beam = 10 in

Lebar flange (B) = 4,9440 in

Web thickness = 0,5940 in

Ketebalan rata-rata flange = 0,4910 in

Area of section (A) = 10,22 in²

Berat/ft = 35 lb

Peletakkan dengan beban eksentrik (axis 1-1)

$$I = 145,8 \text{ in}^4$$

$$S = 29,2 \text{ in}^3$$

$$r = 3,78 \text{ in}$$

peletakkan tanpa beban eksentrik (axis 2-2)

$$I = 8,5 \text{ in}^4$$

$$S = 3,4 \text{ in}^3$$

$$r = 0,91 \text{ in}$$

3. Cek terhadap peletakan sumbu axis 1-1 maupun akis 2-2

Axis 1-1

$$l/r = 145,8 \text{ in} / 3,78 \text{ in} = 64,58 \quad (l/r < 120, \text{ memenuhi}) \quad (\text{Brownell and Young})$$

a. Stress kompresif yang diizinkan (f_c)

$$\begin{aligned} (f_c) &= P / a \\ &= 18000 / 1 + (l^2/18000 \times r^2) \quad (\text{Brownell and Young}) \\ &= 18000 / 1 + ((145,8^2 / 18000) \times 3,78^2) \\ &= 14613,4356 \text{ psia} \end{aligned}$$

$F_c < 15000 \text{ psia}$, sehingga memenuhi hal 201, Brownell and Young. Jarak antara center line kolom penyangga dengan center line shell (a) dari gambar 13 adalah :

$$a = (1/2 \times B) + 1,5$$

$$= (1/2 \times 4,944) + 1,5$$

$$= 3,9720 \text{ in}$$

$$y = 1/2 \times B = 1/2 \times 4,9440 = 2,4720 \text{ in}$$

$$Z = l/y = 145,8/2,4720 = 58,9806 \text{ in}^3$$

b. Beban kompresi total maksimum tiap leg (P)

$$P = \frac{4 P_w (H-L)}{n D_{bc}} + \frac{\sum W}{n} \quad (\text{Pers. 10.76, Brownell and Young})$$

Keterangan :

P_w = beban angin total pada permukaan yang terbuka, lb

H = Tinggi reaktor di atas pondasi, ft

L = Jarak dari pondasi ke bagian bawah reaktor, ft

D_{bc} = Diameter anchor-bolt circle, ft

n = Jumlah penyangga, n = 4

ΣW = Berat untuk perancangan, lb

Berat untuk perancangan = 1,2 x berat mati reaktor

$$= 1,2 \times 9928815,386 \text{ kg}$$

$$= 1914578,0772 \text{ kg}$$

$$= 540441,716 \text{ lb}$$

Umumnya vessel dengan penyangga lug atau lug supported memiliki ketinggian yang lebih rendah dibandingkan skirt supported vessel, sehingga wind load sangat minor pengaruhnya. Wind load cenderung mempengaruhi vessel jika vessel dalam keadaan kosong. Berat vessel dalam keadaan terisi oleh cairan cenderung stabil (Hal.197, Brownell dan Young, 1956). Jadi, nilai $P_w = 0$, kemudian persamaan diatas menjadi :

$$P = \frac{\Sigma W}{n}$$

$$= 540441,716 \text{ lb} / 4$$

$$= 135110,429 \text{ lb}$$

c. Luas Penampang Lintang

$$A = p / f \quad (\text{pers.10.98, Brownell and Young, 1959})$$

Menghitung beban eksentrik

$$f_{ec} = (P \times a) / Z$$

$$= 135110,429 \text{ lb} \times 3,9720 / 58,9806 \text{ in}^2$$

$$= 9098,90072 \text{ lb/in}^2$$

$$\begin{aligned}
 f &= f_c - f_{ec} \\
 &= 14613,4356 - 9098,90072 \\
 &= 5814,5349
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= P / f \\
 &= 135110,429 / 5814,5349 \\
 &= 5,8794 \text{ in}^2 < A (6,71 \text{ in}^2)
 \end{aligned}$$

Sehingga luas penampang lintang yang dimiliki oleh kedalam beam 10 in dapat digunakan.

Axis 2-2

$$\begin{aligned}
 l/r &= 244,1359 \text{ in} / 0,91 \text{ in} \\
 &= 268,2812 \text{ (} l/r > 120, \text{ tidak memenuhi) } \quad \text{(Brownell and Young hal 201)}
 \end{aligned}$$

b. Lug planning

1. Menentukan ukuran baut

Masing – masing penyangga memiliki 4 baut (bolt)

Beban maksimum tiap baut :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{bolt}} &= P / n_b \\
 &= 135110,429 \text{ lb} / 4 \\
 &= 33777,6073 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

Luas lubang baut adalah :

$$A_{\text{bolt}} = P_{\text{bolt}} / f_{\text{bolt}} \quad \text{(Pers.10.35, Brownell and Young)}$$

Keterangan :

$$f_{\text{bolt}} = \text{stress maksimum yang dapat ditahan oleh setiap baut} = 12000 \text{ psi}$$

$$A_{\text{bolt}} = 33777,6073 \text{ lb} / 12000 \text{ lb/in}^2$$

$$= 2,81848 \text{ in}^2$$

Digunakan baut standar dengan diameter = 3 in (tabel 10.4 Brownell and Young)

2. Menentukan ketebalan plat horizontal

3. Ketebalan plat vertical

c. Base Plate planning

Base plate direncanakan berbentuk empat persegi panjang dengan bahan konstruksi Carbon steel yang ditempatkan diatas beton. Perhitungan base plate pada reaktor yang diletakkan di dasar penyangga meliputi :

1. Menghitung base plate area (A_{bp})

$$\text{Base plate area } (A_{\text{bp}}) = P_b / f \quad (\text{Pers. 10.35, Brownell and Young, 1959})$$

Keterangan :

P_b = base plate loading

f = kapasitas bearing (untuk cor, $f = 1200$ psi)

(Tabel 10.1 Brownell and Young)

Beban base plate (P_b) = berat 1 leg + P

Digunakan I-beam dengan ukuran 10 in dan 35 lb

$$\text{Panjang kaki } (H_{\text{leg}}) = 495,2726 \text{ in} = 42,5303 \text{ ft}$$

$$\text{Jadi, berat satu leg} = 42,5303 \text{ ft} \times 35 \text{ lb} = 1488,5605 \text{ lb}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban base plate } (P_b) &= 1488,5605 \text{ lb} + 134110,429 \text{ lb} \\ &= 136598,9895 \text{ lb} \end{aligned}$$

$$\text{Base plate area } (A_{bp}) = P_b / f \quad (\text{Pers. 10.35, Brownell and Young})$$

$$\begin{aligned} A_{bp} &= 136598,9895 \text{ lb} / 1200 \text{ psi} \\ &= 113,8325 \text{ in}^2 (= A_{bp} \text{ min}) \end{aligned}$$

2. Menentukan tebal base plate

Tebal base plate :

$$t_{bp} = (0,00015 \times P_a \times n^2)^{1/2}$$

Keterangan :

$$P_a = \text{Tekanan actual} = P_b / A_{bp,baru}$$

Untuk posisi leg 1-1

$$\begin{aligned} A_{bp} &= \text{lebar } (l_e) \times \text{panjang } (p_a) \\ &= (0,8 b + 2n) (0,95 h + 2 m) \end{aligned}$$

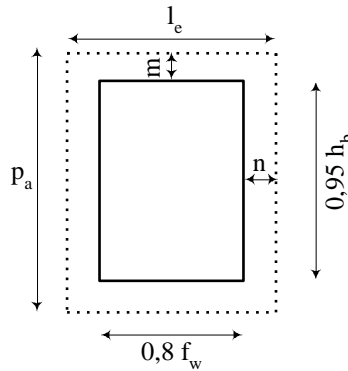
Keterangan :

$$b = \text{lebar flange} = 4,9440 \text{ in}$$

$$h = \text{kedalaman beam} = 10 \text{ in}$$

$$m = n \text{ (asumsi awal)}$$

sketsa area base plate ditunjukkan pada gambar F.11.



Gambar F.6. Sketsa area base plate

$$A_{bp} = (0,8 \times 4,9440 + 2n)(0,95 \times 10 + 2n) = 113,8325 \text{ in}^2$$

Nilai n di trial hingga ruas kiri dan kanan sama.

Dari hasil trial diperoleh nilai n adalah 2,2829 in

Maka

$$l_e = (0,8 \times 4,9440) + (2 \times 2,2829) = 8,5209 \text{ in}$$

$$p_a = (0,95 \times 10) + (2 \times 2,2829) = 14,0657 \text{ in}$$

umumnya dibuat $p_a = l_e$ maka dibuat = 14,0657 in

$$n_{\text{baru}} = [14,0657 - (0,8 \times 4,9440)] / 2 = 5,0533 \text{ in}$$

$$m_{\text{baru}} = [14,0657 - (0,95 \times 10)] / 2 = 2,2829 \text{ in}$$

$$A_{bp,\text{baru}} = 197,8441 \text{ in}^2$$

$$\begin{aligned} P_a &= P_b / A_{bp,\text{baru}} \\ &= 135110,429 \text{ lb} / 197,8441 \text{ in}^2 \\ &= 682,9136 \text{ psia} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{bp} &= (0,00015 \times P_a \times n^2)^{1/2} \\ &= (0,00015 \times 682,9136 \times (5,0533)^2)^{1/2} \\ &= 1,6175 \text{ in. Digunakan plat standar 2 in.} \end{aligned}$$

Cek Vibrasi

a. Menghitung periode vibrasi

Periode dari vibrasi pada vessel harus dibatasi, karena vibrasi yang berlangsung dalam periode yang cukup lama akan menimbulkan suatu kerusakan pada vessel.

Periode vibrasi (T),

$$T = 2,65 \times 10^{-5} \left(\frac{H}{D}\right)^2 \left(\frac{wD}{t}\right)^{1/2} \quad (\text{Brownell and Young pers.9.68})$$

Keterangan :

D = Outside diameter menara = 12,2102 ft = 146,5233 in

H = Tinggi vessel termasuk penyangga = 41,2723 ft

w = Berat vessel, lb/ft tinggi = 25542,9231 lb/ft tinggi

t = Ketebalan shell, in = 0,5 in

Sehingga :

$$T = 2,65 \times 10^{-5} \left(\frac{41,2723}{12,2102}\right)^2 \left(\frac{25542,9231 \times 12,2102}{0,5}\right)^{1/2}$$

$$= 0,2391 \text{ detik}$$

b. Menghitung periode maksimum vibrasi

Periode maksimum vibrasi dirumuskan dengan (Megsey, 1983) :

$$T_a = 0,8 \times \sqrt{\frac{W H}{V g}}$$

V = CW

Keterangan :

W = Total shear, lb = 140974,9162 lb

g = 32,2 ft /s² , percepatan gravitasi

C = koefisien seismic (C) = 0,1 (tabel 9.3 Brownell and Young)

$$T_a = 0,8 \times \sqrt{\frac{140974,9162 \text{ lb} \times 28,4366}{(0,1 \times 140974,9162 \text{ lb}) \times 32,2}}$$

$$= 2,3774 \text{ detik}$$

c. Cek vibrasi

Periode vibrasi yang dihasilkan lebih rendah dari periode maksimum vibrasi ($T < T_a$)

sehingga periode vibrasi diizinkan.

Perancangan Pondasi

Perancangan pondasi dengan system konstruksi pondasi beton terdiri dari : semen :

kerikil : pasir, dengan perbandingan 1 : 2 :3. Direncanakan pondasi berbentuk limas

terpancung, dianggap hanya gaya vertical dari berat kolom yang bekerja pada pondasi.

Asumsi tanah pondasi adalah clay dengan safe bearing maksimal 10 ton/ft² (Tabel 12.2

Hess & Rushton). Pondasi dibuat dari beton dengan specific gravity 2,65 dan densitas

140 lb/ft³.

a. Menentukan volume pondasi

$$\text{Volume pondasi (V)} = 1/3 \times \text{tinggi pondasi} \times ((a+b) + (a \times b)^{1/2})$$

Keterangan :

a = luas bagian atas

b = luas bagian bawah

Digunakan tanah dengan :

$$\text{Luas bagian atas (a)} = 9.025 \text{ in}^2 (95 \text{ in} \times 95 \text{ in})$$

$$\text{Luas bagian bawah (b)} = 10.000 \text{ in}^2 (100 \text{ in} \times 100 \text{ in})$$

$$\text{Tinggi Pondasi} = 30 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Pondasi (V)} &= 1/3 \times \text{tinggi pondasi} \times ((a+b) + (a \times b)^{1/2}) \\ &= 285.250 \text{ in}^3 = 165,0752 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

b. Menentukan berat pondasi

Berat Pondasi (W) = V x densitas beton

$$= 165,0752 \times 140 = 23110,5323 \text{ lb}$$

c. Menentukan berat total yang diterima tanah

- Berat yang diterima pondasi

Berat yang diterima pondasi = berat menara + berat 1 beton

$$\text{Berat menara} = 9928815,386 \text{ lb}$$

$$\text{Berat I-beam yang diterima oleh base plate adalah} = 136598,9895 \text{ lb}$$

$$\text{Jadi berat total yang diterima pondasi adalah} = 10105746,3755 \text{ lb}$$

$$= 4583936,483 \text{ kg}$$

- Berat yang diterima tanah

Berat yang diterima tanah = Berat yang diterima pondasi + Berat Pondasi

$$W_{\text{total}} = 10105746,375 \text{ lb} + 23110,5323 \text{ lb}$$

$$= 10128856,9073 \text{ lb}$$

- d. Menentukan tegangan karena beban

$$\text{Tegangan tanah karena beban } (\tau) = P / F < 10 \text{ ton/ft}^2$$

Ketrangan :

P = beban yang diterima tanah (lb)

F = Luas alas (ft²)

$$\begin{aligned} \tau &= 10128856,9073 \text{ lb} / 10000 \text{ in}^2 \\ &= 1012,8857 \text{ lb} / \text{in}^2 = 8,9182 \text{ ton} / \text{ft}^2, 10 \text{ ton/ft}^2 \end{aligned}$$

Merancang Distributor

Dari kunii, 1991 untuk reaktor fluidized bed yang dioperasikan pada temperature tinggi jenis distributor yang dipakai adalah tuyere nozzle type dimana terdapat orifice di tiap nozzelnya.

- a. Menentukan kebutuhan pressure drop yang melewati distributor

$$\Delta P_d = 0,2 - 0,4 \Delta P_b, \text{ dipilih } 0,4 \quad (\text{eq 4-3 hal 102, Kunii})$$

ΔP_b = pressure drop yang melewati bed

$$\Delta P_b = (1 - \epsilon_{mf}) (\rho_s - \rho_g) g L_{mf} \quad (\text{eq. 3-17 hal 69, Kunii})$$

Dimana :

ϵ_{mf} = ned voidage at minimum fluidization

ρ_s = densitas padatan (katalis), kg/m³

ρ_g = densitas mix gas, kg/m³

g = gaya gravitasi

L_{mf} = tinggi fluidisasi minimum = tinggi shell reactor

$$\Delta P_b = (1 - 0,4087) \times (1369 - 2,9198) \times 9,8 \times 5,3489$$

$$= 43430,396 \text{ Pa}$$

$$= 43,3404 \text{ kPa}$$

$$= 0,4277 \text{ atm}$$

$$\Delta P_d = 0,4 \Delta P_b$$

$$= 0,4 \times 43340,396$$

$$= 12336,158 \text{ Pa}$$

b. Menghitung N_{Re} dan $Cd_{orifice}$

$$N_{re} = \frac{ID \times u_o \times \rho_g}{\mu}$$

$$= \frac{2,4140 \times 2,7331 \times 2,9198}{0,07478 \times 10^{-3}} = 257192,4576$$

Diperoleh $Cd_{orifice} = 0,6$

c. Menentukan kecepatan gas yang melewati orifice

$$u_{or} = Cd_{orifice} \left(\frac{2\Delta P_d}{\rho_g} \right)^{1/2} \quad (\text{eq.4-12 hal 105, Kunii})$$

$$= 0,6 \times \left(\frac{2173361,158}{2,9198} \right)^{1/2}$$

$$= 65,3832 \text{ m/s}$$

Cek rasio u_o / u_r yang memberikan fraksi area terbuka pada distributor, dimana u_o / u_{or}

< 10%

$$U_o / u_{or} = 2,7331 / 65,3832$$

$$= 0,0418 \times 100\%$$

$$= 4,18 \%$$

$u_o / u_r < 10 \%$, memenuhi

d. Menentukan jumlah orifice (N_{or}) per unit area distributor dan diameter orifice (d_{or})

$$N_{or} = 1 / l_{or}^2$$

$$l_{or} = \text{minimum allowable pitch or tuyere spacing} = 0,1 \text{ m}$$

$$N_{or} = 1/0,1^2 = 100 \text{ tuyere / m}^2$$

Jadi jumlah tuyere total = luas alar shell x N_{or}

$$\begin{aligned} \text{Luas alas shell} &= \frac{1}{4} \pi ID^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 2,4101^2 \\ &= 4,5597 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\Sigma N_{or} = 4,5597 \times 100$$

$$= 455,97$$

$$= 456 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} d_{or} &= \left[\frac{4}{\pi} \times \left(\frac{u_o}{u_{or}} \right) \times \left(\frac{1}{N_{or}} \right) \right]^{1/2} \\ &= \left[\frac{4}{3,14} \times \left(\frac{2,7331}{65,3832} \right) \times \left(\frac{1}{100} \right) \right]^{1/2} \\ &= 0,0231 \text{ m} \end{aligned}$$