

OPERASIONAL KARAKTERISTIK ALAT PENUKAR KALOR DENGAN METODE GRAFIK UNTUK *COUNTER FLOW*

Budi Utomo*
Achmad Fauzan**
Marselius***

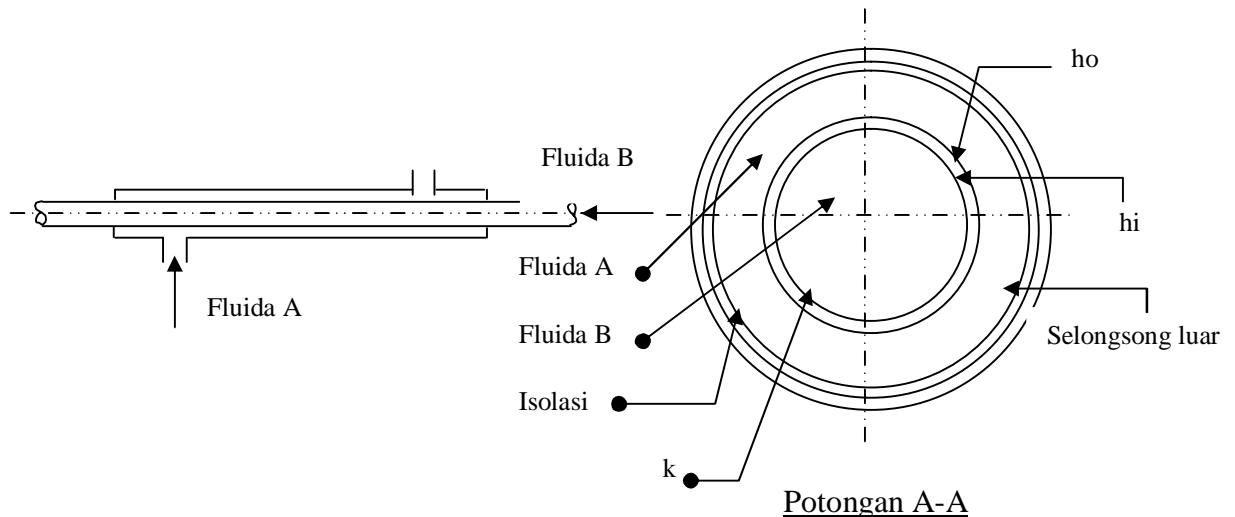
Abstrak

Penerapan prinsip dasar alat penukar kalor agar mencapai tujuan yang optimal dan efisien sangat diharapkan. Pada penerapannya dalam perancangan pembuatan alat penukar kalor yang harus diperhatikan dan dipertimbangkan antara lain berat, ukuran, bahan baku, termasuk faktor biaya. Parameter tersebut diatas sangat penting sebagai ukuran agar perancangan alat penukar kalor menghasilkan rancangan yang baik sesuai kaidah - kaidah pada hukum yang berlaku pada teori "*Heat Transfers*".

Kata Kunci : *Karakteristik, Heat Transfer, Efisien.*

PENDAHULUAN

Dalam industri proses dan industri tenaga, ataupun dalam kegiatan lain, banyak penukar kalor dibeli langsung sebagai barang jadi yang telah tersedia dan pemilihannya dilakukannya atas dasar harga dan spesifikasi yang diberikan oleh pembuatnya. Bila alat penukar kalor akan dibuat, perlu pertimbangan biaya dan operasi karakteristik yang dirancang. Alat penukar kalor yang didesain terdiri atas alat penukar kalor pipa ganda (*double pipe exchanger*) yang terdiri atas sebuah *annulus* dan sebuah tube, yang dibatasi oleh dinding - dinding tube. Jika kedua fluida mengalir berlawanan arah di dalam *annulus* dan tube maka alat penukar kalor tersebut jenis aliran berlawanan arah (*counter flow*).



Gambar 1 : Penukar Kalor Pipa Ganda (*Double Pipe Exchanger*)
(Sumber : *Donald R. Pitts, Perpindahan Kalor, hal 234*)

* Dosen Jurusan Mesin Fak. Teknik Universitas Merdeka Malang

** Mahasiswa Jurusan Mesin Fak. Teknik Universitas Merdeka Malang

*** Mahasiswa Jurusan Mesin Fak. Teknik Universitas Merdeka Malang

Dengan adanya faktor - faktor yang mempengaruhi dalam alat penukar kalor ini diantaranya , analisa termal, kekuatan struktur, selain itu ukuran dan biaya.

Dalam perancangan alat penukar kalor ini digunakan air panas dan air dingin sebagai fluidanya, dan pipa yang digunakan adalah pipa besi tuang sebagai annulus dan pipa tembaga sebagai penghantar panas (tube). Dari proses perpindahan panas pada alat penukar kalor tersebut yang perlu diambil rumusan masalah yaitu dengan **metode grafik fungsi thermal yang secara langsung dapat dibaca .**

Mengingat kompleksnya permasalahan yang mungkin timbul sedangkan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar efektivitas pada aliran air panas dengan air dingin menggunakan suatu grafik yang dapat secara langsung dibaca sehingga peneliti membatasi masalah pada :

1. Aliran *steady state*
2. Laju perpindahan panas yang terjadi pada pipa aliran konstan
3. Perpindahan kalor secara konduksi dan konveksi
4. Kecepatan fluida konstan
5. Tidak membahas faktor kerugian panas yang terjadi
6. Tidak membahas perubahan fase
7. Tidak membahas alat ukur

KAJIAN PUSTAKA

Pemanasan serta pendinginan fluida yang mengalir di dalam saluran (*conduit*); (saluran tertutup) merupakan satu di antara proses-proses perpindahan panas yang terpenting dalam perancangan. Rancang- bangun serta analisa semua jenis penukar - panas memerlukan pengetahuan tentang koefisien perpindahan-panas antara dinding saluran dan fluida yang mengalir di dalamnya. Bergantung sebgaiannya besarnya pada konduktansi konveksi-satuan antara permukaan dalam pipa-pipanya dan fluidanya. Bila koefisien perpindahan panas untuk suatu geometri tertentu serta kondisi aliran yang ditetapkan telah diketahui, maka laju perpindahan panas pada beda-suhu yang ada.

$$q_c = hA (T_{permukaan} - T_{fluida})$$

Hubungan yang sama juga dapat dipergunakan untuk menentukan luas yang diperlukan untuk memindahkan panas pada suatu laju yang telah ditetapkan untuk potensi suhu tertentu. Koefisien perpindahan panas h_c dapat dihitung dari bilangan Nusselt $h_c D_H / k$. Bagi aliran didalam pipa panjang, panjang penting bilangan Nusselt ialah garis tengah hidroliknya $D_{H,}$ yang berdefinisi $D_h = 4 \text{ luas penampang aliran} / \text{keliling basah}$

Untuk pipa (tube) luas penampang alirannya adalah $\frac{pD^2}{4}$, keliling basah (wattet perimeter) ialah pD , dan oleh karena itu garis tengah dalam pipa sama dengan garis tengah garis tengah hidroliknya. Bagi sebuah cincin (*annulus*) yang dibentuk diantara dua buah silinder kosentrik kita mempunyai : $D_H = 4 \frac{(p/4)(D_2^2 - D_1^2)}{p(D_1 + D_2)} = D_2 - D_1$

Dalam praktek rekayasa, harga bilangan Nusselt untuk aliran di dalam saluran biasanya ditentukan dari persamaan - persamaan empirik yang berdasarkan hasil-hasil eksperimen, meskipun dalam tahun-tahun terakhir cara-cara pendekatan semi analitik telah memberikan cukup banyak langkah-langkah kemajuan kearah. pemahaman asas-asas dasar konveksi paksa di dalam pipa dan cincin (*annulus*). Hasil-hasil ekperimental yang diperoleh dalam percobaan - percobaan perpindahan panas konveksi paksa dapat dikorelasikan dengan persamaan yang berbentuk :

$$Nu = Re - Pr$$

Viskonitas Kinematik ν , atau μ/ρ , seringkali disebut sebagai difusivitas - molekuler momentum (*molekul diffusivity of momentum*) karena ukuran laju perpindahan momentum antara molekul-molekul. Difusiivitas termal , fluida k/c_p p acapkali dinamakan difusivitas molekular panas. Diffisivitas ini merupakan ukuran nperbandingan antara kapasitas penerusan panas dan kapasitas penyimpangan energi molekul-molekul.

Bilangan Prandtl merupakan hubungan antara distribusi suhu dan distribusi kecepatan, untuk aliran melewati sebuah pelat datar. Untuk aliran didalam pipa, seperti halnya aliran melewati pelat datar profil kecepatan serupa dengan profil suhu untuk fluida yang mempunyai bilangan Prandtl satu. Bila bilangan Prandtlnya lebih kecil , gradien suhu di dekat permukaan lebih landai daripada gradien kecepatan, dan bagi fluida yang bilangan Prandtlnya lebih besar daripada satu, gradien suhunya lebih curam daripada gradien kecepatan.

Penggunaan suhu curahan fluida sebagai suhu acuan memungkinkan keseimbangan panas secara mudah, karena keadaan *steady* (ajeg) perbedaan antara suhu curahan rata-rata pada dua penampang suatu saluran merupakan tolok ukur langsung laju perpindahan panas, atau

$$q = mc_c \Delta T_b$$

Dimana q = laju perpindahan panas ke fluida, dalam btu/h

m = laju aliran, dalam lb_m / h

C_p = panas jenis pada tekanan konstan , dalam Btu/lb_m/h

ΔT_b = beda suhu curahan antara penampang-penampang yang bersangkutan.

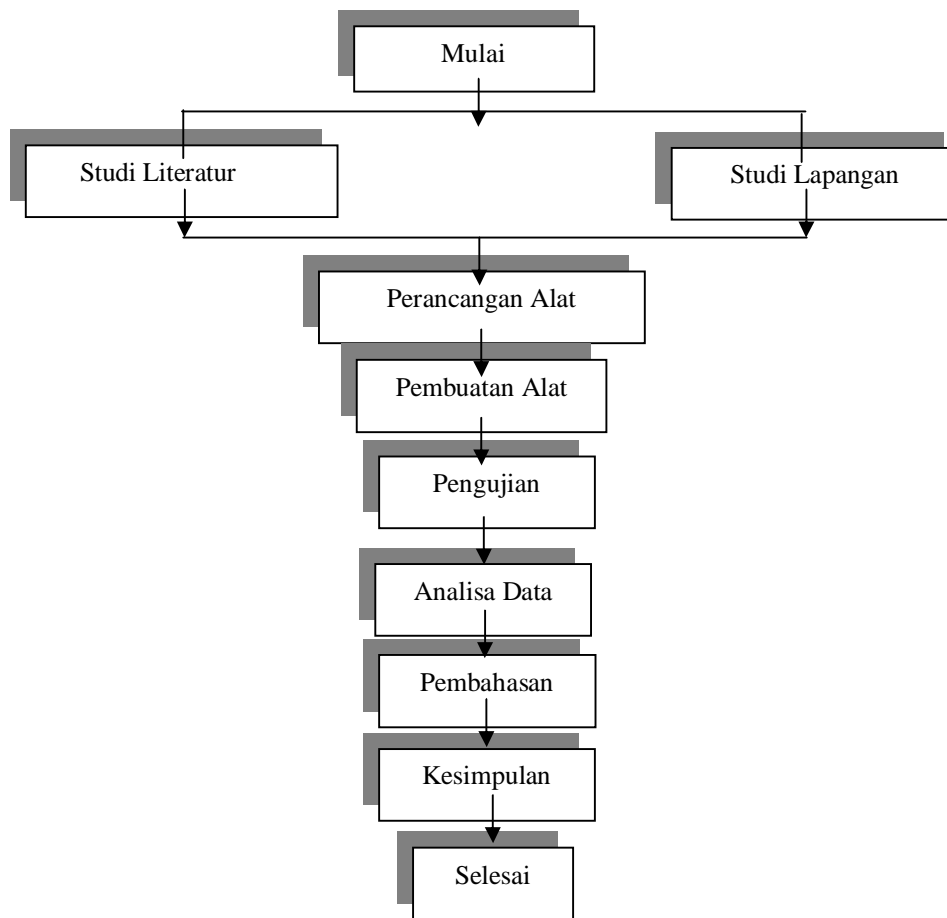
Sebuah penukaran panas dimana satu fluida mengalir di dalam pipa sedangkan fluida lainnya melewati sebelah luar pipa tersebut. Di dalam praktek dimana pembahasan ditekankan pada penentuan harga koefisien perpindahan panas konveksi yang dapat ditentukan dalam suatu sistem aliran bila suhu curahan dan suhu dinding yang bersangkutan telah ditetapkan.

Memperkecil ukuran peralatannya dan akibatnya juga biaya awal untuk laju perpindahan panas yang ditetapkan. Namun dalam pada itu meningkatlah biaya pemompaannya. Maka dari itu rancang bangun yang optimum memerlukan kompromi antara biaya awal dan biaya operasi. Dalam praktek telah ternyata bahwa kenaikan biaya pemompaan seras biaya operasi seringkali melebihi penghematan biaya awal peralatan perpindahan panas dalam hal pengoperasian terus menerus. akibatnya kecepatan yang digunakan dalam kebanyakan peralatan pertukaran panas komersial adalah relatif rendah yaitu sepadan dengan bilangan Reynolds yang tidak melebihi 50.000. Bilamana mungkin kita menghindari aliran laminar di dalam peralatan pertukaran panas karena rendahnya koefisien perpindahan panas yang diperoleh. Tetapi dalam industri kimia dimana seringkali kita harus bekerja dengan cairan yang sangat viskos kadang-kadang kita tidak dapat menghindari aliran laminar tanpa mengakibatkan kerugian tekanan yang besar yang tidak kita inginkan.

Bagi aliran cairan dan gas yang tumbelen melewati sebuah pelat datar, bilangan Nusselt sebanding dengan bilangan Reynolds yang dipangkatkan 0,8. Karena dalam konveksi paksa tumbelen lapisan bawah laminar pada umumnya mengendalikan laju aliran panas bagaimanapun geometri sistemnya, maka tidaklah mengherankan bahwa untuk konveksi paksa turbulen didalam saluran hubungan antara bilangan Nusselt dan bilangan Reynolds diberikan oleh hukum pangkat yang sejenis. Bagi kasus udara yang mengalir di dalam pipa hubungan ini digambarkan dalam grafik.

METODOLOGI PENELITIAN

Akan dijelaskan mengenai diagram alir penelitian, lokasi penelitian, peralatan penelitian, variabel penelitian dan rumus - rumus yang digunakan :



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Lokasi Penelitian

Lokasi dan tempat penelitian dilaksanakan di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang.

Peralatan Penelitian

Beberapa peralatan yang dipakai dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- **Termokopel**
Berfungsi untuk mengukur temperatur air masuk dan keluar, baik pada air panas maupun air dingin.
- **Celah V-Notch**
Celah *V-Notch* atau bendung takik adalah alat yang berfungsi mengukur kecepatan air masuk , baik air panas maupun air dingin .
- **Heater**
Berfungsi untuk memanaskan air.

- *Heat Exchanger*

Yang merupakan peralatan utama dalam penelitian ini (lampiran 1)

Variabel / Parameter Penelitian

Variabel atau parameter yang digunakan dalam penelitian atau pengujian antara lain :

1. Temperatur air saat masuk (T_{in}) dan temperatur air saat keluar (T_{out}) baik air panas maupun air dingin
2. Kecepatan air pada bak penampung
3. Debit air yang mengalir melalui pipa yaitu dengan cara mengatur bukaan katub.

PEMBAHASAN

Penurunan diatas menggambarkan bagaimana keefektipan suatu susunan aliran tertentu dapat dinyatakan sebagai fungsi dua parameter tanpa dimensi, yaitu perbandingan kapasitas panas C_{min} / C_{max} dan perbandingan konduktansi keseluruhan terhadap kapasitas panas yang lebih kecil UA / C_{min} . Parameter yang disebut terakhir dinamakan jumlah satuan perpindahan panas (*number of heat - transfer unit - NTU*). Jumlah satuan perpindahan - panas mwerupakan tolok ukuran perpindahan - panas penukar panas tersebut . Semakin besar harga NTU , penukar panas tersebut semakin mendekati batas termodinamikanya . Harga keefektipan kebanyakan susunan aliran yang penting artinya dalam praktek dapat ditentukan dengan analisa yang pada dasarnya serupa dengan analisa. Kays dan London (1) telah menyusun hasil-hasilnya dalqam grafik - grafik yang mudah dipergunakan; untuk harga NTU dan C_{min} / C_{max} yang diketahui maka keefektipan dapat ditennentukan dari grafik-grafik ini. Bagi masing-masing kurva ialah perbandingan kapasitas panas perjam C_{min} / C_{max} , dan keefektipannya dibaca pada ordinat.

Data Hasil Penelitian

Suhu Ruang : 27 'C
Tanggal : 14 - 7 - 2004
J a m : 14.20 WIB
Cuaca : Cerah / Hujan

Tabel 1. Hasil Penelitian

Parameter	Temperatur set 35°C				Temperatur set 50°C				Temperatur set 80°C			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
T _{h1} (°C)	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
T _{h2} (°C)	3	2	1	0	8	7	6	5	9	8	7	6
t _{c1} (°C)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
t _{c2} (°C)	7	8	9	1	8	9	0	1	7	6	5	4
H ₁ (cm)	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
H ₂ (cm)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Keterangan :

T_{h1} = temperatur air panas masuk (°C)

T_{h2} = temperatur air panas keluar (°C)

t_{c1} = temperatur air dingin masuk (°C)

t_{c2} = temperatur air dingin keluar (°C)

H₁ = ketinggian celah V-noch air panas (cm)

H₂ = ketinggian celah V-noch air dingin (cm)

Efektivitas Alat Penukar Kalor

1. Perbandingan laju kapasitas spesifik panas

Hukum kekekalan energi

$$q_{in} = q_{out}$$

$$m \cdot Cp \cdot (Th_1 - Th_2) = m \cdot Cp \cdot (Tc_2 - Tc_1)$$

$$\frac{m \cdot Cp \cdot (Th_1 - Th_2)}{m \cdot Cp \cdot (Tc_2 - Tc_1)} = tg 45^\circ = 1$$

karena : $C_h = m \cdot Cp_h$

$$C_c = m \cdot Cp_c$$

Maka :

$$\frac{C_h (Th_1 - Th_2)}{C_c (Tc_2 - Tc_1)} = 1$$

$$\frac{C_c}{C_h} = \frac{(Th_1 - Th_2)}{(Tc_2 - Tc_1)}$$

Untuk mempermudah perhitungan diasumsikan $C_2 = \frac{C_c}{C_h}$ sedangkan C_1 kebalikan

dari C_2 yaitu $C_1 = \frac{C_h}{C_c}$, maka diperoleh :

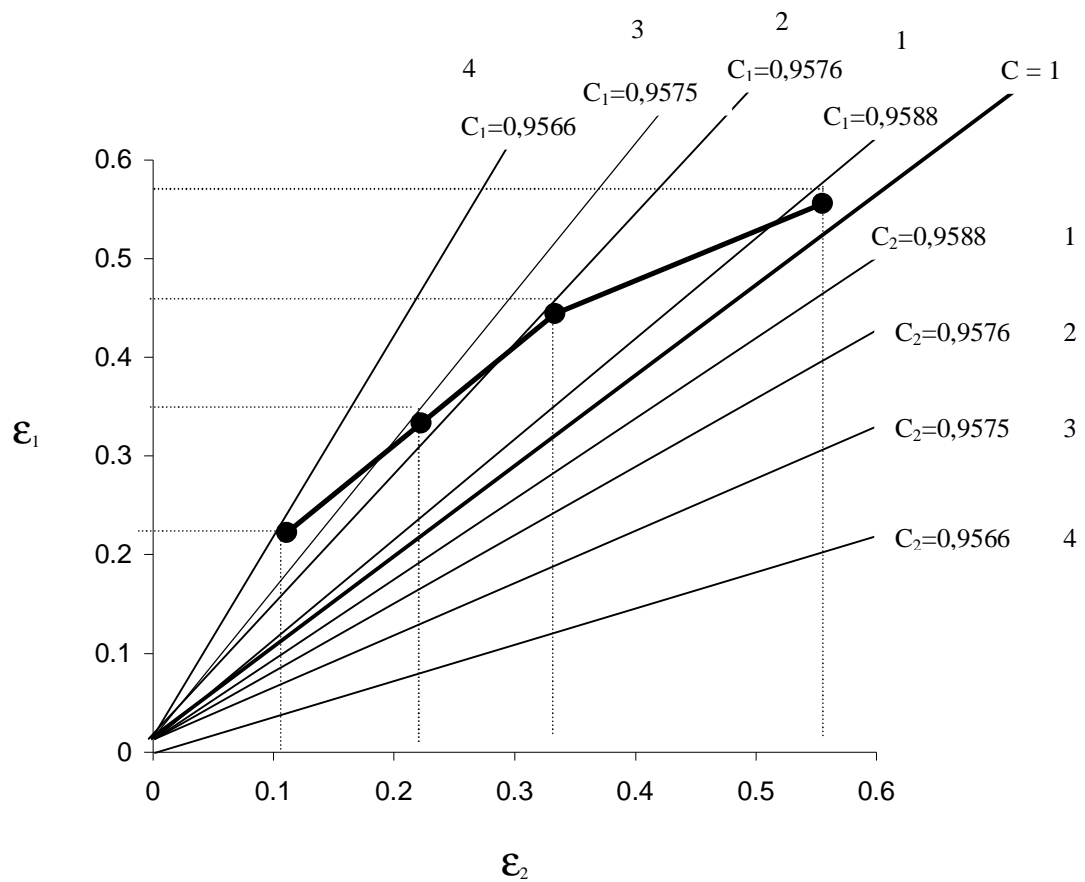
$$\begin{aligned} C_2 &= \frac{C_c}{C_h} \\ &= \frac{0,8966 \text{ Kw}/^{\circ}\text{C}}{0,9351 \text{ Kw}/^{\circ}\text{C}} = 0,958854 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{1}{\frac{C_h}{C_c}} \\ &= \frac{1}{0,9351 / 0,8966} = 0,958854 \end{aligned}$$

2. Efektivitas alat penukar kalor

$$\begin{aligned} e_1 &= \frac{Th_1 - Th_2}{Th_1 - Tc_1} \\ &= \frac{35 - 33}{35 - 26} = 0,222 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_2 &= \frac{Tc_1 - Tc_2}{Th_1 - Tc_1} \\ &= \frac{26 - 27}{35 - 26} = 0,111 \end{aligned}$$



Gambar 3. Karakteristik Fungsi Termal Temperatur Set 35 ° C

Keterangan :

$$C_1 = \frac{C_h}{C_c}$$

$$C_2 = \frac{C_c}{C_h}$$

$$e_1 = \frac{Th_1 - Th_2}{Th_1 - Tc_1}$$

$$e_2 = \frac{Tc_2 - Tc_1}{Th_1 - tc_1}$$

1 – 4 = percobaan yang dilakukan

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data serta hasil perhitungan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari grafik diatas dapat diambil kesimpulan bahwa alat penukar kalor yang dirancang oleh penulis memenuhi syarat , hal ini ditunjukkan oleh harga C_1 dan $C_2 < 1$.
2. Nilai efektivitas mengalami peningkatan karena semakin besarnya beda suhu antara fluida masuk dan keluar pada suatu alat penukar kalor aliran lawan arah (*counter flow*).

DAFTAR PUSTAKA

- Incropera F.P, 1990. *Introduction to Heat Transfer*, Thrid Edition, Jhon Wiley and Sons Inc
- J.P. Holman F. Jusjfi, 1991, *Perpindahan Kalor, Edisi Ke-enam*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- J.W. Rose, 1967, *On the Mechanism of Dropwise Condensation.*” Int.J. Heat and Mass Transfer.
- L.S. Tong, 1985, *Boilling Heat Transfer and Two-Phase Flow*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- M. Sitompul, 1983, *Alat Penukar Kalor*, Penerbit PT Raja Grafindo Persada
- R.I. Vashon , G.H. Nix, dan G.E. Tanger, 1968, *Evaluation of Constants for the Rohsenow Pool - Boilling Correlation*, Trans, ASME, ser.C.J.of Heat Tranfer, Th.239-247
- R.V. Macbeth, 1963, Burnout Analysis, Part 4: *World Data for Uniformly Heated Round Tubes and Rectangular Channels*, AEEW-R 267. Winfrith.
- CussonTecnology, 1987, *Heat Tranfer Experiment*, England.
- W.M. Rohsenow, 1964, *Boiling Heat Tranfer* , Dev. in Heat Tranfer, W.M. Rohsenov, ed (Gambridge, Maassachusetts) MIT Press