

PENGARUH LAJU ALIRAN FLUIDA MASUK TERHADAP KAPASITAS PENUKAR PANAS JENIS PEMBULUH DAN KAWAT PADA KONVEKSI BEBAS

Moch. Ubab Kanzul Fikri

S1 Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
vicrykanzul@gmail.com

I Made Arsana

S1 Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
dearsana67@yahoo.com

Abstrak

Penukar panas jenis Pembuluh dan kawat yang terdiri atas pembuluh yang dibuat berlekuk – lekuk (*coil*) dan kawat yang di pasang pada kedua sisi pembuluh dalam arah normal. Penambahan kawat berfungsi untuk meningkatkan luas permukaan perpindahan panas dan selanjutnya akan memperbesar laju perpindahan panas. Kapasitas penukar panas akan dipengaruhi oleh laju aliran fluida masuk yang akan melewati penukar panas tersebut dalam keadaan konveksi bebas. Maka dari itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh laju aliran fluida masuk terhadap kapasitas penukar panas jenis pembuluh dan kawat pada konveksi bebas.

Penelitian experimental ini menggunakan sebuah penukar panas yang didesain dengan panjang kawat 445 mm, jarak antar kawat 7 mm, diameter kawat 1,2 mm, lebar kawat 431 mm, jarak antar tube 40 mm, diameter tube 5 mm, dan lebar tube 476 mm serta pembuluh dibuat dalam 12 belitan. Kemudian diuji pada alat eksperimen dengan menggunakan fluida kerja dalam pembuluh yaitu minyak (thermo 22) dan menempatkan thermocouple di sembilan titik lokasi pengukuran pada penukar panas. Untuk melihat pengaruh laju aliran fluida terhadap kapasitas penukar panas, dalam eksperimen dibuat tiga variasi laju aliran fluida masuk yaitu 0,006 kg/s, 0,005 kg/s dan 0,004 kg/s dengan suhu fluida masuk dijaga konstan yaitu pada suhu 70°C dan suhu ruangan 30°C, data yang diperoleh kemudian dianalisis secara deskriptif dengan pendekatan kualitatif. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium perpindahan panas Kampus ITS Surabaya. Sedangkan waktu yang dipergunakan dalam penelitian ini kurang lebih selama 8 bulan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa laju aliran fluida masuk berpengaruh terhadap kapasitas penukar panas, hal ini terbukti bahwa dengan laju aliran fluida yang tinggi yaitu 46 pph (0,006 kg/s) menghasilkan kapasitas penukar panas yang paling baik yaitu dengan nilai kapasitas penukar panas sebesar 41,2 watt pada keadaan konveksi bebas.

Kata kunci : Kapasitas penukar panas, Konveksi bebas, Fluida masuk

Abstract

Heat exchanger tubes and wires consisting of vessels made grooved - curves (*coil*) wire and mounted on both sides of the vessels in the normal direction. Increasing wire serves to increase the heat transfer surface area and will further increase the heat transfer rate. The capacity of the heat exchanger will be affected by the incoming fluid flow rate that will pass through the heat exchanger in a state of free convection. Therefore, the aim of this study was to determine how the effect of fluid flow rate enter the heat exchanger capacity vessels and wire in free convection.

This experimental study uses a heat exchanger which designed with wire length 445 mm, 7 mm wire spacing, wire diameter 1.2 mm, width 431 mm wire, 40 mm tube spacing, tube diameter of 5 mm, and a width of 476 mm tube and vessels made in 12 turns. Then tested on experimental device using a working fluid in the vessels of oil (thermo 22) and put in nine points thermocouple measurement location on the heat exchanger. To see the effect of fluid flow rate to the heat exchanger capacity, the experiment was made three variations of the incoming fluid flow rate is 0.006 kg / s, 0.005 kg / s and 0.004 kg / s with the incoming fluid temperature is kept constant at a temperature of 70°C and room temperature is 30°C, the data obtained and analyzed by descriptive qualitative approach. This research was conducted in the laboratory of heat transfer Campus ITS Surabaya. While the time spent in this penelitian for about 8 months.

The results of this study indicate that the incoming fluid flow rate affects the capacity of the heat exchanger, it is evident that the fluid flow rate as high as 46 pph or 0.006 kg / s generating capacity heat exchanger is the best heat exchanger with a capacity value of 41.2 watts on the state of free convection.

Keywords : Heat exchanger capability, Free convection, Fluid entry

PENDAHULUAN

Alat penukar panas merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk mempertukarkan energi dalam bentuk panas antara aliran fluida yang berbeda temperatur yang dapat terjadi melalui kontak langsung maupun tidak langsung (Arsana, 2001). Salah satu aplikasi dari prinsip pertukaran panas adalah pada penukar panas jenis pembuluh dan kawat (*Wire and tube exchanger*). Penukar panas ini termasuk jenis penukar panas permukaan diperluas (*Extended surface*) dimana kawat yang berfungsi sebagai *fin* dipasang lekat pada pembuluh yang mengalirkan fluida panas dengan tujuan untuk meningkatkan luas permukaan perpindahan panas dan selanjutnya akan memperbesar laju perpindahan panas (Arsana, 2001).

Penukar panas ini telah digunakan secara luas untuk membuang panas dari fluida panas yang mengalir melalui pembuluh baik sebagai kondensor pada alat system refrigerasi udara yang kecil (Lemari es), untuk mengkondensasi fluida yang mengalir pada pembuluh, atau diaplikasikan hanya sebagai pendingin (Cooler) fluida yang mengalir dalam pembuluh tanpa terjadi perubahan fase (Tanda and Tagliafico, 1997). Faktor yang mempengaruhi kapasitas penukar panas ini adalah geometri *fin* (jarak kawat), dimana *fin* itu adalah perluasan permukaan luar dari pembuluh, dan bahan dari *fin* tersebut juga berpengaruh terhadap kapasitas penukar panas.

Faktor lain yang mempengaruhi kapasitas penukar panas adalah faktor kondisi operasi berupa laju aliran fluida masuk. Pada dasarnya peningkatan laju aliran fluida akan mempengaruhi kapasitas penukar panas (heat exchanger) dalam mentransfer panas (membuang panas). Beranjak dari pemikiran di atas, bahwa faktor laju aliran fluida yang masuk juga mempengaruhi dalam upaya untuk meningkatkan kapasitas penukar panas jenis pembuluh dan kawat, maka penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui pada laju aliran berapakah penukar panas paling baik dalam mentransfer panas.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh laju aliran fluida masuk terhadap kapasitas penukar panas jenis pembuluh dan kawat.

Tujuan penelitian ini adalah:

- Mengetahui pengaruh laju aliran fluida masuk terhadap kapasitas penukar panas jenis pembuluh dan kawat pada konveksi bebas.
- Mengetahui laju aliran fluida masuk yang paling efisien dalam mentransfer panas.

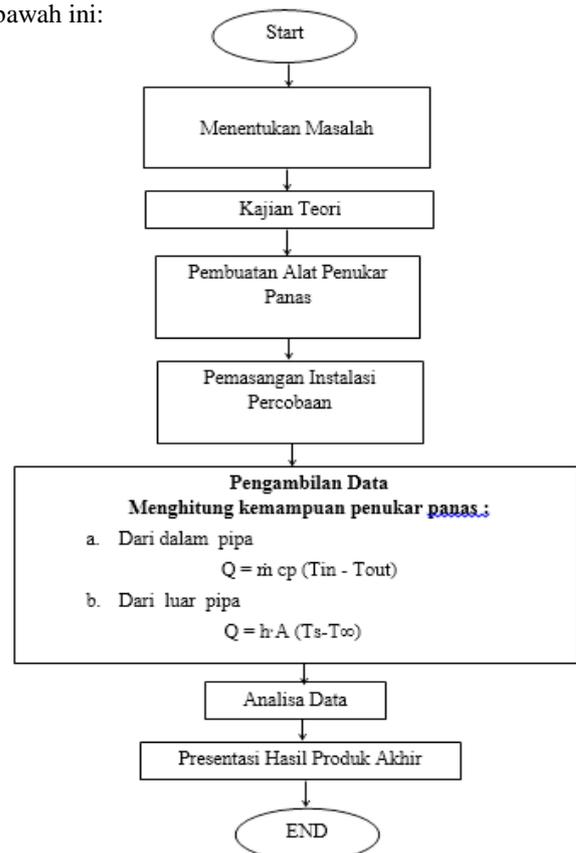
Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

- Sebagai masukan dalam perancangan penukar panas jenis pembuluh dan kawat.
- Menambah wacana keilmuan bidang perpindahan panas pada umumnya, dan penukar panas pada khususnya.

METODE

Rancangan Penelitian

Rancangan Penelitian atau tahap-tahap yang dilakukan dalam pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada skema dibawah ini:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tempat dan Waktu Penelitian

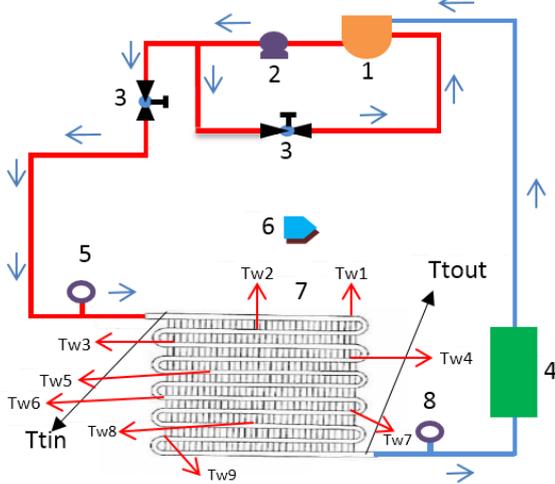
. Tempat penelitian adalah tempat yang digunakan untuk melaksanakan penelitian. Penelitian ini berlokasi di laboratorium perpindahan panas di Kampus ITS Surabaya, sedangkan waktu penelitian adalah rentang waktu yang digunakan oleh peneliti selama penelitian berlangsung, mulai dari tahap persiapan sampai pada penyusunan laporan. Adapun waktu yang di perlukan untuk penelitian sampai pengolahan data dan penyusunan laporan adalah selama 8 bulan

Jenis Penelitian

Penelitian yang kami lakukan adalah dengan menggunakan penelitian eksperimen, penelitian eksperimen yaitu dimana penelitian dilakukan secara sengaja oleh peneliti dengan cara memberikan treatment (perlakuan tertentu) terhadap subjek penelitian guna mendapatkan suatu kejadian atau keadaan yang akan diteliti, dan mencatat sekaligus menganalisa bagaimana pengaruhnya. Dalam hal ini, yaitu untuk mengetahui pengaruh laju aliran fluida yang masuk terhadap kapasitas penukar panas jenis pembuluh dan kawat.

Peralatan Eksperimen

Untuk mengetahui pengaruh laju aliran fluida yang masuk terhadap kapasitas penukar panas, maka disusun peralatan yang secara skematis disajikan dalam gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Skema instalasi pengujian

Keterangan gambar :

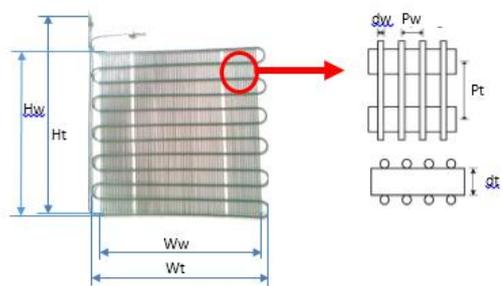
- | | |
|------------------------|----------------------|
| 1. Tangki Fluida Panas | 5. Pengukur Tekanan |
| 2. Pompa Fluida Panas | 6. Thermometer Ruang |
| 3. Katub | 7. Penukar Panas |
| 4. Flow meter | 8. Pengukur Tekanan |

Tw = thermocouple untuk kawat

Fungsi komponen :

- Tangki fluida panas, sebagai penampung dan memanaskan fluida sebelum dialirkan.
- Pompa fluida panas, untuk mensirkulasikan aliran fluida.
- Katup, untuk mengatur laju aliran massa (mass flow rate)
- Flow meter, untuk mengukur laju aliran massa fluida yang mengalir
- Pengukur tekanan, untuk mengetahui tekanan fluida yang masuk dalam pipa.
- Termometer, untuk mengukur temperatur ruangan (T_{∞})
- Alat penukar panas jenis pembuluh dan kawat (Heat Exchanger).
- Pengukur tekanan, untuk mengetahui tekanan fluida yang masuk dalam pipa

Rancangan Penukar Panas



Gambar 3. Rancangan penukar panas

Keterangan gambar :

- | | | |
|----|----------------------|----------|
| Ht | = Tinggi Tube (pipa) | = 515 mm |
| Hw | = Tinggi Kawat | = 445 mm |
| dw | = Diameter Kawat | = 1,2 mm |
| dt | = Diameter Tube | = 5 mm |
| Ww | = Lebar kawat | = 431 mm |

- W_t = Lebar *Tube* = 476 mm
 P_w = Jarak Antar Kawat = 7 mm
 P_t = Jarak Antar *Tube* = 40 mm

Teknik Pengumpulan Data

Untuk melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari laju aliran fluida masuk terhadap kapasitas penukar panas, dilakukan langkah-langkah percobaan sebagai berikut :

- Mempersiapkan semua peralatan yang diperlukan termasuk rancangan penukar panas jenis pembuluh dan kawat.
- Memasang peralatan dengan menggunakan penukar panas jenis pembuluh dan kawat.
- Minyak dimasukan ke dalam tangki thermostatic.
- Menghidupkan pompa untuk mengalirkan fluida dalam keadaan dingin dengan laju aliran tertentu untuk mengecek kebocoran, selanjutnya pompa dimatikan.
- Memanaskan minyak dengan menghidupkan pemanas pada tangki thermostatic.
- Pompa dihidupkan untuk mengalirkan fluida dalam keadaan panas.
- Mengatur temperatur fluida pada tangki thermostatic untuk memperoleh temperatur fluida masuk penukar panas ($T_{f,in}$) sebesar $70^{\circ}C$, dan mengatur laju aliran fluida pada flow meter dengan membuka dan menutup katup aliran fluida, selanjutnya dilakukan pengambilan data : Temperatur fluida penukar panas ($T_{f,out}$); Temperatur kawat rata-rata (T_w); Temperatur pembuluh rata-rata (T_t); Temperatur udara luar (T_{∞}). selanjutnya menghitung kapasitas penukar panas (Q).
- Melakukan langkah diatas sebanyak 3 kali dengan memvariasi tingkat laju aliran fluida yang masuk pada flow meter untuk memperoleh 3 titik kondisi operasi.

Teknik Analisis Data

Dalam penelitian ini, peneliti menganalisa data dengan menggunakan metode analisa deskriptif. Karena data-data bersifat kuantitatif yang berwujud angka-angka dari hasil pengambilan data, maka data tersebut disajikan dalam bentuk tabel kemudian diartikan dengan kalimat yang bersifat kualitatif.

Tujuan dari metode ini adalah untuk membuat deskripsi gambaran atau lukisan secara sistematis atau hubungan fenomena yang diselidiki berdasarkan data yang diperoleh dalam pengujian tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan dengan memvariasikan laju aliran fluida masuk, dengan menjaga temperatur fluida masuk ($T_{f, in}$) yang konstan yaitu $70^{\circ}C$ dan temperatur udara kamar $T_{\infty} = 30^{\circ}C$ dengan tekanan 1 atm. Pengambilan data dilakukan 3 kali untuk masing - masing variasi laju, dengan selang waktu 5 menit pada setiap pengambilan. Sehingga diperoleh data yang disajikan dalam tabel dibawah ini :

Tabel 1. Hasil pengambilan data

Variasi laju	46 pph = 0,006 kg/s			40 pph = 0,005 kg/s			35 pph = 0,004 kg/s		
Tw1	55	55	44	42	55	55	55	53	55
Tw2	58	58	47	45	57	57	57	54	57
Tw3	61	61	49	47	60	60	59	57	58
Tw4	56	55	44	43	55	55	54	52	54
Tw5	55	56	45	43	55	51	52	50	50
Tw6	46	45	45	44	41	45	37	37	37
Tw7	45	44	44	43	40	44	36	35	36
Tw8	39	38	39	37	35	38	32	32	33
Tw9	42	40	41	38	36	40	32	32	33
T_{in}	70	70	70	70	70	70	70	70	70
T_{out}	47	45	46	44	39	43	38	38	38

Menentukan propertis udara (fluida pendingin)

Mencari nilai propertis udara yang meliputi: Denstiy (ρ), Viskositas kinematic (ν), Prandtl (pr), Konduktifitas panas (K), dan Difusivitas panas (α) pada setiap T_{out} dengan cara melakukan interpolasi, kemudian nilai – nilai tersebut akan digunakan untuk menanalisis Bilangan Grasoft (Gr), Bilangan Rayleigh (Ra), dan Angka Nusselt (Nu).

Interpolasi pada (Tout) 46°C, 42°C, 38°C dengan berdasar $T_f = \frac{T_{out} + T_{\infty}}{2}$. Dan untuk menyederhanakan penghitungan, disajikan tabel seperti dibawah ini untuk semua interpolasi.

Tout = 38°C T∞ = 30°C

$T_f = \frac{T_{out} + T_{\infty}}{2} = \frac{38 + 30}{2} = 307 \text{ K}$

Tabel 2. Hasil interpolasi untuk Tout = 38°C

Temperatu r	V x 10 ⁻⁶ m ² /s	α x 10 ⁻⁶ m ² / s	k x 10 ⁻³ w/m. k	Pr	P Kg/m ³
300k	16,1 4	22,7	26,8	0,71 1	1,284
307k	16,4 9	23,3	27,1	0,71 3	1,266
350k	21,2 3	29,0	29,6	0,73 3	1,100

Tout = 420C T∞ = 300C

Tf = 309 K

Tabel 3. Hasil interpolasi untuk Tout = 42°C

Temperatu r	V x 10 ⁻⁶ m ² /s	α x 10 ⁻⁶ m ² / s	k x 10 ⁻³ w/m. k	Pr	P Kg/m ³
300k	16,1 4	22,7	26,8	0,71 1	1,284
309k	17,0 6	23,8	27,3	0,71 5	1,251
350k	21,2 3	29,0	29,6	0,73 3	1,100

Tout = 460C T∞ = 300C

Tf = 311 K

Tabel 4. Hasil Interpolasi untuk Tout = 46°C.

Temperatu r	V x 10 ⁻⁶ m ² /s	α x 10 ⁻⁶ m ² / s	k x 10 ⁻³ w/m. k	Pr	P Kg/m ³
300k	16,1 4	22,7	26,8	0,71 1	1,284
311k	17,2 6	24,1	27,4	0,71 6	1,244
350k	21,2 3	29,0	29,6	0,73 3	1,100

(Sumber: Fundamentals of heat and mass transfer)

Mengevaluasi Bilangan Grasoft (Gr), Bilangan Rayleigh (Ra), dan Angka Nusselt (Nu).

Untuk mencari nilai – nilai tersebut, maka harus memasukkan angka hasil interpolasi diatas untuk masing – masing Tout kedalam rumus sebagai berikut :

• **Pada Tout 46°C**

Di ketahui : Tout = 46°C = 319K,

T∞ = 30°C = 303K,

Tf = 311K

Pada Tabel 4 (hasil interpolasi):

V = 17,26 X 10⁻⁶ m²/s

α = 24,1X 10⁻⁶ m²/s

k = 27,4 X 10⁻³ w/m.k

Pr = 0,716

ρ = 1,244 kg/m³

β = 1/Tf = 1/311 = 3,21X 10⁻³ k⁻¹

$T_s = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} = \frac{70 + 46}{2} = 58^{\circ}\text{C} = 331\text{K}$

Di cari Gr, Ra, dan Nu?

➤ Gr = $\frac{g \cdot \beta (T_s - T_{\infty}) L^3}{\nu^2}$
 $= \frac{7761,92062 \times 10^{-5}}{297,9076 \times 10^{-12}}$
 $= 2,6055 \times 10^8$

➤ Ra = $\frac{g \cdot \beta (T_s - T_{\infty}) L^3}{\alpha \cdot \nu}$
 $= \frac{7761,92062 \times 10^{-5}}{415,966 \times 10^{-12}}$

= 186,6 X 10⁶
 ➤ NU = 73,70

• **Pada Tout 42°C**

Di ketahui : Tout = 42°C = 315K,

T∞ = 30°C = 303K,

Tf = 309K

Pada tabel 3 (hasil interpolasi):

V = 17,06 X 10⁻⁶ m²/s

α = 23,8 X 10⁻⁶ m²/s

k = 27,3 X 10⁻³ w/m.k

$$Pr = 0,715$$

$$\rho = 2,51 \text{ kg/m}^3$$

$$\beta = 1/T = 1/309 = 3,24 \times 10^{-3} \text{ k}^{-1}$$

$$T_s = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} = \frac{70 + 42}{2} = 56^\circ\text{C} = 329\text{K}$$

$$\begin{aligned} \text{Ra} &= \frac{g \cdot \beta (T_s - T_\infty) L^3}{\alpha \cdot \nu} \\ &= \frac{6098,65192 \times 10^{-5}}{384,217 \times 10^{-12}} \\ &= 15,8729362 \times 10^7 \end{aligned}$$

$$= 158,7 \times 10^6$$

$$\text{Nu} = 70,16$$

Di cari Gr, Ra, dan Nu?

$$\text{Gr} = \frac{g \cdot \beta (T_s - T_\infty) L^3}{\nu^2}$$

$$= \frac{7274,85751 \times 10^{-5}}{291,0436 \times 10^{-12}}$$

$$= 24,9957653 \times 10^7$$

$$= 2,499 \times 10^8$$

$$\text{Ra} = \frac{g \cdot \beta (T_s - T_\infty) L^3}{\alpha \cdot \nu}$$

$$= \frac{7274,85751 \times 10^{-5}}{406,026 \times 10^{-12}}$$

$$= 17,9172208 \times 10^7$$

$$= 179,2 \times 10^6$$

$$\text{Nu} = 72,79$$

• Pada Tout 38°C

Di ketahui : Tout = 38°C = 311K,

$$T_\infty = 30^\circ\text{C} = 303\text{K},$$

$$T_f = 307\text{K}$$

Pada tabel 2 (hasil interpolasi):

$$V = 16,49 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\alpha = 23,3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 27,1 \times 10^{-3} \text{ w/m} \cdot \text{k}$$

$$Pr = 0,713$$

$$\rho = 1,266 \text{ kg/m}^3$$

$$\beta = 1/T_f = 1/307 = 3,26 \times 10^{-3} \text{ k}^{-1}$$

$$T_s = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} = \frac{70 + 38}{2} = 54^\circ\text{C} = 327\text{K}$$

Di cari Gr, Ra, dan Nu?

$$\text{Gr} = \frac{g \cdot \beta (T_s - T_\infty) L^3}{\nu^2}$$

$$= 22,4281027 \times 10^7$$

$$= 2,243 \times 10^8$$

Mengevaluasi nilai koefisien perpindahan panas (h)

Langkah selanjutnya yaitu mencari nilai koefisien perpindahan panas (h) dengan menggunakan rumus

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L} \dots \dots \dots (1)$$

• Koefisien perpindahan panas pada Tout 46°C

$$\begin{aligned} h &= \frac{Nu \cdot k}{L} \\ &= 4537,932584 \times 10^{-3} \text{ w/m}^2 \\ &= 4,538 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k} \end{aligned}$$

• Koefisien perpindahan panas pada Tout 42°C

$$\begin{aligned} h &= \frac{Nu \cdot k}{L} \\ &= 4465,54382 \times 10^{-3} \text{ w/m}^2 \cdot \text{k} \\ &= 4,466 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k} \end{aligned}$$

• Koefisien perpindahan panas pada Tout 38°C

$$\begin{aligned} h &= \frac{Nu \cdot k}{L} \\ &= 4272,665169 \times 10^{-3} \text{ w/m}^2 \cdot \text{k} \\ &= 4,273 \text{ w/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

Mencari Luasan Permukaan Penukar Panas (A)

Untuk mencari luas permukaan dari penukar panas, yaitu dengan cara menghitung luasan permukaan tube dan luasan permukaan kawat terlebih dahulu, yang kemudian menjumlahkan kedua hasilnya.

$$\begin{aligned} A_t &= \{ \pi \cdot d \cdot (L - \sum \text{singgungan}) \} \\ &= 22/7 \times 4,8 \text{ mm} (6416 \text{ mm} - 1464\text{mm}) \\ &= 15,085714286 \text{ mm} \times 4952 \text{ mm} \\ &= 74704,457144 \text{ mm}^2 = 0,075 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_w &= \{\pi \cdot d \cdot (L - \sum \text{singgungan})\} \times \sum \text{kawat} \\
 &= \{22/7 \times 1,5\text{mm} (445\text{mm} - 12\text{mm})\} \times 122 \\
 &= \{(4,7142857143 \text{ mm} \times 433 \text{ mm})\} \times 122 \\
 &= (2041,2857143 \text{ mm}^2) \times 122 \\
 &= 249036,85715 \text{ mm}^2 \\
 &= 0,249 \text{ m}^2 \\
 A &= A_t + A_w \\
 &= 0,075 \text{ m}^2 + 0,249 \text{ m}^2 \\
 &= 0,324 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Menghitung kapasitas penukar panas (Q)

Setelah semua nilai diatas didapat, langkah selanjutnya menghitung kapasitas penukar panas (Q), untuk mengetahui pada laju aliran berapakah penukar panas paling baik dalam membuang panas (mentransfer panas). Adapun rumus untuk mencarinya adalah

$$Q = h \cdot A \cdot (\Delta t) \dots\dots\dots (2)$$

- **Kapasitas penukar panas pada laju aliran fluida 46 pph (Tout 46°C)**

$$\begin{aligned}
 Q &= h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) \\
 &= 4,538 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k} \times 0,324 \text{ m}^2 (28\text{K}) \\
 &= 41,168736 \text{ w}
 \end{aligned}$$

- **Kapasitas penukar panas pada laju aliran fluida 40 pph (Tout 42°C)**

$$\begin{aligned}
 Q &= h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) \\
 &= 4,466 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k} \times 0,324 \text{ m}^2 (26\text{K}) \\
 &= 37,621584 \text{ w}
 \end{aligned}$$

- **Kapasitas penukar panas pada laju aliran fluida 35 pph (Tout 38°C)**

$$\begin{aligned}
 Q &= h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) \\
 &= 4,273 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k} \times 0,324 \text{ m}^2 (24\text{K}) \\
 &= 33,22684 \text{ w}
 \end{aligned}$$

- **Menghitung laju panas yang dikeluarkan (Q)**

Langkah selanjutnya menghitung laju panas yang dilepaskan penukar panas untuk mengetahui pada laju aliran berapakah penukar panas paling baik dalam membuang panas (mentransfer panas). Adapun rumus untuk mencarinya adalah : $Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta t \dots\dots\dots (3)$

- **Laju panas yang dilepaskan penukar panas pada laju aliran fluida 46 pph (Tout 46°C)**

$$\begin{aligned}
 Q &= \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta t \\
 &= 0,006 \text{ kg/s} \cdot 2000 \text{ j/kg K} \cdot 24\text{K} \\
 &= 288 \text{ j/s}
 \end{aligned}$$

- **Laju panas yang dilepaskan penukar panas pada laju aliran fluida 40 pph (Tout 42°C)**

$$\begin{aligned}
 Q &= \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta t \\
 &= 0,005 \text{ kg/s} \cdot 2000 \text{ j/kg K} \cdot 28\text{K} \\
 &= 280 \text{ j/s}
 \end{aligned}$$

- **Laju panas yang dilepaskan penukar panas pada laju aliran fluida 35 pph (Tout 38°C)**

$$\begin{aligned}
 Q &= \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta t \\
 &= 0,004 \text{ kg/s} \cdot 2000 \text{ j/kg K} \cdot 32\text{K} \\
 &= 256 \text{ j/s}
 \end{aligned}$$

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengambilan data yang dilakukan dengan mengambil 3 variasi laju aliran fluida dan temperatur fluida masuk dikondisikan tetap sebesar 70°C, didapatkan hasil sebagai berikut : Pada variasi laju 46 pph yaitu ketika katup terbuka penuh didapatkan temperatur fluida keluar sebesar 46°C, selanjutnya katup di putar sebesar 30° untuk mengurangi laju aliran fluida sehingga menjadi 40 pph didapatkan temperatur fluida keluar sebesar 42°C, lalu variasi selanjutnya dengan memutar katup sebesar 30° lagi untuk mengurangi laju aliran fluida menjadi 35 pph diperoleh temperatur fluida keluar sebesar 38°C.

Untuk mengetahui kapasitas penukar panas dalam keadaan konveksi bebas, digunakan rumus $Q = h \cdot A \cdot \Delta t$. Dimana dalam perhitungan didapatkan hasil, untuk laju aliran 46 pph (Laju tinggi) akan didapat kapasitas penukar panas sebesar 41,2 watt, sedangkan pada laju aliran fluida 40 pph (Laju sedang) kapasitas penukar panasnya sebesar 37,6 watt, dan pada laju aliran fluida 35 pph (Laju rendah) kapasitas penukar panasnya sebesar 33,2 watt. Dari sini maka dapat di tarik kesimpulan bahwa :

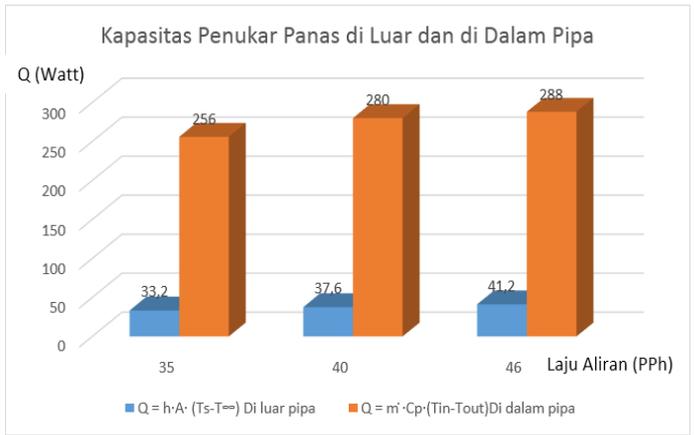
- Jika laju aliran tinggi, maka kapasitas penukar panas (Q) akan tinggi

- Jika laju aliran rendah, maka kapasitas penukar panas (Q) akan rendah pula.

Hal ini disebabkan karena fluida panas (Thermo 22) yang melewati penukar panas dapat langsung menukarkan panasnya ke udara luar (udara pendingin), jadi semakin banyak fluida panas yang melewati penukar panas (Laju aliran tinggi) maka kapasitas penukar panasnya akan semakin baik. Begitu juga sebaliknya jika laju aliran fluida rendah, maka jumlah fluida panas yang melewati penukar panas lebih sedikit, sehingga proses terjadinya pertukaran panas dengan fluida luar tidak bisa optimal, akibatnya kapasitas penukar panasnya menjadi rendah.

Berdasarkan analisis perpindahan panas pada sisi dalam (dalam pembuluh), untuk laju fluida masuk 35 pph (laju rendah) diperoleh kapasitas penukar panas sebesar 256 j/s, selanjutnya dengan dinaikkan menjadi 40 pph (laju sedang) dihasilkan kapasitas penukar panas sebesar 280 j/s, dan terakhir dengan laju fluida masuk sebesar 46 pph (laju tertinggi) didapatkan kapasitas penukar panas sebesar 288 j/s. Hal ini sesuai dengan aplikasi rumus $Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta t$, dimana Q akan membesar jika laju aliran ditingkatkan.

Demikian pula dengan berdasarkan analisis perpindahan panas pada sisi luar permukaan penukar panas dengan cara konveksi bebas, akan terjadi kenaikan kapasitas penukar panas berdasarkan kenaikan laju aliran fluida masuk seperti terlihat pada grafik berikut.

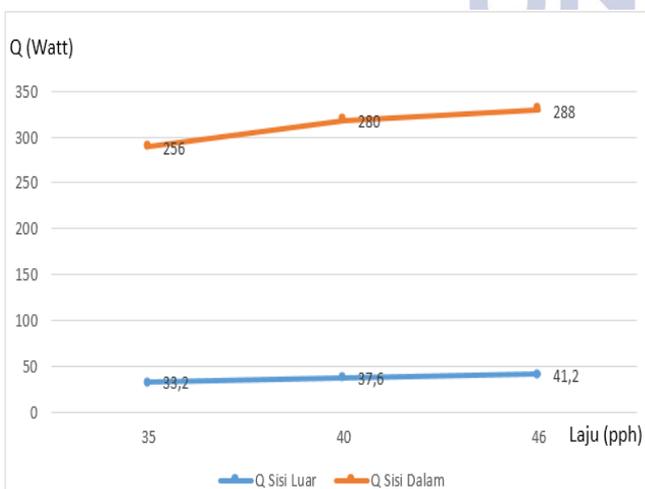


Gambar 4. Diagram batang hubungan laju aliran fluida dengan kapasitas penukar panas

Berdasarkan gambar 4 di atas juga bisa diamati perbandingan antara Q dalam (analisis berdasarkan *balance* energi di dalam pembuluh) dan Q luar (analisis berdasarkan perpindahan panas sisi luar secara konveksi bebas). Nilai rata – rata Q dalam lebih tinggi dari pada Q luar pada beberapa laju aliran fluida masuk. Hal ini disebabkan karena Q dalam merupakan Q ideal berdasarkan konsep kesetimbangan energi di dalam pembuluh, sedangkan Q luar merupakan Q yang lebih *realistik* berdasarkan pengukuran temperatur pada permukaan penukar panas yaitu temperatur permukaan pembuluh (T_t) dan temperatur permukaan kawat (T_w), serta adanya beberapa kerugian (*looses*) seperti adanya tahan konduksi.

KUTIPAN DAN ACUAN

Alat penukar panas merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk mempertukarkan energi dalam bentuk panas antara aliran fluida yang berbeda temperatur yang dapat terjadi melalui kontak langsung maupun tidak langsung (Pitts and Sissom, 1987). Salah satu aplikasi dari prinsip pertukaran panas adalah pada penukar panas jenis pembuluh dan kawat (*Wire and tube exchanger*). Penukar panas ini termasuk jenis penukar panas permukaan diperluas (*Extended surface*) dimana kawat yang berfungsi sebagai *fin* dipasang lekat pada pembuluh yang mengalirkan fluida panas dengan tujuan untuk meningkatkan luas permukaan perpindahan panas dan selanjutnya akan memperbesar laju perpindahan panas.



Grafik 1. Hubungan laju aliran terhadap kapasitas penukar panas

Perpindahan panas merupakan peristiwa mengalirnya energi dari suatu tempat ketempat yang lain sebagai akibat perbedaan temperatur antara tempat-tempat tersebut. Terdapat 3 macam cara perpindahan panas yaitu, konduksi (Hantaran), konveksi (Singgungan), dan radiasi (Pancaran). (Frenk Kreith dan Arka Prijono 1991:4). Sering kali pada suatu keadaan, ketiga jenis aliran panas itu terjadi serempak tetapi pada umumnya yang satu akan lebih dominan dibandingkan dengan yang lain.

I Made Arsana (2001) meneliti tipe kondensor pembuluh dan kawat standar dengan melakukan perubahan jarak spasi sirip/kawat yang menghasilkan jarak spasi optimal dari sirip/kawat. Ada 3 jarak spasi kawat yang digunakan, yaitu $Pw/Lw = 0,015$; $0,029$; dan $0,044$.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan data hasil penelitian dan analisa yang dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal penting yang menyangkut kapasitas penukar panas jenis pembuluh dan kawat bahwa :

- Penukar panas (Heat Exchanger) akan bekerja maksimal pada laju aliran fluida yang tinggi, yaitu 46 pph atau sama dengan $0,006 \text{ kg/s}$ dengan nilai kapasitas membuang panas sebesar 288 j/s pada rumus $Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{in} - T_{out})$ dan kapasitas penukar panas sebesar $26,5 \text{ watt}$ pada rumus $Q = h \cdot A \cdot (T_s - T_{\infty})$. jadi semakin banyak fluida panas yang melewati penukar panas (Laju aliran tinggi) maka kapasitas penukar panas *heat exchanger* akan semakin baik dengan cara konveksi bebas.

Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini, jika dilakukan penelitian yang sama dengan penelitian ini, ada beberapa kelemahan. Untuk mengatasi kelemahan tersebut peneliti menyarankan:

- Pada peralatan eksperimen dibutuhkan pompa fluida yang berdaya lebih besar. Karena dengan pompa yang berdaya besar, peneliti dapat

mengambil variasi laju aliran fluida pada rentang yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Holman, J.P., (1997). Perpindahan Kalor, Edisi Keenam, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Arsana, I Made. (2001). "Study eksperimental pengaruh geometri kawat terhadap optimal penukar panas jenis pembuluh dan kawat pada konveksi bebas", Tesis. Surabaya : ITS
- Incropera. Frank.P.2007. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. United State of Amerika : Amerika
- Kreith, F., dan Prijono, A., 1986, Prinsip Prinsip Perpindahan Panas, Edisi Ketiga, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Pitts, D.R., dan Sissom L.E., 1987, Perpindahan Kalor, penerbit Erlangga, Jakarta.
- Setya, Yustin W. (2000). "Study eksperimental pengaruh penggunaan oil cooler modifikasi terhadap penurunan suhu mesin pada sepeda motor honda GL Maxtahun 2000 berkapasitas 125cc". Surabaya: Unesa.
- <http://www.google.co.id/search?q=proses+perpindahan+panas&ie=utf-8&oe=utf8&aq=t&rls=org.mozilla:en-US:official&client=firefox-a>