

# DESAIN HEAT EXCHANGER TIPE DOUBLE PIPE JENIS ALIRAN PARALEL

Asyari Daryus\*

## Abstrak

Telah dilakukan desain sebuah penukar kalor jenis pipa anda (*double pipe heat exchanger*) untuk memanaskan air. Alat ini didesain untuk dipergunakan sebagai alat uji di laboratorium fenomena dasar mesin, Fakultas Teknik Universitas Dharma Persada. Fluida pada shell dan tube keduanya menggunakan media air. Fluida panas diletakkan di dalam tube dan fluida dingin diletakkan di dalam shell. Fluida dingin dengan temperatur  $27^{\circ}\text{C}$  akan dipanaskan sampai maksimal hingga temperatur  $35^{\circ}\text{C}$  dengan laju aliran 10 liter/menit. Untuk mendapatkan kondisi ini maka dibutuhkan fluida panas dengan temperatur  $50^{\circ}\text{C}$  dengan laju aliran 7,26 liter/menit. Kalor total yang diperlukan untuk memanaskan fluida dingin adalah sebesar 5,523 kJ/s. Dari hasil perhitungan diperoleh tube dengan panjang total 2,4 meter dan jumlah penukar kalor 2 buah.

**Kata kunci:** double pipe heat exchanger, penukar kalor pipa ganda.

## 1. PENDAHULUAN

Ada berbagai cara untuk memindahkan kalor dari suatu zat ke zat lainnya yaitu: konduksi, konveksi dan radiasi ataupun merupakan gabungannya. Penukar kalor (*heat exchanger*) adalah salah satu alat untuk merealisasikan proses perpindahan kalor ini sehingga zat yang telah diproses keluar dari alat ini bisa dipergunakan sebagaimana dikhendaki.

Sebagai sebuah perguruan tinggi yang meluluskan sarjana teknik mesin, Universitas Dharma Persada perlu menyiapkan lulusannya untuk dapat mengerti, memahami dan menggunakan alat penukar kalor dengan benar. Oleh sebab itu jurusan teknik mesin UNSADA perlu melengkapi laboratoriumnya dengan sebuah peralatan uji *penukar kalor* tersebut.

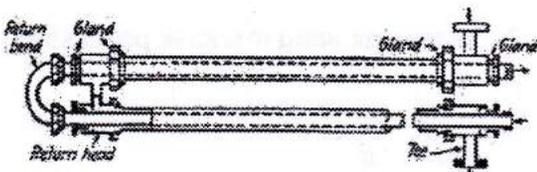
Pada kesempatan ini akan didesain sebuah alat penukar kalor yang bertujuan sebagai alat praktikum bagi mahasiswa yang akan melaksanakan praktikum fenomena dasar mesin. Jenis alat penukar kalor yang didesain adalah jenis *double pipe heat exchanger*, dikarenakan alat jenis ini mudah untuk dibuat, tanpa pabrikan yang sulit, dan mudah dalam pemakaiannya.

## 2. TEORI

Suatu penukar kalor adalah suatu alat yang memindahkan panas antara dua aliran proses. Terdapat berbagai jenis penukar kalor, dan penamaannya disesuaikan dengan proses yang terjadi pada fluida yang mengalir di dalamnya. *Heater* adalah alat yang penggunaannya terutama ditujukan untuk memanaskan fluida proses, dan uap air biasanya digunakan sebagai fluida pemanas. *Cooler* adalah alat yang berfungsi mendinginkan fluida proses, dan air merupakan fluida

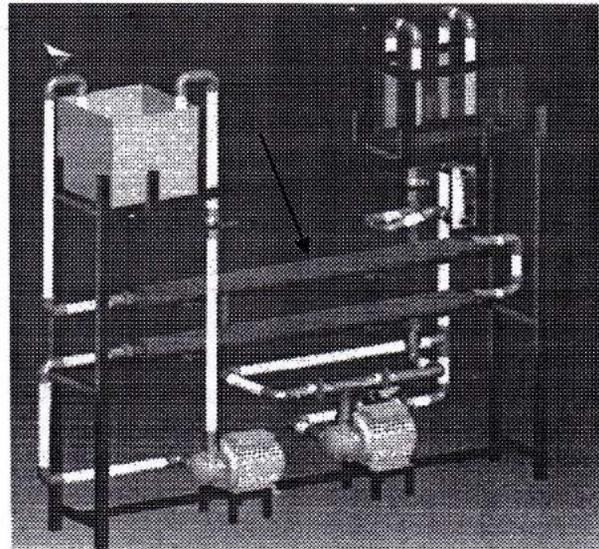
yang paling banyak digunakan. *Condenser* adalah cooler yang tujuan utamanya adalah mengambil kalor laten daripada kalor *sensible*. *Reboiler* bertujuan untuk mensuplai panas yang diperlukan untuk proses distilasi sebagai kalor laten. *Evaporator* digunakan untuk memanaskan fluida dengan penguapan air. Jika fluida lain yang menguap sebagai ganti air maka disebut *vaporizer*.

Penukar kalor Pipa Ganda adalah salah satu jenis penukar kalor dimana konstruksinya menggunakan pipa konsentrik. Salah satu bentuk penukar kalor jenis pipa ganda yang banyak digunakan di industri ditunjukkan oleh gambar 1.



Gambar 1. Penukar kalor pipa ganda.

Komponen utama alat penukar kalor ini adalah dua set pipa konsentrik, dua Tee, sebuah *return head* dan sebuah *return bend*. Pipa bagian dalam didukung di dalam pipa luar dengan menggunakan *packing gland*, dan fluida memasuki pipa dalam melalui sambungan ulir. Kedua pipa bagian dalam dihubungkan oleh *return bend* (pipa lengkung) yang biasanya terbuka ke udara.



Gambar 2. Desain alat uji Penukar Kalor.

Jenis penukar kalor pipa ganda ini yang akan digunakan pada desain alat uji Penukar Kalor berikut ini. Gambar desain alat uji penukar kalor ditunjukkan oleh gambar 2. Komponen-komponen yang digunakan pada modul alat uji ini, selain penukar kalor pipa ganda itu sendiri, adalah: 2 buah pompa, 1 pemanas air, 2 bak air, dan sistem perpipaan. Tanda panah pada gambar 2 menunjukkan penukar kalor pipa ganda.

Dalam penulisan ini hanya akan diberikan desain alat penukar kalornya saja, komponen-komponen lainnya tidak akan dimasukkan ke dalam perhitungan supaya cakupan pembahasannya tidak terlalu luas.

Untuk mendesain alat penukar kalor ini, dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

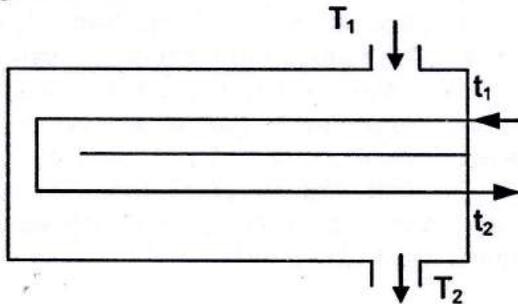
1. menghitung beban kalor.
2. menghitung beda temperatur (LMTD)

- menentukan koefisien perpindahan kalor, dan.
- menghitung dimensi penukar kalor.

### 3. PERHITUNGAN

Perhitungan yang akan dilakukan ditujukan hanya untuk mencari dimensi penukar kalor yaitu dimensi *shell* dan *tube*. Perhitungan jatuh tekanan (*pressure drop*) dan tegangan-tegangan pada komponen penukar kalor tidak dimasukkan karena akan membuat makalah ini menjadi panjang.

Dalam desain ini ditentukan bahwa tipe penukar kalor adalah tipe penukar kalor pipa ganda (*double pipe heat exchanger*) aliran *paralel*. Sketsa aliran penukar kalor ini dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Sketsa Penukar Kalor.

Nilai temperatur masing-masing fluida adalah:

$$T_1 = \text{temperatur air masuk shell} = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = \text{temperatur air keluar shell} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_1 = \text{temperatur air masuk tube} = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = \text{temperatur air keluar tube} = 39 \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### 3.1. Perhitungan Beban Kalor

##### 3.1.1. Penyerapan Kalor Pada Shell:

- Debit air,  $q$ :  
Air digerakkan oleh pompa dengan kapasitas 10 liter per menit.

$$q = 10 \text{ ltr/min} \\ = 0,166 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

- Kerapatan air,  $\rho$ :  
- Temperatur rata-rata:

$$T_{av} = \frac{T_1 + T_2}{2} \\ = \frac{27 + 35}{2} = 31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$-\rho \text{ pada } 31 \text{ } ^\circ\text{C} = 995,38 \text{ kg/m}^3$$

$$-\text{k calor spesifik, } c \text{ pada } 31 \text{ } ^\circ\text{C} = 4,179 \text{ kJ/kgK}$$

- massa air yang mengalir pada shell,

$$\dot{m}_s :$$

$$\dot{m}_s = \rho \cdot q \\ = 995,38 \times 0,166 \times 10^{-3} \\ = 0,1652 \text{ kg/s}$$

- Kalor yang diserap air pada shell,  $Q_s$ :

$$Q_s = \dot{m}_s \cdot c \cdot (T_2 - T_1) \quad (1)$$

$$= 0,1652 \times 4,179 (35 - 27)$$

$$= 5,523 \text{ kJ/s}$$

##### 3.1.2. Laju aliran massa pada tube:

- Kerapatan air,  $\rho$ :  
- Temperatur rata-rata:

$$t_{av} = \frac{t_1 + t_2}{2} \\ = \frac{50 + 39}{2} = 44,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- $\rho$  pada  $44,5^\circ\text{C} = 990,41 \text{ kg/m}^3$
- kalor spesifik,  $c$  pada  $44,5^\circ\text{C} = 4,181 \text{ kJ/kgK}$

2. Laju aliran massa air pada tube,  $\dot{m}_t$  :

$$Q_t = \dot{m}_t \cdot c \cdot (t_2 - t_1)$$

dengan:

$$\begin{aligned} Q_t &= \text{Kalor yang diberikan oleh air} \\ &\text{pada tube} = Q_s \\ &= 5,523 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

sehingga :

$$\begin{aligned} \dot{m}_t &= \frac{Q_t}{c(t_2 - t_1)} \\ &= \frac{5,523}{4,181(50 - 39)} \\ &= 0,1201 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

3. Laju volume aliran fluida,  $q$  :

$$\begin{aligned} q &= \dot{m}_t / \rho \\ &= 0,1201 / 990,41 \\ &= 1,21 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 7,26 \text{ ltr/min} \end{aligned}$$

Jadi kebutuhan air pemanas tiap detik adalah sebesar  $0,1201 \text{ kg/s}$  ( $7,26 \text{ ltr/min}$ ).

### 3.2. Beda Suhu Rata-rata (LMTD)

Beda suhu rata-rata log,  $LMTD$  :

$$LMTD = \frac{(t_1 - T_1) - (t_2 - T_2)}{\ln \frac{(t_1 - T_1)}{(t_2 - T_2)}}$$

(2)

$$\begin{aligned} &= \frac{(50 - 27) - (39 - 35)}{\ln \frac{(50 - 27)}{(39 - 35)}} \\ &= 10,86^\circ\text{C} \end{aligned}$$

### 3.3. Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor Keseluruhan

#### 3.3.1 Tube.

Direncanakan ukuran tube sebagai berikut:

- diameter luar, OD = 1 in
- BWG = 18
- ketebalan dinding,  $t = 0,049$  in
- diameter dalam, ID = 0,902 in = 0,075 ft
- flow area,  $a_t' = 0,639 \text{ in}^2$

1. Kecepatan aliran ( $G_t$ ):

Kecepatan aliran dirumuskan:

$$G_t = \dot{m}_s / a_t \quad (3)$$

Dengan :  $a_t = 0,639 \text{ in}^2 = 4,1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$$\begin{aligned} G_t &= 0,1201 / (4,1 \times 10^{-4}) \\ &= 292,93 \text{ kg/s.m}^2 \end{aligned}$$

2. Angka Reynold ( $Re_t$ ):

Angka Reynold dirumuskan:

$$Re_t = ID \cdot G_t / \mu_t \quad (4)$$

dengan:

$\mu_t$  = viskositas rata-rata fluida

$\mu_1 = 0,6 \text{ cp}$  pada  $t_1 = 50^\circ\text{C}$

$\mu_2 = 0,75 \text{ cp}$  pada  $t_2 = 39^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} G_t &= 292,93 \text{ kg/s.m}^2 \\ &= 215985,53 \text{ lb/hr.ft}^2 \end{aligned}$$

$$\mu_t = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2}$$

$$\begin{aligned}
 &= (0,6+0,75)/2 \\
 &= 0,675 \text{ cp} \\
 &= 0,675 \times 2,42 \text{ lb/ft.hr} \\
 &= 1,6335 \text{ lb/ft.hr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Re_t &= (0,075 \cdot 215,985 \times 10^3) / 1,6335 \\
 &= 9916,67
 \end{aligned}$$

### 3. Koefisien konveksi film ( $h_i$ ):

Dari kurva perpindahan kalor pada tube (lampiran 1) untuk angka Reynold 9916,67 diperoleh:

$$j_H = 38$$

Pada  $t_{av} = 44,5$  °C, sifat fisik air didapatkan:

$$c = 4,181 \text{ kJ/kg.K} = 0,999$$

$$\text{BTU/lb.}^\circ\text{F}$$

$$k = 0,368 \text{ BTU/hr.ft.}^\circ\text{F}$$

$$\mu = 1,6335 \text{ lb/ft.hr}$$

sehingga:

$$\left(\frac{c \cdot \mu}{k}\right)^{1/3} = \left(\frac{0,999 \times 1,6335}{0,368}\right)^{1/3} = 1,64$$

- koefisien konveksi film,  $h_i$ , (kern, 1988):

$$h_i = j_H \frac{k}{ID} \left(\frac{c \cdot \mu}{k}\right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \quad (5)$$

$$= 38 \times \frac{0,368}{0,075} \times 1,64 \times 1$$

$$= 305,78 \text{ BTU/(hr)(ft}^2\text{)}^\circ\text{F}$$

### 4. Koreksi $h_i$ terhadap permukaan pipa, $OD$ :

$$h_{io} = h_i \times \frac{ID}{OD} \quad (6)$$

$$= 305,78 \times (0,902/1)$$

$$= 275,81 \text{ BTU/(hr)(ft}^2\text{)}^\circ\text{F}$$

### 3.3.2. Shell.

Direncanakan ukuran shell sebagai berikut:

- diameter dalam shell,  $D_s = 2,5 \text{ in} = 0,208 \text{ ft}$

#### 1. Luas penampang aliran, $a_s$ :

- diameter tube,  $OD = 1 \text{ in} = 0,083 \text{ ft}$

- Luas penampang aliran:

$$a_s = \pi(D_s^2 - OD^2)/4$$

$$= \pi(0,208^2 - 0,083^2)/4$$

$$= 0,0286 \text{ ft}^2$$

#### 2. Kecepatan aliran, $G_s$ :

$$G_s = \dot{m}_s / a_s$$

Dengan:  $a_s = 0,0286 \text{ ft}^2$

$$\dot{m}_s = 0,1652 \text{ kg/s}$$

$$= 1311,13 \text{ lb/h}$$

maka:

$$G_s = 1311,13 / 0,0286$$

$$= 65,487 \times 10^3$$

$$= 45843,71 \text{ lb/hr.ft}^2$$

#### 3. Angka Reynold, $Re_s$ :

$$Re_s = D_e \cdot G_s / \mu_s$$

Dengan:  $\mu_s = 0,85 \text{ cp}$  (pada  $T_{av} = 31$  °C)

$$= 0,85 \times 2,42 \text{ lb/ft.hr}$$

$$= 2,057 \text{ lb/ft.hr}$$

- Diameter ekuivalen,  $D_e$ :

$$\begin{aligned} D_e &= (D_s^2 - OD^2) / OD \\ (7) \quad &= (0,208^2 - 0,083^2) / 0,083 \\ &= 0,438 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Re_s &= 0,438 \times 45843,71 / 2,057 \\ &= 9761,57 \end{aligned}$$

4. Koefisien konveksi,  $h_o$ :

Dari kurva perpindahan kalor pada tube (lampiran 1) untuk angka Reynold 9761,57 diperoleh:

$$j_H = 37$$

Pada  $T_{av} = 31 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$\begin{aligned} c &= 4,179 \text{ kJ/kg.K} = 0,9985 \\ &\text{BTU/lb.}^\circ\text{F} \\ k &= 0,3568 \text{ BTU/hr.ft.}^\circ\text{F} \\ \mu_s &= 2,057 \text{ lb/ft.hr} \end{aligned}$$

$$\left( \frac{c \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} = \left( \frac{0,9985 \times 2,057}{0,3568} \right)^{1/3} = 1,79$$

- Koefisien konveksi,  $h_o$ , (kern, 1988):

$$\begin{aligned} h_o &= j_H \frac{k}{D_e} \left( \frac{c \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (8) \\ &= 37 \times \frac{0,3568}{0,438} \times 1,79 \times 1,0 \\ &= 53,95 \text{ BTU/(hr)(ft}^2\text{)}^\circ\text{F} \end{aligned}$$

### 3.3.3. Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh

1. Clean overall coefficient,  $U_c$ :

$$\begin{aligned} U_c &= \frac{h_{io} \cdot h_o}{h_{io} + h_o} \quad (9) \\ &= \frac{275,81 \times 53,95}{275,81 + 53,95} \\ &= 45,12 \text{ BTU/hr.ft}^2\text{.}^\circ\text{F} \end{aligned}$$

2. Design overall coefficient,  $U_d$ :

$$\frac{1}{U_d} = \frac{1}{U_c} + R_d \quad (10)$$

dengan:

$$\begin{aligned} R_d &= \text{Fouling resistant} \\ &= 0,002 \text{ (ref.: Perry, 1973)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{U_d} &= \frac{1}{45,12} + 0,002 \\ &= 0,024 \end{aligned}$$

$$U_d = 41,39 \text{ BTU/hr.ft}^2\text{.}^\circ\text{F}$$

### 3.4. Panjang Tube

Dari persamaan energi:

$$Q = U_d \cdot A \cdot LMTD \quad (11)$$

Dengan:

$$\begin{aligned} Q &= \text{kalor yang diserap/diberikan} \\ &= 5,523 \text{ kJ/s} \\ &= 8846,3 \text{ BTU/hr} \\ A &= \text{luas permukaan tube} \\ LMTD &= 10,86 \text{ }^\circ\text{C} = 51,548 \text{ }^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} A &= Q / (U_d \cdot LMTD) \\ &= \frac{8846,3}{41,39 \times 51,548} \\ &= 4,146 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Panjang tube total,  $L_t$ :

Untuk BWG 18 dan OD = 1 in, maka *outside surface per lin ft*,  $a'' = 0,2618 \text{ ft}^2/\text{lin ft}$ .

$$\begin{aligned} L_t &= \frac{A}{a''} \\ (12) \quad &= \frac{4,146}{0,2618} \\ &= 15,8 \text{ ft} \\ &= 4,8 \text{ m} \end{aligned}$$

Karena tube dua pass (*double pipe*), maka panjang satu passnya adalah:  $4,8/2 = 2,4$  meter. Panjang tube ini dirasakan masih terlalu panjang, maka supaya diperoleh dimensi yang lebih pendek, digunakan 2 buah penukar kalor dengan susunan seri, sehingga panjang tube per pass menjadi:

$$L_t = 2,4 / 2 = 1,2 \text{ meter}$$

#### 4. KESIMPULAN

Dari desain alat penukar kalor pipa ganda ini, disimpulkan sebagai berikut:

1. Karakteristik/sifat fisik fluida:
  - Fluida pada tube dan shell: air
  - Temperatur air masuk pada shell =  $27^\circ\text{C}$
  - Temperatur air keluar pada shell =  $35^\circ\text{C}$
  - Temperatur air masuk pada tube =  $50^\circ\text{C}$
  - Temperatur air keluar pada tube =  $39^\circ\text{C}$
  - Laju aliran fluida pada tube: 7,26 ltr/min
  - Laju aliran fluida pada shell: 10 ltr/min

- LMTD :  $10,86^\circ\text{C} = 51,548^\circ\text{F}$
- Koefisien perpindahan kalor menyeluruh:  $41,39 \text{ BTU/hr.ft}^2.\text{F}$

2. Dimensi alat penukar kalor:
  - Diameter shell: 2,5 in
  - Diameter tube, OD: 1 in
  - Panjang tube total: 2,4 meter per penukar kalor
  - Jumlah penukar kalor: 2
  - Panjang tube per pass: 1,2 meter
3. Untuk memvariasikan data percobaan untuk tujuan praktikum, dapat dilakukan dengan memvariasikan laju aliran fluida pada tube.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

1. Giles, Ronaqlid V. *Mechanic Fluid & Hydraulic*. Schaum's outline series, Mc. GrawHill Book Company, 1977.
2. Holman, JP. *Perpindahan Kalor, terj. E. Jasfi*. Jakarta, Penerbit Erlangga, 1984.
3. Kern, DQ. *Process Heat Transfer*. Singapore, Mc. Graw Hill Book Company, 1988.
4. Perry, Robert H., Cecil H. Chilton. *Chemical Engineers Hand Book, 5<sup>th</sup> edition*. Mc. Graw Hill Book Kogakusha Ltd.

#### 6. LAMPIRAN

Lampiran 1:

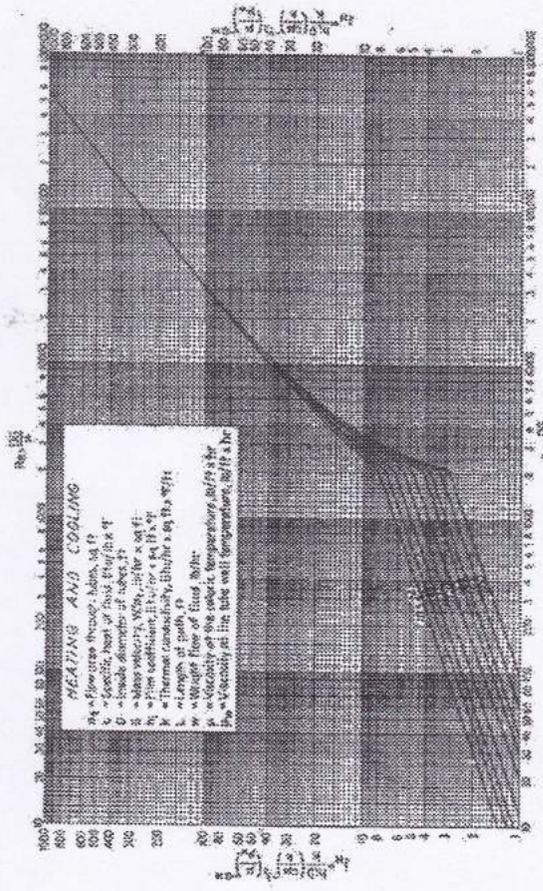


Fig. 8A. Tube-side liquid convective current. Adapted from Colburn and Franks.

\* ) Dosen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Darma Persada