

# PENGARUH *BAFFLE* TERHADAP PERPINDAHAN PANAS DAN PENURUNAN TEKANAN PENUKAR KALOR *SHELL AND TUBE* SATU LALUAN

## ABSTRAK

Sekat (*baffle*) pada penukar kalor selain berfungsi untuk mengarahkan aliran juga akan menghambat aliran sehingga fluida yang mengalir lebih lama bersentuhan dengan dinding-dinding pipa. Untuk melihat fenomena dari kasus tersebut, dibuat alat uji penukar kalor tipe cangkang dan pipa (*shell and tube*) satu laluan tanpa sekat dan dengan sekat. Percobaan dilakukan untuk masing-masing penukar kalor, dengan air sebagai fluida panas dan dingin.

Parameter yang mempengaruhi dalam pengujian ini, selain sekat 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 meningkat sekitar 43,97 % dengan pemakaian sekat, sedangkan penurunan tekanan semakin besar yaitu sekitar 86,01%. 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 pemakaian sekat terhadap perpindahan energi dalam bentuk kalor dan penurunan tekanan, maka dirancang dan dibuatlah suatu alat uji penukar kalor tipe cangkang dan pipa satu laluan dengan sekat dan tanpa sekat untuk penelitian tersebut.

### 1.2. Tujuan Penelitian

1. Pembuatan alat uji penukar kalor tipe cangkang dan pipa satu laluan dengan sekat dan tanpa sekat.
2. Mencari karakteristik alat uji seperti perpindahan panas, efektivitas dan penurunan tekanan.

### 1.3. Batasan Masalah

1. Penukar kalor bekerja dalam kondisi tunak.

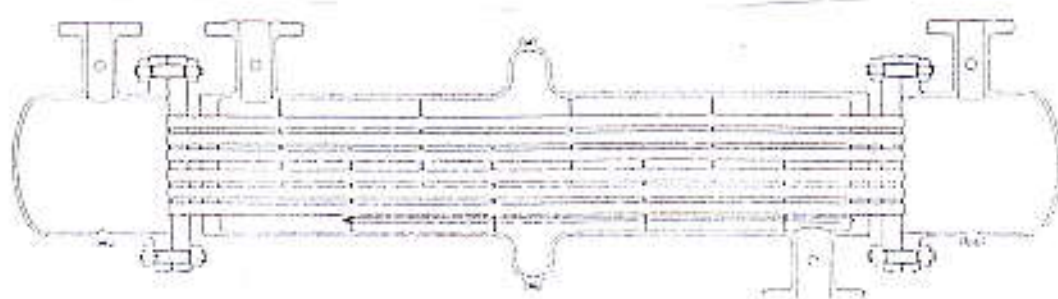
2. Temperatur dan kecepatan fluida seragam.
3. Kerugian panas diabaikan.

## 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. Penukar kalor dengan kedua fluida yang tidak bercampur dinamakan penukar kalor tak langsung. Bidang-bidang perpindahan panas untuk penukar kalor tak langsung dapat berupa dinding pipa yang dipasang sekat-sekat seperti pada tipe cangkang dan pipa.

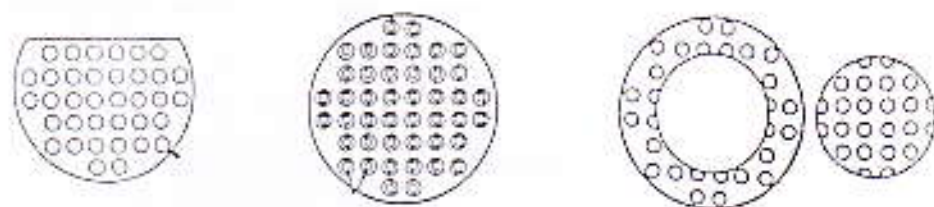
### 2.1. Penukar Kalor Cangkang dan Pipa

Penukar kalor cangkang dan pipa terdiri dari sebuah cangkang dimana di dalamnya terdapat satu bundel (berkas) pipa dengan diameter yang relatif kecil. Satu jenis fluida mengalir di dalam pipa-pipa, sedangkan fluida lainnya mengalir di bagian luar pipa tetapi masih di dalam cangkangnya. Skema dari penukar kalor cangkang dan pipa ditampilkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Penukar kalor *shell and tube* satu lauan

Pendukung berkas pipa di dalam cangkang biasanya menggunakan sekat (*baffle*), yang sekaligus berfungsi untuk mengatur arah aliran fluida. Sekat ini berupa piringan yang dilubangi untuk penempatan pipa dan mempunyai bentuk sedemikian rupa agar aliran fluida di luar pipa dapat menyentuh permukaan luar pipa secara efektif untuk perpindahan panas, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Dengan pemakaian sekat, juga harus diperhitungkan penurunan tekanan yang terjadi.



Gambar 2.2 Bentuk-bentuk sekat penukar kalor cangkang dan pipa

Perhitungan untuk perpindahan panas dan penurunan tekanan dapat menggunakan metoda yang dikemukakan oleh Kern (1950). Metoda ini berusaha mengkorelasikan data untuk penukar kalor standar dengan persamaan sederhana yang dianalogikan dengan persamaan aliran dalam pipa dan dibatasi pada *baffle* terpotong 25 %.

Didasari atas perpindahan panas pada industri, Kern memberikan persamaan :

$$\frac{\alpha_B D_e}{\lambda} = 0,36 \left( \frac{D_0 \dot{m}_s}{\eta} \right)^{0,55} \left( \frac{c_p \eta}{\lambda} \right)^{1,3} \left( \frac{\eta}{\eta_w} \right)^{0,14} \quad (2-1)$$

dimana  $\dot{m}_s$  didapat dari persamaan :

$$\dot{m}_s = \frac{M_t}{S_s} \quad (2-2)$$

Persamaan diameter  $D_2$  diperoleh dari persamaan :

$$\frac{4 \times \text{daerah aliran}}{\text{Keliling yang basah}} \quad (2-3)$$

Korelasi untuk penurunan tekanan pada bagian *shell*, dapat dihitung :

$$\Delta P_s = \frac{4 f m D_s (N+1)}{2 \rho D_s \left( \frac{\eta}{\eta_w} \right)_s^{0,14}} \quad (2-4)$$

dimana :  
 $D_s$  = diameter *shell*  
 $f$  = faktor gesekan  
 $N$  = jumlah *baffle*

## 2.2. 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 :

$$\varepsilon = \frac{\text{perpindahan kalor nyata}}{\text{perpindahan kalor maks yang mungkin}} \quad (2-5)$$

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{maks}}$$

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 :

$$q_{maks} = (\dot{m}c_p)_{min} (T_{h,in} - T_{c,in}) \quad (2-6)$$

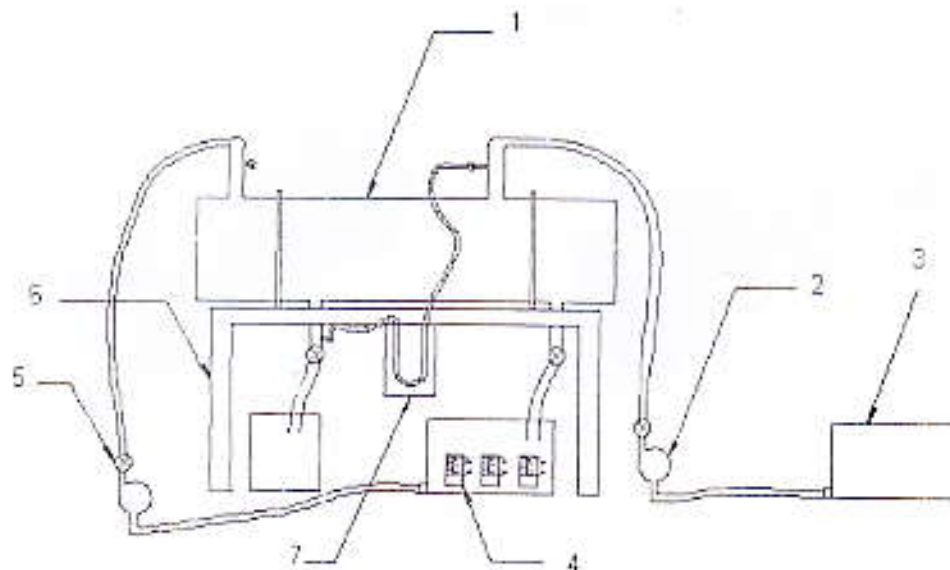
Harga perpindahan kalor nyata adalah :

$$q = \varepsilon (\dot{m}c_p)_{min} (T_{h,in} - T_{c,in}) \quad (2-7)$$

### 3. METODOLOGI

#### 3.1. Instalasi Pengujian

Susunan instalasi pengujian yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Keterangan :

- |                  |                 |
|------------------|-----------------|
| 1. Penukar Kalor | 5. Katup        |
| 2. Pompa         | 6. Dudukan Alat |
| 3. Reservoir     | 7. Manometer    |
| 4. Pemanas       |                 |

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 4 buah yang dipasang pada saluran air masuk.

## C. Wadah Penampung (*Reservoir*)

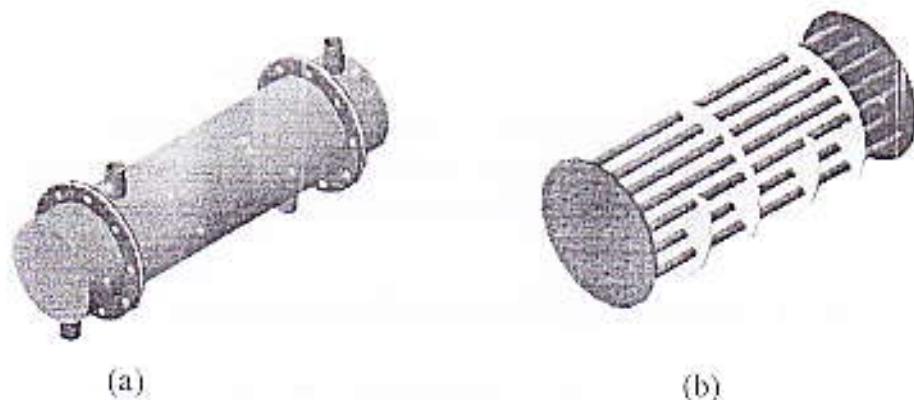
*Reservoir* berfungsi untuk penyedia dan penampung air. *Reservoir* dalam instalasi pengujian ini ada 2 buah masing-masing untuk air panas dan air dingin.

## D. Pemanas (*Heater*)

*Heater* digunakan untuk menaikkan temperatur air sebelum masuk ke dalam penukar kalor.

### 3.1.2. Penukar Kalor

Pada Gambar 3.2(a), ditampilkan bentuk penukar kalor yang digunakan sebagai alat uji.



Gambar 3.2. (a) Penukar kalor cangkang dan pipa  
(b) Bentuk sekat yang digunakan

Perangkat penukar kalor juga dilengkapi dengan sekat yang terbuat dari pelat baja dengan ketebalan 1,2 mm dan dipotong sebesar 25 %. Bentuk sekat yang digunakan dalam pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2(b).

### 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. Termokopel

Termokopel sebagai alat ukur temperatur dipasang pada saluran air masuk dan keluar untuk masing-masing fluida. Termokopel yang digunakan dilengkapi dengan multimeter digital sebagai pembaca keluaran yang diukur.

## 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 kalor 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 dengan sekat dan tanpa sekat. Karakteristik yang akan ditinjau adalah perpindahan panas, penurunan tekanan dan efektivitas.

Prosedur pengujiannya :

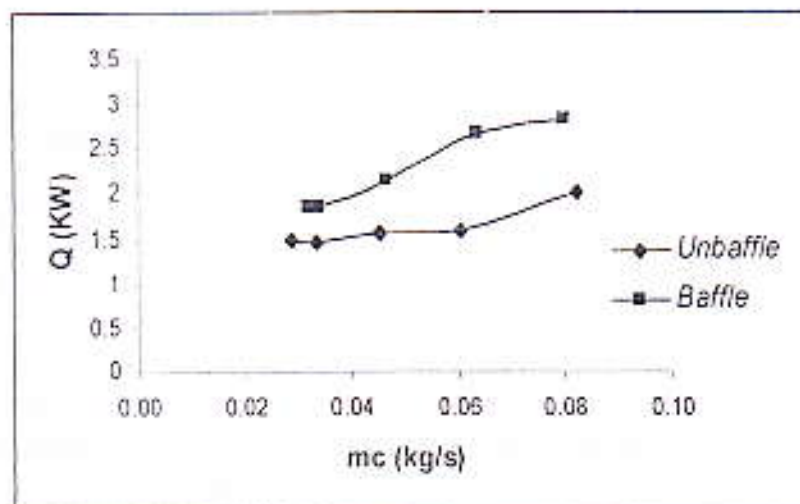
1. Air pada salah satu *reservoir* dipanaskan hingga temperatur tertentu dengan menggunakan *heater*.
2. Air panas dan air dingin akan dipompakan secara bersamaan.
3. Debit aliran diperoleh dengan cara membagi volume tertentu yang ditunjukkan oleh *flowmeter* dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai volume tersebut.
4. Temperatur dan beda tekanan diukur pada saat bersamaan setelah kondisi tunak (*stedi*) tercapai.
5. Lakukan beberapa kali pengujian untuk debit aliran yang berbeda pada penukar kalor tanpa sekat.
6. Lakukan prosedur 1-5 untuk penukar kalor dengan sekat.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Perpindahan Panas pada Penukar Kalor

Pada Gambar 4.1 ditampilkan grafik pengaruh pemakaian sekat terhadap perpindahan panas pada penukar kalor. Dari grafik terlihat bahwa perpindahan panas meningkat dengan pemakaian sekat. Dengan adanya sekat maka aliran fluida pendingin akan lebih baik, maksudnya fluida pendingin akan benar-benar berkontak dengan dinding pipa yang di dalamnya mengalir fluida panas. Akibatnya panas/energi yang ada pada pipa tersebut dapat lebih banyak diserap

oleh fluida pendingin. Peningkatan laju perpindahan panas yang terjadi dengan menambahkan sekat adalah sekitar 43,97 %.



Gambar 4.1 Perpindahan panas pada penukar kalor satu laluan dengan sekat dan tanpa sekat

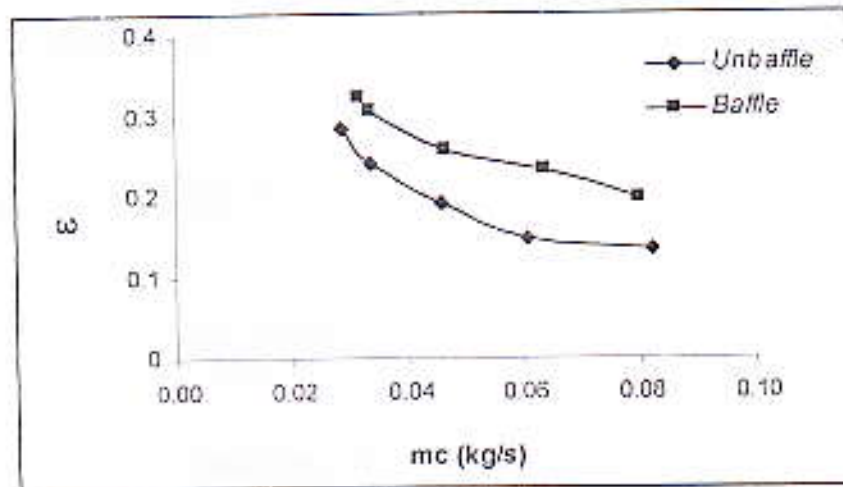
Semakin besar aliran fluida yang mengalir pada sisi cangkang (fluida dingin) maka energi/panas yang dapat berpindah juga semakin besar. Proses perpindahan panas yang dominan terjadi pada alat penukar panas adalah perpindahan panas secara konveksi yang terjadi karena pergerakan partikel fluida dengan membawa energi panas. Pergerakan partikel fluida ini mempengaruhi laju perpindahan panas.

Temperatur suatu benda sebanding dengan energi kinetik rata-rata partikel pada benda tersebut. Jadi semakin tinggi temperatur maka pergerakan partikel dalam benda tersebut akan semakin cepat.

#### 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.

Pada Gambar 4.2. diperlihatkan bahwa efektivitas penukar kalor dengan sekat lebih baik daripada penukar kalor tanpa sekat. Ini berhubungan juga dengan perpindahan panas yang terjadi pada penukar kalor. Sedangkan efektivitas penukar kalor semakin kecil dengan semakin besar laju aliran massa fluida dingin.

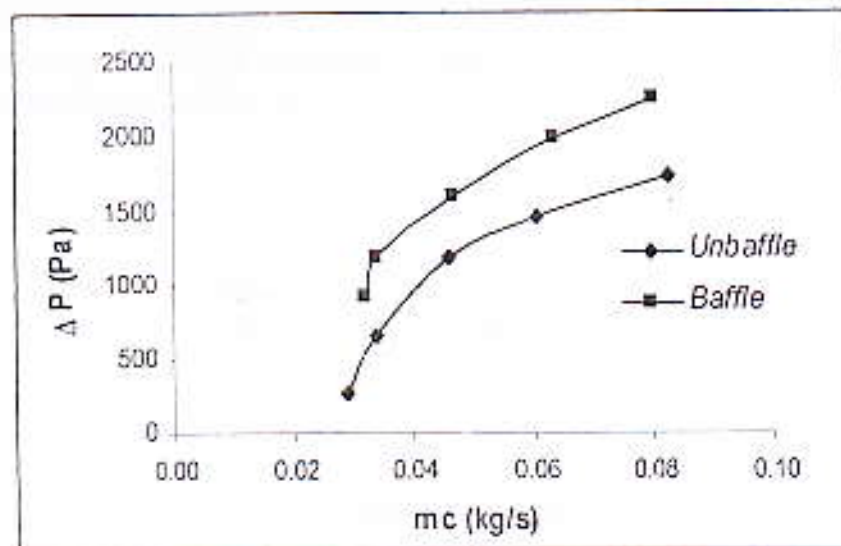


Gambar 4.2 Efektivitas penukar kalor cangkang dan pipa satu laluan dengan sekat dan tanpa sekat

Penurunan nilai efektivitas disebabkan karena peningkatan laju aliran massa fluida pendingin menyebabkan nilai perpindahan panas aktual meningkat tetapi peningkatannya lebih kecil dari peningkatan laju perpindahan panas maksimum.

#### 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.



Gambar 4.3 Penurunan tekanan pada cangkang penukar kalor dengan sekat dan tanpa sekat

Pada Gambar 4.3 ditampilkan hubungan laju aliran massa fluida dengan penurunan tekanan pada masing-masing penukar kalor. Penurunan tekanan terbesar terjadi pada penukar kalor dengan sekat yaitu sekitar 86,01 %, karena dengan pemakaian sekat akan mengakibatkan rintangan aliran semakin besar.



Dari Gambar 4.3 juga terlihat bahwa semakin besar laju aliran massa fluida maka penurunan tekanan semakin besar pula. Hal ini sesuai dengan persamaan (2-4) di atas.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

1. Alat uji yang dibuat memenuhi syarat untuk digunakan sebagai sarana penelitian pengaruh sekat terhadap karakteristik penukar kalor cangkang dan pipa.
2. Perpindahan panas yang terjadi semakin meningkat dengan semakin besar laju aliran massa fluida dingin dan memberikan perbedaan yang besar dengan pemakaian sekat yaitu sekitar 43,97 %.
3. Peningkatan laju aliran massa fluida memperkecil efektivitas penukar kalor dan semakin baik dengan pemakaian sekat.
4. Peningkatan laju aliran massa fluida menyebabkan penurunan tekanan semakin besar, dan penurunan tekanan yang terbesar terjadi pada penukar kalor dengan sekat. Peningkatan penurunan tekanan yang terjadi pada penukar kalor sekitar 86,01 % dengan pemakaian sekat.

### 5.2. Saran

1. Untuk lebih teliti dan cepatnya pengambilan data dari alat uji, maka disarankan sebaiknya peralatan dilengkapi termokopel digital.
2. Lebih dikaji lebih jauh mengenai pengaruh bentuk-bentuk sekat, jarak antar sekat dan material sekat yang digunakan.

## 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.