

## **PENGARUH KECEPATAN DAN SIFAT FLUIDA PENDINGIN TERHADAP KOEFISIEN PERPINDAHAN KALOR PADA PENUKAR KALOR SHELL AND TUBE**

**Muhammad Lazim**

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tridinanti  
Jalan Kapten Marzuki No. 2446 Kamboja Palembang 30129

### **Abstrak**

*Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh perubahan kecepatan fluida pendingin dan pengaruh sifat fisik fluida pendingin terhadap koefisien perpindahan kalor pada penukar kalor shell and tube. Penelitian dilakukan dengan menggunakan tiga macam fluida pendingin, yaitu dengan fluida pendingin air, fluida pendingin air yang ditambahkan coolant produksi SPC dan fluida pendingin air yang ditambahkan coolant produksi Tiga Berlian., Penambahan coolant pada air pendingin untuk masing-masing coolant dilakukan dengan dua tahapan, yaitu dengan campuran (67 % air + 33 % coolant) dan (50 % air + 50 % coolant). Pada setiap campuran dilakukan dengan enam variasi kecepatan*

*Air panas dialirkan melalui tube pada temperatur  $\pm 60$  °C dengan laju aliran 0,1245 kg/s, sedangkan fluida pendingin dialirkan melalui shell (di luar tube) pada temperatur  $\pm 42$  °C dengan 6 variasi laju aliran, yaitu : 0,1012 kg/s; 0,1115 kg/s; 0,1285 kg/s; 0,1390 kg/s; 0,1495 kg/s dan 0,1590 kg/s.*

*Dari hasil penelitian terlihat bahwa alat penukar kalor shell and tube dengan fluida pendingin campuran air dengan coolant pada kondisi yang dipilih mempunyai bilangan Nusselt yang lebih tinggi dari pada menggunakan media pendingin air tanpa campuran coolant. Dan dengan penambahan laju aliran fluida pendingin laju perpindahan kalor yang terjadi akan meningkat sehingga koefisien perpindahan kalor keseluruhan juga akan meningkat.*

*Kata Kunci : fluida pendingin, penukar kalor, shell and tube*

### **Abstract**

*This research was conducted to see the effect of changes in the speed of the cooling fluid and the influence of the physical properties of the cooling fluid heat transfer coefficient in shell and tube heat exchanger. The study was conducted using three types of cooling fluid, with fluid cooling water, cooling fluid water coolant ditambahkan SPC production and added water cooling fluid coolant Three Diamond production., Addition of coolant in the cooling water for each coolant is done in two stages, ie with a mixture (67% water + 33% coolant) and (50% water + 50% coolant). At any mix made with a six speed variation*

*The hot water flows through the tube at a temperature of 60 ° C with a flow rate of 0.1245 kg / s, while the cooling fluid flows through the shell (outside tube) at a temperature of 42 ° C with 6 variations of the flow rate, ie 0.1012 kg / s; 0, 1115 kg / s; 0.1285 kg / s; 0.1390 kg / s; 0.1495 kg / s and 0.1590 kg / s.*

*From the results of the study shows that heat exchanger shell and tube with water cooling fluid mixed with coolant in selected conditions have a higher Nusselt numbers than using air cooling medium without coolant mixture. And with the addition of cooling fluid flow rate of heat transfer that occurs will be increased so that the overall heat transfer coefficient will also increase*

*Keyword : cooling fluid, heat transfer, shell and tube*

## **I. PENDAHULUAN**

Heat exchanger yang dikenal sebagai penukar kalor adalah suatu alat yang digunakan untuk mengubah temperatur fluida atau mengubah fasa fluida dengan

cara menukarkan (memberi/mengambil) kalornya pada fluida lain. Proses terjadinya perpindahan kalor tersebut dapat dilakukan secara langsung, yaitu dimana fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin tanpa adanya pemisah

dan secara tidak langsung, yaitu bila diantara fluida panas dan fluida dingin tidak berhubungan langsung tetapi dipisahkan oleh sekat-sekat pemisah.

Alat penukar kalor merupakan suatu peralatan yang memegang peranan sangat penting pada industri pengolahan yang mempergunakan dan atau memproses energi. Alat penukar kalor banyak digunakan pada sektor industri, seperti pabrik semen, pupuk, kertas, petrokimia, tekstil. dan pada pembangkit tenaga listrik atau pada bangunan komersial berupa sistem pendingin udara, pemanas air dan lain-lain.

Pada sektor industri, ada beberapa macam peralatan penukar kalor yang digunakan seperti misalnya : Airfan cooler, coil, shell and tube atau plate dan lain-lain. Dari berbagai jenis alat penukar kalor tersebut, alat penukar kalor shell and tube lebih dominan digunakan. Hal ini karena alat penukar kalor shell and tube dapat dirancang dengan permukaan perpindahan kalor yang besar dalam volume yang relatif kecil, dapat dibuat dari logam paduan agar tahan korosi, dan sesuai untuk pemanasan, pendinginan, penguapan, atau pengembunan segala jenis fluida. Alat penukar kalor ini umumnya banyak digunakan pada industri penyulingan minyak dimana biasanya dipakai untuk mendinginkan kerosin.

Koefisien perpindahan kalor pada bagian shell dalam jenis satuan (unit) ini. selain bergantung pada jarak antara serta bentuk sekat, ukuran serta jarak antara tube, juga sangat bergantung pada kecepatan dan sifat-sifat dari fluida.

Teknologi pembuatan fluida pendingin (coolant) dengan bahan dasar ethylene glycol yang diperuntukkan pada sistem pendinginan kendaraan bermotor merekomendasikan hasil produksinya, bahwa coolant tersebut dapat mencegah panas yang berlebihan, yakni mampu menyerap panas yang lebih baik bila dibanding dengan tanpa menggunakan

coolant. Dalam penelitian ini untuk merubah sifat fisik fluida, akan ditambahkan larutan (coolant) pada fluida pendingin sehingga akan terlihat bagaimana pengaruhnya terhadap kemampuan perpindahan kalor.

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1. Dasar Teori

Salah satu jenis penukar kalor yaitu model shell and tube seperti dapat dilihat pada Gambar 2.1. Fluida yang satu mengalir di dalam pipa-pipa (tube), sedangkan fluida yang satu lagi dialirkan melalui selongsong (shell) melintasi luar tube. Guna menaikkan luas permukaan perpindahan kalor efektif per volume satuan, kebanyakan penukar kalor ini menggunakan lebih dari satu kali lintas melalui pipa-pipa (tube), dan fluida yang mengalir di luar pipa-pipa (tube) di dalam selongsong (shell) diarahkan bolak balik dengan sarana sekat-sekat (baffles) seperti terlihat pada Gambar. 2.1.

Kemampuan fluida pendingin untuk menerima kalor, dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu : koefisien perpindahan kalor keseluruhan (U), luas perpindahan kalor (A), dan selisih temperatur rata-rata ( $\Delta T_{lm}$ ). Hubungan antara besaran ini adalah :

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm} \quad (1)$$

Besarnya koefisien perpindahan kalor keseluruhan (U) adalah merupakan kebalikan dari tahanan keseluruhan. Tahanan keseluruhan terhadap perpindahan kalor itu adalah jumlah semua tahanan pada alat penukar kalor, yaitu : tahanan konveksi fluida panas, konveksi lapisan atau kotoran pada sebelah fluida panas, tahanan konduksi karena tebal pipa (tubes), tahanan panas pada lapisan kotoran di sebelah fluida dingin serta tahanan dari fluida dingin itu sendiri. Hubungan antara besaran ini adalah :

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{d_o \ln(d_o + d_i)}{2k_w} + \frac{d_o}{d_i} x \frac{1}{h_{id}} + \frac{d_o}{d_i} x \frac{1}{h_i} \quad (2)$$

dimana :

- $U_o$  = koefisien perpindahan panas keseluruhan berdasarkan luas tube.
- $h_o$  = koefisien perpindahan panas lapisan film bagian luar tube.
- $h_{od}$  = koefisien perpindahan panas kotoran luar tube (fouling factor).
- $h_{id}$  = koefisien perpindahan panas kotoran dalam tube.
- $h_i$  = koefisien perpindahan panas lapisan film bagian dalam tube.
- $d_o$  = diameter luar tube.
- $d_i$  = diameter dalam tube

Pengkajian unjuk kerja dari penukar kalor shell and tube yang menggunakan media pendingin campuran air dengan coolant ini akan melibatkan beberapa parameter agar fenomena yang terjadi dapat dijelaskan.

## 2.2. Parameter-parameter dasar

### - Bilangan Reynolds

$$Re = \frac{\rho V_{maks} D_H}{\mu} \quad (3)$$

$$V_{maks} = \frac{\dot{m}}{\rho A_{min}} \rightarrow \frac{\dot{m}}{A_{min}} = \rho V_{maks} = G \quad (4)$$

### - Diameter hidrolik

$$D_H = \frac{4 \cdot A_{min}}{p_w} \quad (5)$$

- Diameter hidrolik untuk tube,  $D_H = D$
- Diameter hidrolik untuk shell (susunan tube segitiga sama sisi) :

$$D_H = 4x \frac{(0,5P_t x 0,866P_t - 0,5\pi d_o^2 / 4)}{0,5\pi d_o} \quad (6)$$

### -Luas minimum

-untuk aliran dalam tube diperoleh dari persamaan :

$$A_t = \frac{N_t x a_t'}{n} \quad (7)$$

-untuk aliran dalam shell diperoleh dari persamaan :

$$A_s = (ID x C' x B) / P_t \quad (8)$$

dimana :

- $D$  = diameter dalam tube
- $D_H$  = diameter hidrolik shell
- $G_t$  = kecepatan aliran massa sebelah tube
- $G_s$  = kecepatan aliran massa sebelah shell
- $\mu$  = viskositas, lb/ft. hr
- $A_t$  = luas aliran sebelah tube
- $A_s$  = luas aliran sebelah shell
- $W$  = laju aliran massa fluida sebelah tube
- $N_t$  = jumlah tube
- $a_t'$  = luas aliran tiap tube.
- $n$  = jumlah pass aliran
- $ID$  = diameter sebelah dalam shell.
- $C'$  = daerah bebas antara tube dengan tube
- $B$  = jarak antara sekat
- $P_t$  = jarak anatara tube.

### Faktor J-Colburn

$$J = St \cdot Pr^{2/3} \quad (9)$$

### Bilangan Nusselt

Untuk kondisi aliran laminar, Zakauskas memberikan persamaan :

$$Nu = C Re^m \cdot Pr^n \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} \cdot Fc \quad (10)$$

dimana :  $C$ ,  $m$ , dan  $n$  adalah konstanta yang bergantung dengan bilangan Reynolds dan konfigurasi dari tube, sedangkan  $Fc$  adalah faktor koreksi dari baris tube. dan  $Pr_s$  adalah bilangan Prandtl yang dihitung pada kondisi lingkungan sekitar.

Pada konfigurasi tube berseling :

- untuk  $500 < Re < 1000$

$$C = 0,71 ; m = 0,5 ; n = 0,36$$

- untuk  $1000 < Re < 200000$

$$C = 0,35(S_T/S_L)^{0,2}; m = 0,6; n = 0,36$$

dimana :  $S_T$  = transverse pitch

$S_L$  = longitudinal pitch

### 2.3. Laju Perpindahan kalor pada Alat Penukar Kalor

Karena temperatur fluida pada alat penukar kalor tidak konstan pada setiap keadaan, maka  $\Delta T_{ira}$  dihitung berdasarkan selisih temperatur dari fluida yang masuk dan fluida yang keluar. Selisih temperatur rata-rata logaritmik :

$$LMTD = \Delta T_m = \frac{T_{maks} - T_{min}}{\ln(\Delta T_{maks} / \Delta T_{min})} \quad (11)$$

Karena alat penukar kalor shell and tube merupakan penukar kalor yang kompleks, maka digunakan faktor koreksi F, sehingga persamaan menjadi :

$$\Delta T_m = \Delta T_{lm} \cdot F \quad (12)$$

Faktor koreksi untuk penukar kalor 1 pass dan 2 shell. Kern memberikan persamaan :

$$F = \frac{\sqrt{1+R^2}}{1-R} \frac{\ln[(1-PR)/(1-P)]}{\ln\left\{\frac{2-P(1+R-\sqrt{1+R^2})}{2-P(1+R+\sqrt{1+R^2})}\right\}} \quad (13)$$

dimana :

$$P = (T_{C2} - T_{C1}) / (T_{h1} - T_{C1}) \quad (14)$$

$$R = (T_{h1} - T_{h2}) / (T_{C2} - T_{C1}) \quad (15)$$

Sehingga besarnya laju perpindahan kalor adalah :

$$Q = U_0 \cdot A \cdot \Delta T_m \quad (16)$$

### Keefektifan penukar kalor

Keefektifan penukar kalor mencerminkan unjuk kerja dari alat penukar kalor tersebut. Dengan mengasumsikan fluida panas yang mempunyai laju kapasitas kalor minimum, maka laju perpindahan kalor maksimum dapat didefinisikan sebagai :

$$\mathcal{E}_{\max} = C_{\min} (T_{hi} - T_{ci}) \quad (17)$$

Laju perpindahan kalor aktual adalah :

$$\mathcal{E}_{act} = C_{\min} (T_{hi} - T_{ho}) \quad (18)$$

Maka keefektifan penukar kalor adalah :

$$\varepsilon = \frac{\mathcal{E}_{act}}{\mathcal{E}_{\max}} = \frac{T_{hi} - T_{ho}}{T_{hi} - T_{ci}} \quad (19)$$

## III. METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan secara garis besar tergolong dalam 3 kelompok utama, yaitu:

### 1. Perangkat pengujian

#### A. Penukar kalor Shell and Tube

#### B. Larutan pendingin (coolant)

1. Produksi PT. Krama Yudha Tiga Berlian
2. Produksi Singapore Petroleum (SPC).

### 2. Pemanas air

- 2 buah heater listrik dengan daya 1000 watt dan 1 buah heater 350 watt.
- Pompa sirkulasi air dengan daya 125 watt

### 3. Instrumentasi

- Termokopel
- Pengukur debit air

### Cara penelitian dan pengambilan data.

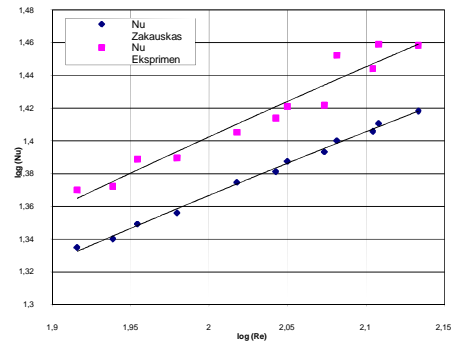
- Menghidupkan 3 unit pemanas listrik (heater), yaitu 2 unit 1000 watt dan 1 unit 350 watt guna memanaskan air yang ada di dalam tanki. Setelah beberapa lama dimana temperatur air telah mencapai temperatur yang diinginkan, jalankan pompa untuk mensirkulasikan air panas agar temperatur air pada sistem menjadi seragam.
- Setelah temperatur air dalam tangki penampung mencapai temperatur pengujian (yaitu 65 °C), kemudian air dialirkan ke sisi tube penukar kalor

melelui lubang masuk dengan mengatur laju aliran air yang telah ditentukan secara tetap.

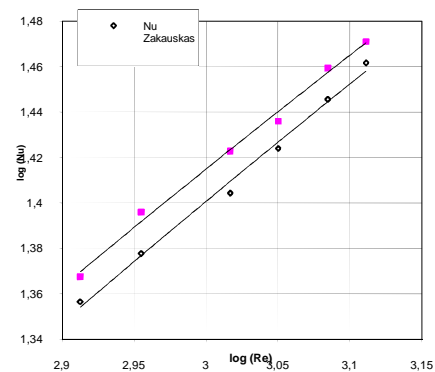
- Menghidupkan pompa air pendingin untuk memompakan air dari tangki yang akan dialirkan ke sisi shel penukar kalor dengan mengatur laju aliran sesuai dengan yang dikehendaki.
- Setelah sistem dalam keadaan steady, maka pengambilan data siap dilakukan.
- Mengulangi pengujian untuk fluida pendingin campuran coolant dan air dengan konsentrasi tertentu (67 % air + 33 % coolant).
- Setelah satu set pengujian, yaitu 1 kondisi fluida pendingin dengan 6 (enam) variasi kecepatan (0,027 m/s; 0,029 m/s; 0,034 m/s; 0,037 m/s; 0,040 m/s dan 0,042 m/s) selesai di dilakukan, maka set pengujian berikutnya yaitu menambahkan coolant pada fluida pendingin tersebut, sehingga konsentrasi campuran berubah dengan konsentrasi (50 % air + 50 % coolant) juga dilakukan dengan 6 variasi kecepatan sebagaimana pengujian sebelumnya.

Pengujian selanjutnya melakukan penggantian coolant dengan merek (produk) yang berbeda, dengan konsentrasi dan variasi kecepatan yang sama seperti pengujian sebelumnya, yaitu : (67 % air + 33 % coolant) dan (50 % air + 50 % coolant) dengan kecepatan masing-masing konsentrasi yaitu : (0,027 m/s; 0,029 m/s; 0,034 m/s; 0,037 m/s; 0,040 m/s dan 0,042 m/s). Setelah seluruh pengujian selesai dilakukan, maka seluruh sistem dihentikan.

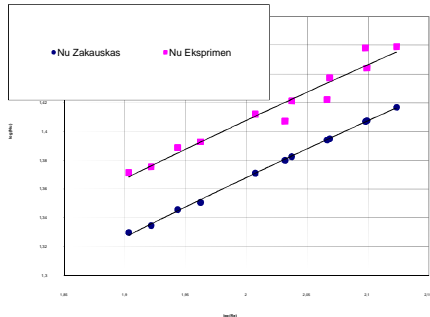
#### IV. HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA



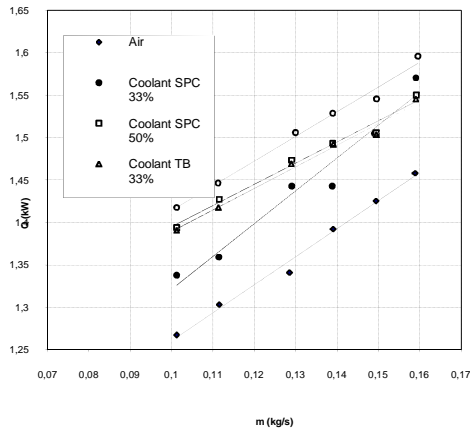
Gambar 4.1. Grafik hasil perhitungan log Nu (Zakauskas & Eksprimen) vs log Re untuk media pendingin Air



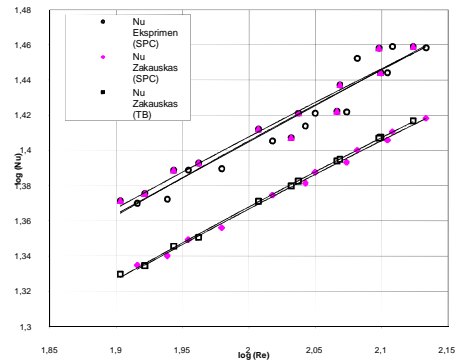
Gambar 4.2. Grafik hasil perhitungan log Nu (Zakauskas & Eksprimen) vs log Re untuk media pendingin Air + Coolant SPC



Gambar 4.3. Grafik hasil perhitungan log Nu (Zakauskas & Eksprimen) vs log Re untuk media pendingin Air + Coolant Tiga Berlian



Gambar 4.4. Grafik hasil perhitungan log Nu (Zakauskas & Eksprimen) vs log Re untuk media pendingin Air + Coolant SPC dan Air + coolant Tiga Berlian



Gambar 4.5. Grafik laju aliran massa pendingin vs. laju perpindahan kalor

#### 4.1. Pembahasan Data Pengujian

Dari grafik 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 dan 4.5 tampak bahwa bilangan Nusselt pada fluida pendingin air yang dicampur dengan coolant mempunyai harga yang lebih besar dari bilangan Nusselt fluida pendingin tanpa campuran coolant. Dengan kata lain untuk eksperimen ini harga koefisien perpindahan kalor fluida pendingin air yang dicampur dengan coolant lebih baik dari fluida pendingin tanpa menggunakan campuran coolant. Sedangkan antara campuran coolant SPC dengan Tiga Berlian mempunyai bilangan Nusselt yang hampir sama, dimana coolant Tiga Berlian sedikit lebih besar yang berarti bahwa coolant Tiga Berlian dalam eksperimen ini memiliki koefisien perpindahan kalor yang lebih baik dari koefisien perpindahan kalor coolant SPC. Untuk pengaruh laju aliran massa terhadap laju perpindahan kalor dapat dilihat pada grafik 4.7, dimana laju aliran yang semakin tinggi akan menghasilkan laju perpindahan kalor yang semakin meningkat untuk berbagai jenis fluida pendingin.

#### 4.2 Korelasi Hasil Penelitian antara bilangan Prandtl, bilangan Reynolds dengan bilangan Nusselt.

Untuk memperoleh korelasi antara parameter bilangan Nusselt, Reynolds dan Prandtl, yaitu dengan cara analisa regresi

tidak linear terhadap grafik-grafik 4.1, 4.2 dan 4.3. Korelasi yang diperoleh :

- Fluida pendingin air :

$$Nu = 0,42 Re^{0,51} Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (4.1)$$

- Fluida pendingin air + coolant SPC :

$$Nu = 0,55 Re^{0,44} Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (4.2)$$

-Fluida pendingin air + coolant Tiga Berlian :

$$Nu = 0,69 Re^{0,39} Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (4.3)$$

Sedangkan persamaan yang diberikan oleh Zakauskas pada aliran laminar adalah :

$$Nu = 0,415 Re^{0,5} Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} ; 500 < Re < 1000$$

$$Nu = 0,608 Re^{0,4} Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} ; 10^0 < Re < 500$$

Persamaan Nu dalam penelitian ini yang didapat dari hasil perhitungan mendekati persamaan Nu hasil penelitian yang dilakukan oleh Zakauskas

## V. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan pengolahan data pada penelitian ini, masih sulit untuk ditarik kesimpulan yang sempurna, hal ini dikarenakan adanya berbagai kendala dan keterbatasan dalam pelaksanaan penelitian. Namun walaupun demikian ada beberapa kesimpulan awal yang diperoleh berdasarkan fenomena dan kenyataan yang ada, yaitu :

1. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa alat penukar kalor shell and tube dengan fluida pendingin campuran air dengan coolant pada kondisi yang dipilih mempunyai parameter yang lebih baik dari pada media pendingin air.
2. Dengan penambahan laju aliran fluida pendingin, laju perpindahan kalor yang terjadi juga akan meningkat dan koefisien perpindahan kalor keseluruhan juga akan meningkat..
3. Efektivitas alat penukar kalor dengan menggunakan media pendingin campuran air dengan coolant relatif lebih baik, hal ini berarti secara ekonomi menguntungkan.
4. Fenomena yang terjadi dalam penelitian ini dapat didekati dengan fenomena yang terjadi dalam penelitian yang dilakukan oleh Zakauskas

## VI. DAFTAR PUSTAKA

1. Burnawi Karim, Abdul, “*Verifikasi Eksperimental Perpindahan Panas pada Berkas Pipa Bersirip Sirkular Susunan Berseling dan Segaris*”, Thesis Magister, Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Bandung, 1994.
2. Diby, Sukanto, “*Studi Baffle Leakage pada Penukar Kalor Shell and Tube*”, Presentasi Ilmiah hasil studi Program Doktor dan Magister, Risalah, Jakarta, 9-11 Desember 1985.
3. E.M. Sparrow and F. Samie, “*Heat Transfer and Pressure Drop Results for One and Two-row Arrays of Finned Tubes*”, Int. J. Heat and Mass Transfer, vol. 28, No. 12 pp. 1973.
4. Fraas P. Arthur, “*Heat Exchanger Design*”, Second Edition, John Wiley and Son Inc. Canada, 1989.

5. Fraas P. Arthur, "***Heat Exchanger of Heat Transfer***", Third Edition, Jhon Wiley and Son, New York, 1989.
6. Himpunan Ahli Perpindahan Kalor Indonesia, "***Prosiding Seminar dan Hasil Diskusi Panel ke-1***", S. I. Sn., 1995.
7. Laurentus S., "***Pengaruh Kecepatan Aliran Fluida Panas dan Kecepatan Aliran Fluida Dingin Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh pada Perpindahan Panas melalui Dinding***", Seminar Pundamental dan Aplikasi Teknik Kimia, Surabaya, 5-6 Nopember 1997.
8. Rowe, L. C., "***Automotive Engine Coolant : A Review of Their Requirements and Methods of Evaluation***," Engine Coolant Testing : State of the Art, ASTM STP 705, W. H. Ailor, Ed., American Society for Testing and Materials, 1980, pp. 3-23.
9. Saunders, EAD, "***Heat Exchanger, Selection, Design and Construction***", Longman Science & Technical, New York, 1988.
10. ***Standards of the Tubular Exchanger Manufacturers Association***, Seventh Edition, New York, 1988.