

BAB III

PERHITUNGAN DIMENSI

Dalam studi kasus untuk perancangan shell and tube heat exchanger ini ditentukan data sebagai berikut :

Fluida panas : *Crude oil*

Temperature masuk $T_{h1} = 200^{\circ}\text{C}$

Temperatur keluar $T_{h2} = 90^{\circ}\text{C}$

Laju aliran $m_h = 20000\text{kg/hr}$

Fluida Dingin : *Kerosin*

Temperatur masuk $T_{c1} = 40^{\circ}\text{C}$

Laju aliran $m_c = 70000\text{kg/hr}$

3.1 SPESIFIKASI

Mean temperature Kerosin = $(200+90)/2 = 145^{\circ}\text{C}$

$c_p = 2.47 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$

Nilai perpindahan kalor dihitung dengan persamaan :

$$q = m_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (2.5)$$

$$= (20000/3600)(2.47)(200-90)$$

$$= 1509.4 \text{ Kw}$$

$$q = m_c c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i})$$

$$T_{c2} = 78^{\circ}\text{C}$$

3.2 Physical properties

- **Jenis Fluida : Kerosin**

Kapasitas kalor spesifik :

- Inlet = $2.72 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$

- Mean = 2.47 J/kg°C
- Outlet = 2.26 J/kg°C

Konduktifitas termal :

- Inlet = 0.130 W/m°C
- Mean = 0.132 W/m°C
- Outlet = 0.135 W/m°C

Viskositas :

- Inlet = 0.0022 kg/ms
- Mean = 0.0043 kg/ms
- Outlet = 0.008 kg/ms

Densitas :

- Inlet = 690 kg/m³
- Mean = 730 kg/m³
- Outlet = 770 kg/m³

- Jenis Fluida : Crude oil

Kapasitas kalor spesifik :

- Inlet = 2.09 J/kg°C
- Mean = 2.05 J/kg°C
- Outlet = 2.01 J/kg°C

2050 J/kg°C

Konduktifitas termal :

- Inlet = 0.133 kg/ms
- Mean = 0.0.134 kg/ms
- Outlet = 0.135 kg/ms

Viskositas :

- Inlet = 0.00024 kg/ms
- Mean = 0.00032 kg/ms
- Outlet = 0.00043 kg/ms

Densitas :

- Inlet = 690 kg/m³
- Mean = 690 kg/m³
- Outlet = 690 kg/m³

3.3 Perkiraan nilai keseluruhan koefisien perpindahan kalor

Perkiraan nilai keseluruhan koefisien perpindahan kalor dapat ditentukan dengan melihat tabel.

Dari tabel 2.1, didapatkan nilai koefisien berada di 300-500 W/m²°C

Maka ditentukan U= 300 W/m²°C

3.4 Jumlah lintasan di Shell and Tube dan Mean Temperatur

Tipe Heat exchanger ditentukan :

Jumlah lintasan di *shell* : 1

Jumlah lintasan di *tube* : 2

Beda suhu rata-rata log dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
 LMTD &= \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln(T_{h,i} - T_{c,o}) / (T_{h,o} - T_{c,i})} & (2.7) \\
 &= \frac{(200 - 80) - (90 - 40)}{\ln(200 - 80) / (90 - 40)} \\
 &= 80.72 \text{ } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Faktor koreksi temperature :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} & (2.8) & \quad P = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} & (2.9) \\
 &= \frac{78 - 40}{200 - 40} & & &= \frac{200 - 90}{80 - 40} \\
 &= 0.2375 & & &= 2.8947
 \end{aligned}$$

Dari tabel , faktor koreksi temperatur (F_t) = 0.87

$$\begin{aligned}
 \Delta T_m &= F_t \Delta T_l \\
 &= (0.87)(80.72) = 71^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

3.5 Luas Penukar kalor

Luas penukar kalor dihitung dari persamaan :

$$\begin{aligned}
 A_o &= \frac{q}{U\Delta T_m} & (2.4) \\
 &= \frac{(1509400)}{(300)(71)} \\
 &= 70.86 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

3.6 Layout dan dimensi pipa

Telah ditentukan bahwa jenis *shell and tube* yang digunakan adalah jenis *fixed head*.

Karena *crude oil* (minyak mentah) lebih kotor dari kerosin, maka ditentukan *crude oil* berada di bagian *tube*, dan kerosin di bagian *shell*.

Layout dan dimensi pipa ditentukan sebagai berikut :

$$d_o = 19.05 \text{ mm (3/4 inch)}$$

Tebal pipa (t)=2.11

Panjang pipa(L) =5m

Layout : triangular,

Pitch dapat dihitung dari persamaan :

$$\begin{aligned}
 p_t &= 1.25d_o \\
 &= (1.25)(19.05) = 23.81
 \end{aligned}$$

3.7 Jumlah tube

Jumlah tube dapat dihitung dari persamaan :

$$N_t = \frac{A_o}{\pi d L} \quad (2.10)$$

$$N_t = \frac{70.86}{(3.14)(0.01905)(5)}$$

$$= 240.29 \sim 240$$

Untuk mengetahui

- Luas potongan melintang pada permukaan pipa :

$$= \frac{\pi}{4} (14.83 \times 10^{-3})^2 = 0.0001727 \text{ m}^2$$

- Luas permukaan perlintasan :

$$120 \times 0.0001727 = 0.02073 \text{ m}^2$$

- aliran volumetric :

$$- \frac{70000}{3600} \times \frac{1}{820} = 0.0237 \text{ m}^3 / \text{s}$$

- Kecepatan aliran pada pipa :

$$u_t = \frac{0.0237}{0.02073} = 1.144 \text{ m/s}$$

3.8 Tube pitch dan diameter bundle dan Shell

- Diameter bundle (D_b) dapat dihitung dari persamaan :

$$D_b = d_o \left(\frac{N_t}{K_l} \right)^{1/n_1} \quad (2.11)$$

Dari table 12.4, didapatkan nilai :

$$K_l = 0.249$$

$n_1 = 2.207$, maka :

$$D_b = 19.05 \left(\frac{240}{0.249} \right)^{1/2.07} = 428 \text{ mm}$$

- Diameter Shell (D_s)

Dari tabel 12.10, diperoleh bundle diameter clearance (BDC)=56

Maka :

$$D_s = D_b + BDC \quad D_b = d_o \left(\frac{N_t}{K_l} \right)^{1/n_1}$$

(2.12)

$$D_s = 428 + 56 \text{ mm} = 484 \text{ mm}$$

3.9 Koefisien perpindahan kalor bagian Tube

- Bilangan Reynold

$$\text{Re} = \frac{G_s D_e}{\mu} \quad (2.16)$$

$$\text{Re} = \frac{820 \times 1.14 \times 14.83 \times 10^{-3}}{3.2 \times 10^{-3}} = 4332 \text{ (} 4.3 \times 10^3 \text{)}$$

- Bilangan Prandtl dapat dihitung dari persamaan :

$$\text{Pr} = \frac{\mu \cdot C_p}{k} \quad (2.18)$$

$$\text{Pr} = \frac{2.05 \times 10^{-3} \times 3.2 \times 10^{-3}}{0.134} = 48.96$$

$$\frac{L}{d_i} = \frac{5000}{14.83} = 337$$

Dari tabel 12.23, didapatkan nilai :

$$j_h = 3.2 \times 10^{-3}, \text{ maka :}$$

$$N_u = \text{Re Pr}^{0.33}$$

$$N_u = 3.2 \times 10^{-3} (4332)(48.96) = 50.06$$

- Koefisien perpindahan kalor dapat dihitung dari persamaan :

$$\begin{aligned} h_i &= N_u \frac{k}{d_i} \\ &= 50.06 \times \left(\frac{0.134}{14.83 \times 10^{-3}} \right) \\ &= 452 \text{ W/m}^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Nilai yang didapat terlalu kecil untuk $U = 300 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, maka jumlah lintasan di tube ditentukan menjadi 4.

Maka :

$$u_i = 2 \times 1.14 = 2.3 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = 2 \times 4332 = 8664$$

$$j_h = 3.8 \times 10^{-3}$$

$$\begin{aligned} h_i &= N_u \frac{k}{d_i} \\ &= 3.8 \times 10^{-3} (8664)(48.96) \left(\frac{0.134}{14.83 \times 10^{-3}} \right) \\ &= 1074 \text{ W/m}^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

3.10 Koefisien perpindahan kalor bagian *Shell*

Dalam tahap ini metoda Kern digunakan.

Dalam perhitungan koefisien perpindahan kalor bagian *shell* ini digunakan metode Kern's.

$$D_b = 19.05 \left(\frac{240}{0.175} \right)^{1/2.285} = 450 \text{ mm}$$

Dari tabel 12.10, diperoleh shell diameter clearance = 56

Maka :

$$D_s = D_b + BDC \quad (2.12)$$

$$D_s = 450 + 56 \text{ mm} = 506 \text{ mm}$$

- Sebagai perkiraan pertama, jarak antar baffle dapat ditentukan dari persamaan :

$$\begin{aligned} B_s &= 0.5 D_s \\ &= (0.5)(506) = 101.2 \sim 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Luas permukaan *cross-flow* dapat dihitung dari persamaan :

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{(p - d_o) D_s B_s}{p_t} \quad (2.13) \\ &= \frac{(23.81 - 19.05)(506)(100)}{23.81} \\ &= 10166 \text{ mm}^2 = 0.01012 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Diameter shell equivalent dapat dihitung dari persamaan :

$$\begin{aligned} d_e &= \frac{1.10}{d_o} (p_t^2 - 0.917 d_o^2) \quad (2.15) \\ &= \frac{1.10}{19.05} (23.81^2 - 0.917 \times 19.05^2) \\ &= 13.52 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Laju aliran volumetric di shell :

$$= \frac{20000}{3600} \frac{1}{730} = 0.0076 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Kecepatan aliran di shell dapat dihitung dari persamaan :

$$G_s = \frac{W_s}{A_s} \quad (2.14)$$

$$= \frac{0.076}{0.01468} = 0.75 \text{ m/s}$$

- Bilangan Reynold dihitung dari persamaan :

$$\text{Re} = \frac{G_s d_s}{\mu} \quad (2.16)$$

$$= \frac{730 \times 0.75 \times 13.52 \times 10^{-3}}{0.43 \times 10^{-3}}$$

$$= 17214$$

- Bilangan Prandtl

$$\text{Pr} = \frac{2.47 \times 10^3 \times 0.43 \times 10^{-3}}{0.132} \quad (2.18)$$

$$= 8.05$$

- Ditentukan baffle yang digunakan adalah tipe segmental, dengan 25%.

Dari gambar 2.5 didapatkan nilai faktor perpindahan kalor di shell :

$$j_h = 4.52 \times 10^{-3}$$

Maka nilai koefisien perpindahan kalor di *shell* dapat dihitung dengan persamaan :

$$h_s = \frac{k}{d_e} j_h \text{Re Pr}^{1/3} \quad (2.19)$$

$$= 1505 \text{ W/m}^2\text{C}$$

3.11 Koefisien perpindahan kalor menyeluruh

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh dapat dihitung dari persamaan :

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{d \ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right)}{2k_w} + \frac{d_o}{d_i} \times \frac{1}{h_{id}} + \frac{d_o}{d_i} \times \frac{1}{h_i} \quad (2.26)$$

$$\frac{1}{U_o} = \left(\frac{1}{1074} + 0.00035 \right) + \frac{19.05}{14.83} + \frac{19.05 \times 10^{-3} \ln\left(\frac{19.05}{14.83}\right)}{2 \times 55} + \frac{1}{1505} + 0.0002$$

$$U_o = 386 \text{ W/m}^2\text{C}$$

3.12 Pressure drop

Nilai pressure drop dapat dihitung dari persamaan :

$$\begin{aligned} \Delta P_t &= N_p \left[8j_f \left(\frac{L}{d_i} \right) \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-m} + 2.5 \right] \frac{\rho u_i^2}{2} & (2.22) \\ &= 1 \left[8 \times 5 \times 10^{-3} \left(\frac{5000}{14.83} \right) + 2.5 \right] \frac{(820 \times 2.3^2)}{2} \\ &= (13.5 + 2.5) \frac{(820 \times 2.3^2)}{2} \\ &= 34702 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

