

# PENGARUH BENTUK PERMUKAAN TERHADAP KARAKTERISTIK PENUKAR KALOR TIPE PLAT

Dedison Gasni, ME. (Ketua)  
Rima Ariyanti (Anggota)  
Ir. Adly Havendri, MSc. (Pembimbing)

## ABSTRAK

Bentuk permukaan dari bidang perpindahan panas dapat mempengaruhi perpindahan energi yang terjadi. Untuk melihat fenomena dari kasus tersebut, dibuat alat uji penukar kalor tipe plat dan rangka dengan tiga konfigurasi permukaan plat yang berbeda. Percobaan dilakukan untuk masing-masing penukar kalor, dengan air sebagai fluida panas dan dingin.

Parameter yang mempengaruhi dalam pengujian ini, selain bentuk permukaan plat adalah debit aliran fluida. Sedangkan parameter-parameter yang diamati adalah temperatur fluida panas dan dingin pada saat masuk dan keluar penukar kalor, dan perubahan tekanan yang terjadi pada penukar kalor.

Dari pengujian diperoleh hasil bahwa secara umum perpindahan panas sedikit lebih tinggi dengan bentuk permukaan sudut  $60^\circ$ , sedangkan penurunan tekanan semakin besar terjadi. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa laju aliran massa fluida berpengaruh pada perpindahan panas yang terjadi.

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Penukar kalor telah lama digunakan dalam dunia industri. Seiring dengan perkembangan zaman dan semakin kompleksnya kebutuhan, maka pengembangan banyak dilakukan untuk mendapatkan penukar kalor dengan efektivitas yang tinggi dan ukuran yang lebih kecil.

Untuk mengetahui pengaruh dari konfigurasi bidang-bidang pertukaran panas terhadap perpindahan energi dalam bentuk kalor, maka dirancang dan dibuatlah suatu alat uji penukar kalor tipe plat dan rangka (*plate and frame*) untuk penelitian tersebut.

### 1.2. Tujuan Penelitian

1. Pembuatan alat uji penukar kalor tipe plat dan rangka dengan tiga buah konfigurasi plat.
2. Mencari karakteristik alat uji seperti perpindahan panas, efektivitas dan penurunan tekanan.

### 1.3. Batasan Masalah

1. Penukar kalor bekerja dalam kondisi tunak.

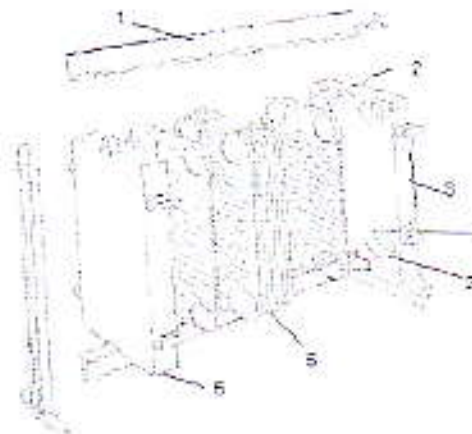
2. Temperatur dan kecepatan fluida seragam.
3. Kerugian panas diabaikan.
4. Penukar kalor mempunyai tiga jenis bentuk permukaan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Penukar kalor (*heat exchanger*) adalah alat yang digunakan untuk mengubah temperatur atau kondisi fluida dengan cara mempertukarkan kalor antara dua fluida yang berbeda temperatur. Bidang-bidang perpindahan panas untuk penukar kalor tak langsung dapat berupa dinding pipa dan juga sirip-sirip (*fin*) yang dipasangkan pada pipa atau berupa dinding datar seperti tipe plat dan rangka.

### 2.1. Penukar Kalor Plat dan Rangka

Penukar kalor plat dan rangka terdiri dari plat logam yang disarukan dalam suatu bingkai dengan bagian tepi dipasang *gasket* kompresibel sehingga membentuk suatu rangkaian yang rapat melalui daerah pemompaan fluida, seperti ditampilkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Susunan penukar kalor plat dan rangka  
 (1) Batang penggerak (2) Lubang saluran fluida (3) Rangka tetap  
 (4) Letak baut penguat (5) Plat-plat dengan 4 lubang (6) Plat penekan

Fluida dingin dan fluida panas mengalir dalam saluran yang berbeda (tipe tak bercampur) dan panas dipindahkan melalui plat yang tipis.

### 2.2. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

Koefisien perpindahan panas memiliki pengaruh yang besar dalam terjadinya proses konduksi, konveksi dan radiasi. Perpindahan panas yang paling dominan dalam penukar kalor adalah konveksi. Dalam perhitungan laju perpindahan panas dalam suatu penukar kalor terdapat suatu konstanta perpindahan panas yang merupakan sifat penukar panas itu sendiri yang tergantung dengan bentuk fisik penukar kalor dan perpindahan energi di penukar kalor tersebut. Konstanta itu lazim disebut dengan koefisien perpindahan panas menyeluruh ( $U$ ). Laju perpindahan panas dalam penukar kalor akan memenuhi persamaan :



$$Q = U.A.\Delta T_{lm} \quad (2-1)$$

### 2.3. Metoda LMTD

LMTD (*Logarithmic Mean Temperature Difference*) adalah hubungan antara beda temperatur logaritmik dari kedua fluida kerja, hubungannya dengan laju perpindahan panas dinyatakan dalam persamaan 2-1 sedangkan LMTD itu sendiri ditunjukkan pada persamaan 2-2 :

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_o - \Delta T_i}{\ln(\Delta T_o / \Delta T_i)} \quad (2-2)$$

Metode LMTD ini digunakan untuk jenis penukar kalor lintasan tunggal dan tidak bersilangan sedangkan untuk lintasan ganda dan bersilangan beda temperatur efektif antara fluida panas dan fluida dingin diperoleh dengan menambahkan faktor koreksi (F).

### 2.4. Efektivitas

Efektivitas penukar kalor didefinisikan sebagai perbandingan antara perpindahan kalor nyata dengan perpindahan kalor maksimum yang mungkin terjadi pada penukar kalor. Secara matematis dapat ditulis :

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{\text{perpindahan kalor nyata}}{\text{perpindahan kalor maks yang mungkin}} \\ \varepsilon &= \frac{q}{q_{maks}} \end{aligned} \quad (2-3)$$

Perpindahan kalor maksimum hanya mungkin terjadi dan diperoleh dari fluida yang mempunyai beda temperatur maksimum atau fluida yang mempunyai laju aliran massa minimum ( $\dot{m} c_{p, \min}$ ). Fluida tersebut mungkin pada fluida yang panas atau fluida yang dingin, tergantung pada laju aliran massa dan panas jenis, dan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$q_{maks} = (\dot{m} c_p)_{\min} (T_{h,m} - T_{c,m}) \quad (2-4)$$

Harga perpindahan kalor nyata adalah :

$$q = \varepsilon (\dot{m} c_p)_{\min} (T_{h,m} - T_{c,m}) \quad (2-5)$$

### 2.4. Faktor Gesekan

Fluida yang mengalir dengan kecepatan rata-rata  $u_m$  melewati tabung silinder dengan diameter dalam D dan panjang L akan mengalami penurunan tekanan  $\Delta P$ . Hubungannya dengan faktor gesekan f adalah :

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{\rho u_m^2}{2} \quad (2-6)$$

Diameter tabung  $D$  pada persamaan 2-6 digantikan dengan diameter hidrolis  $D_h$  pada persamaan 2-7 untuk aliran fluida yang melewati diameter saluran yang tidak silindris, sehingga :

$$\Delta P = f \frac{L}{D_h} \frac{\rho u_m^2}{2} \quad (2-7)$$

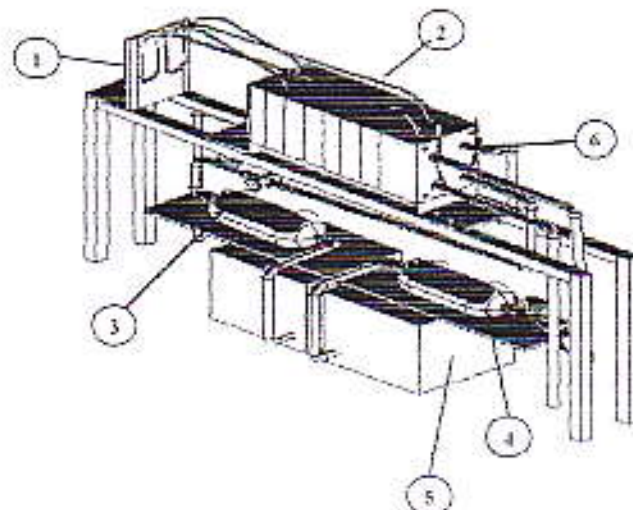
dimana :  $D_h = \frac{4A_c}{P}$

$A_c$  = Luas permukaan melintang terhadap aliran  
 $P$  = Keliling bidang kontak perpindahan panas

### 3. METODOLOGI

#### 3.1. Instalasi Pengujian

Susunan instalasi pengujian yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Keterangan :

- |                    |                            |
|--------------------|----------------------------|
| 1. Manometer       | 4. Pompa Air Dingin        |
| 2. Penukar Kalor   | 5. Reservoir               |
| 3. Pompa Air Panas | 6. Rangka ( <i>Frame</i> ) |

Gambar 3.1. Skema alat uji

#### 3.1.1. Pompa Dan Perlengkapannya

##### A. Pompa

Pompa dipakai untuk memompakan air dari reservoir ke penukar kalor. Pada instalasi digunakan dua buah pompa masing-masing untuk memompakan air panas dan air dingin.

##### B. Katup

Katup berfungsi untuk mengatur debit/laju aliran masuk dengan cara memutar kepala katup sesuai dengan kebutuhan. Katup yang dipakai ada 2 buah yang dipasang pada saluran air masuk.

### C. Wadah Penampung (*Reservoir*)

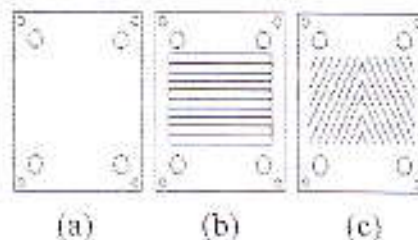
*Reservoir* berfungsi untuk penyedia dan penampung air. *Reservoir* dalam instalasi pengujian ini ada 2 buah masing-masing untuk air panas dan air dingin.

### D. Pemanas (*Heater*)

*Heater* digunakan untuk menaikkan temperatur air di dalam *reservoir*.

#### 3.1.2. Penukar Kalor

Pada Gambar 3.2. ditampilkan bentuk plat Aluminium yang digunakan sebagai bidang kontak penukar kalor.



Gambar 3.2. Bentuk plat pengujian. (a) plat datar  
(b) plat sudut  $180^\circ$  (c) plat sudut  $60^\circ$

Perangkat penukar kalor juga dilengkapi dengan gasket yang terbuat dari bahan karet dan berfungsi untuk :

- Menghindari kebocoran fluida
- Mengatur arah aliran fluida kerja di dalam penukar panas.

Bentuk gasket yang digunakan dalam pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Bentuk gasket alat uji

#### 3.1.3. Alat Ukur

Beberapa parameter yang diukur dalam pengujian ini adalah :

- Temperatur fluida
- Beda tekanan fluida masuk dan keluar
- Debit air yang dibutuhkan

##### A. Termometer

Termometer sebagai alat ukur temperatur dipasang pada saluran air masuk dan keluar untuk masing-masing fluida. Termometer yang digunakan adalah termometer dengan skala  $0 - 100^\circ\text{C}$ .



## B. Manometer

Beda tekanan antara aliran air yang masuk dan keluar penukar kalor dapat diukur dengan menggunakan manometer air raksa.

## C. Flowmeter

Volume fluida kerja yang masuk ke penukar kalor dapat diukur dengan menggunakan *flowmeter*.

## D. Stopwatch

*Stopwatch* digunakan untuk menghitung waktu yang diperlukan untuk tiap satuan volume fluida kerja.

### 3.2. Asumsi-Asumsi

Beberapa asumsi yang dipakai dalam pengujian ini adalah :

1. Penukar kalot beroperasi pada kondisi tunak.
2. Temperatur dan kecepatan fluida seragam.
3. Kerugian panas diabaikan.
4. Tidak ada kebocoran pada instalasi pengujian.

### 3.3. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mendapatkan perbandingan karakteristik perpindahan panas antara 3 bentuk plat. Karakteristik yang akan ditinjau perpindahan panas, penurunan tekanan dan efektivitas.

Prosedur pengujiannya :

1. Air pada salah satu *reservoir* dipanaskan hingga temperatur tertentu dengan menggunakan *heater*.
2. Air panas dan air dingin akan dipompakan secara bersamaan.
3. Debit aliran diperoleh dengan cara membagi volume tertentu yang ditunjukkan oleh *flowmeter* dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai volume tersebut.
4. Temperatur dan beda tekanan diukur pada saat bersamaan.
5. Lakukan beberapa kali pengujian untuk debit aliran yang berbeda.

#### Rumus yang digunakan :

Perpindahan panas yang terjadi pada penukar kalor dapat dihitung dengan metode-metode :

1. Laju massa aliran per-saluran untuk masing-masing fluida kerja diperoleh dengan persamaan :

$$m = \frac{2M}{N+1}, \quad M = Q \rho \quad (3-1)$$

- dimana:  $Q$  = Debit aliran fluida kerja ( $m^3/s$ )  
 $N$  = Banyaknya plat yang digunakan  
 $\rho$  = massa jenis fluida kerja yang dilihat pada tabel sifat fisik untuk temperatur *bulk* ( $kg/m^3$ )

2. Kecepatan aliran :

$$u = \frac{\dot{m}}{\rho S}, \quad S = bW \quad (3-2)$$

dimana :  $S$  = luas permukaan melintang saluran  
 $b$  = jarak antar plat yang berdekatan  
 $W$  = lebar plat

3. Bilangan *Reynolds* diperoleh dari persamaan :

$$Re = \frac{uD_p}{\nu}, \quad D_h = 2b \quad (3-3)$$

dimana:  $\nu$  = viskositas fluida

4. Koefisien perpindahan panas dapat diperoleh dari metode *Raju dan Bansal* (untuk aliran laminar):

$$h = 0.74 c_p G Re^{-0.62} Pr^{-2/3} \quad (3-4)$$

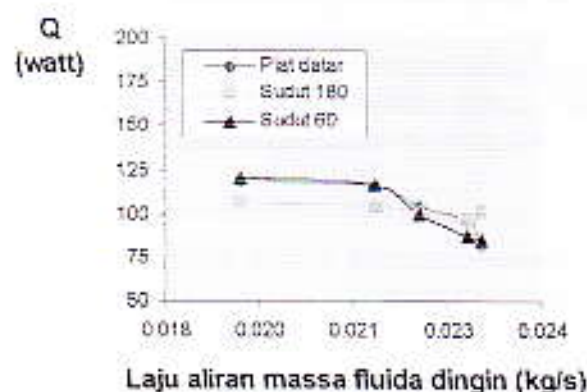
5. Setelah diperoleh nilai koefisien perpindahan panas fluida panas dan dingin maka nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh diperoleh dengan persamaan :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_h} + \frac{1}{h_c} \quad (3-5)$$

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Perpindahan Panas pada Penukar Kalor

Pada Gambar 4.1, ditampilkan grafik pengaruh laju aliran massa fluida terhadap perpindahan panas masing-masing plat. Kecenderungan yang terlihat adalah semakin besar laju aliran massa fluida dingin maka perpindahan panas yang terjadi justru akan berkurang.



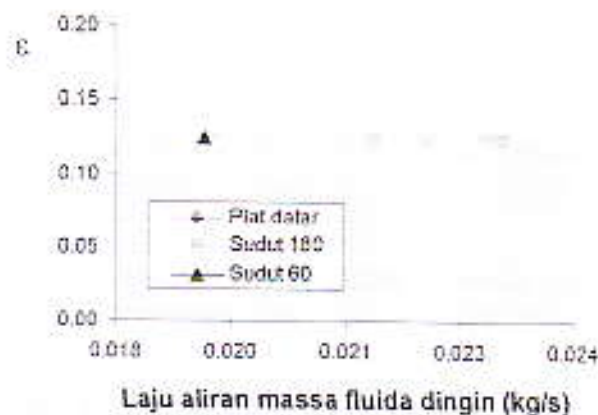
Gambar 4.1. Perpindahan panas pada masing-masing plat terhadap laju aliran massa fluida dingin

Laju aliran massa fluida panas yang dipakai pada pengujian ini diusahakan dalam nilai yang konstan. Penurunan laju energi yang dipindahkan disebabkan oleh laju aliran fluida dingin yang semakin naik tidak memberikan perubahan temperatur yang cukup berarti pada penukar kalor. Hal ini dapat dijelaskan bahwa dengan semakin tinggi laju aliran massa fluida, maka persentuhan dengan bidang kontak semakin singkat dan secara tak langsung menurunkan kemampuan untuk memindahkan energi.

Dari gambar juga terlihat bahwa untuk laju aliran massa fluida dingin di bawah 0,022 kg/s, penukar kalor dengan sudut 60° sedikit lebih baik dibanding dengan plat datar dan sudut 180°.

#### 4.2. Efektivitas Penukar Kalor

Efektivitas menyatakan perbandingan nilai perpindahan panas nyata dengan perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi pada penukar kalor. Nilai efektivitas menentukan kemampuan alat untuk melaksanakan fungsinya sehingga dengan nilai efektivitas yang tinggi berarti semakin besar pula perpindahan panas yang terjadi dari perkiraan nilai energi maksimum yang mampu dipindahkan oleh alat tersebut.



Gambar 4.2. Efektivitas pada masing-masing plat

Pada Gambar 4.2, diperlihatkan kecenderungan yang konstan untuk masing-masing plat. Hal ini terjadi karena perpindahan panas maksimum mempunyai kecenderungan yang sama dengan perpindahan panas nyata.

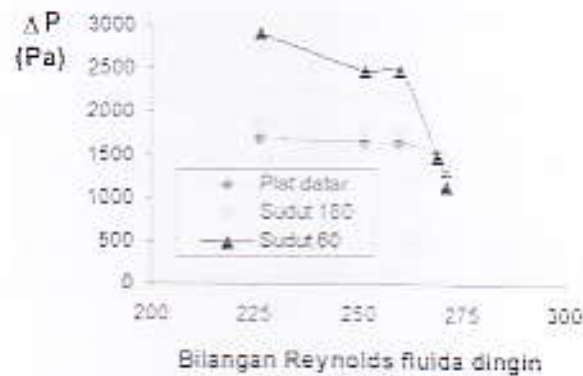
#### 4.3. Penurunan Tekanan

Penurunan tekanan terjadi karena adanya hambatan kecepatan aliran. Gangguan pada aliran fluida dapat disebabkan oleh konfigurasi permukaan laluan fluida atau viskositas fluida itu sendiri.

Pada Gambar 4.3, ditampilkan hubungan bilangan *Reynolds* terhadap penurunan tekanan pada masing-masing konfigurasi plat penukar kalor. Penurunan tekanan terbesar terjadi pada plat dengan sudut 60° sehingga dapat dikatakan bahwa bentuk plat dengan alur sudut 60° menghambat laluan fluida lebih besar dari plat



datar dan plat dengan alur sudut  $180^\circ$ . Analisa penurunan tekanan terhadap bilangan *Reynolds* untuk masing-masing bentuk plat dapat dihubungkan dengan teori *Osborne Reynolds* bahwa perubahan tersebut erat kaitannya dengan parameter  $\rho v d \mu$  dimana kecepatan aliran juga dipengaruhi oleh kekentalannya (bilangan *Reynolds*) dan memiliki hubungan berbanding terbalik.



Gambar 4.3. Penurunan tekanan pada masing-masing konfigurasi plat

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

1. Alat uji yang dibuat memenuhi syarat untuk digunakan sebagai sarana penelitian pengaruh bentuk permukaan terhadap karakteristik penukar kalor tipe plat dan rangka.
2. Perpindahan panas yang terjadi cenderung menurun dengan semakin besar laju aliran massa fluida dingin dan tidak memberikan perbedaan yang besar dari ketiga konfigurasi plat yang digunakan.
3. Peningkatan laju aliran massa fluida tidak mempengaruhi efektivitas dari ketiga plat penukar kalor.
4. Peningkatan bilangan *Reynolds* menyebabkan penurunan kerugian tekanan, dan kerugian tekanan yang terbesar terjadi pada plat dengan sudut  $60^\circ$ . Hal ini secara umum terjadi karena besarnya hambatan yang terjadi.

### 5.2. Saran

1. Untuk lebih teliti dan cepatnya pengambilan data dari alat uji, maka disarankan sebaiknya peralatan dilengkapi termometer digital.
2. Pembuatan air panas dengan sistem yang kontinu dan seragam selama proses pengujian sehingga kondisi stedi dapat terjadi dengan sempurna.

## PUSTAKA

1. Bayazitoglu, Yildiz, *Element of Heat Transfer*, Mc Graw Hill, 1988.
2. Holman, J. P., *Perpindahan Kalor*, Erlangga, Jakarta, 1991.
3. Incropera, Frank P., *Introduction To Heat Transfer*, John Wiley & Sons, 1990.
4. Keith, Frank, *Principles of Heat Transfer*, Harper & Row, 1973.
5. Miller, R. W., *Flow Measurement, Engineering Handbook*, McGraw Hill Publishing Company, USA, 1989.
6. Morris, Alan S., *Principles Of Measurement And Instrumentation*, Prentice Hall, UK, 1988.
7. Sitompul, Tunggul M, *Alat Penukar Kalor*, PT. Raja Grafindo Persada, Jakarta, 1993.
8. Taborek, J., Hewit, G.F., and Afgan, N., 1983, *Heat Exchanger Theory and Practice*, Hemisphere Publishing Corp., McGraw-Hill, New York.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana dengan dibiayai oleh dana Rutin Lembaga Penelitian Universitas Andalas. Terima kasih penulis sampaikan kepada Lembaga Penelitian Universitas Andalas, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Unand dan semua pihak terkait dengan penelitian ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.