



## Perancangan Alat Penukar Panas (Apk) Tipe U Dengan Memanfaatkan Panas Gas Buang Menggunakan Simulasi CFD

**Galih Putra Baskara**

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Singaperbangsa Karawang

---

### Abstract

Received: 22 Desember 2022

Revised: 24 Desember 2022

Accepte: 28 Desember 2022

Type U Heat Exchanger (APK) is a form of heat exchanger which functions to heat the working fluid which will be fed to the next heating circuit. Generally the heat energy source used is exhaust gas which still has a high temperature obtained from the previous heating system. The amount of heat flow rate given by hot gas to water in the pipe is able to provide hot water supply. Preheater construction planning is made in such a way using the LMTD approach and the effectiveness and integrated CFD simulation in Ansys15.4, so that the performance of the tool can be known. The final modeling results provide the flow and temperature distribution that occur in the heat exchanger. The capitalization uses 3D steady flow by selecting standard  $K-\epsilon$  as turbulence modeling and activating the energy equation. The input data that is entered into the application is the result of measurements and calculations carried out previously. Based on previous research, the effectiveness of the designed heat exchanger has an effectiveness of 34%. After changing the type of heat exchanger, the analysis and simulation show that the effectiveness of the heat exchanger increases to 39%.

**Keywords:** Preheater, LMTD, temperatur, CFD

(\* Corresponding Author:

[galih@gmail.com](mailto:galih@gmail.com)

**How to Cite:** Baskara, G. (2023). Perancangan Alat Penukar Panas (Apk) Tipe U Dengan Memanfaatkan Panas Gas Buang Menggunakan Simulasi CFD. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(2), 197-206. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7567530>.

---

### PENDAHULUAN

Proses penyemaian dan produksi jamur merang umumnya menggunakan uap air untuk mendapatkan jamur yang baik dan berkualitas. Uap ini dihasilkan dari pemanasan air yang dilakukan dalam drum yang diletakan di atas tungku pembakaran. Gas panas hasil pembakaran dapat berupa kayu bakar atau gas melewati selimut drum dan keluar melalui cerobong pembakaran. Gas sisa pembakaran ini memiliki temperature cukup tinggi yang bergerak melewati cerobong tersebut. Melihat kondisi panas gas buang tersebut pernah dilakukan oleh saudara Gugun Hermawan untuk membuat penukar panas tipe shell dan tube. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut memberikan keuntungan terhadap biaya produksi yaitu menekan biaya oparasional bahan bakar.

Bahan bakar pembangkit uap air menggunakan pembakaran kayu bekas dengan udara sekeliling di ruang pembakaran. Temperatur gas buang hasil pembakaran yang keluar melewati cerobong dari ruang pembakaran berdasarkan pengukuran peneliti pertama memiliki temperatur adalah 230oC. Sementara air tambahan yang dipanaskan dapat mencapai temperature 100 oC.

Selama proses pembakaran, gas panas yang melewati penukar panas yang



telah dirancang juga masih memiliki temperature yang cukup tinggi juga. Artinya bahwa laju energy panas yang diserap oleh air masih rendah efektivitas penukar panas yang rendah yaitu hanya 34%. Dengan meningkatkan penyerapan panas dari gas buang juga memungkinkan meningkatkan efektivitas penukar panas yang di rancang dari sebelumnya.

Gas panas dengan temperatur 230oC tersebut dengan laju aliran gas yang cukup dapat digunakan untuk memanaskan air suplay. Air suplay adalah air cadangan yang dipakai pada saat proses pengabutan ruang isolasi. Volume air dalam drum akan berkurang karena sebagian uap dialirkan kedalam ruang tersebut. Sehingga perlu tambahan air yang akan dipakai sebagai uap air.

Melihat temperatur keluar cerobong yang masih tinggi dan kebutuhan air supaly yang dibutuhkan, penulis mencoba merancang penukar panas dengan memanfaatkan panas gas buang yang keluar dari generator uap.

### **Perpindahan Kalor**

Perpindahan kalor (heat transfer) ialah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Pada termodinamika telah kita ketahui bahwa energi yang pindah itu dinamakan kalor (heat). Ilmu perpindahan kalor tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari suatu benda ke benda lain, tetapi juga dapat meramalkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi- kondisi tertentu. Kenyataan di sini yang menjadi sasaran analisis ialah masalah laju perpindahan, inilah yang membedakan ilmu perpindahan kalor dari ilmu termodinamika.

### **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan, yaitu april s.d september 2022. Penelitian ini dilaksanakan di Universitas Singaperbangsa Karawang dan Penelitian ini memiliki beberapa tahapan yang diantaranya :

#### **Pengukuran dan Pengambilan Data**

Pengumpulan data terdiri dari :

a. Parameter operasional

Evaluasi kinerja penukar panas terdiri atas parameter-parameter sebagai berikut :

- a. Laju perpindahan kalor yang diserap air ( $Q_a$ ).
  - b. Laju Aliran Massa Air ( $m_a$ ).
  - c. Laju aliran massa gas ( $m_g$ )
  - d. Beda temperatur rata-rata logaritmik (LMTD)
  - e. Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U)
  - f. Faktor pengotoran ( $\square R_f$ )
  - g. Efektifitas Preheater
  - h. Number of Transfer Unit (NTU)
  - i. Pressure Drop
- b. Pengukuran geometri saluran gas buang
- Pengukuran geometri dilakukan pada generator uap khususnya pada

bagian saluran gas buang. Lubang saluran gas buang berada di atas diantara 2 buah drum pembangkit uap. Pengukuran pada lubang saluran menggunakan penggaris 12 inc. Untuk distribusi uap dari generator menggunakan pipa 2 inch dengan bahan PVC.

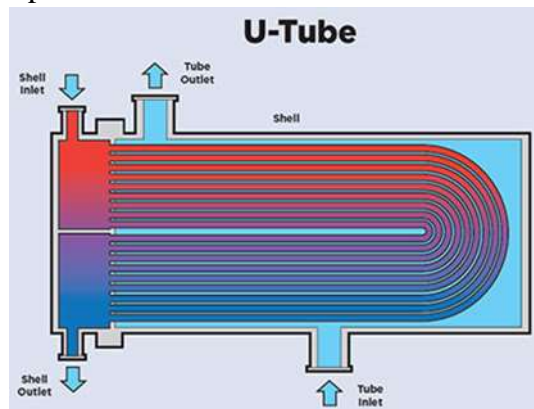
### **Penentuan volume air umpan**

Air suplay digunakan untuk memenuhi kebutuhan uap untuk penguapan jamur merang. Berdasarkan hasil pengamatan peneliti sebelumnya, air yang dipanaskan dalam pembangkit uap tidak mencukupi untuk proses penguapan ruangan jamur merang. Menurut petani jumlah air yang ditambahkan tergantung dari ukuran ruangan penguapan dan kebocoran yang terjadi dari ruang tersebut. Banyaknya air yang harus ditambahkan kedalam generator biasanya sama besarnya dengan jumlah air yang digunakan yaitu 2 drum air.

### **Pemilihan Shell dan Tube**

Shell adalah selimut pada penukar panas yang berfungsi sebagai pelindung panas agar terarah dan panasnya tidak terbuang kelingkuangan. Pada penelitian ini, shell yang dipakai adalah baja steel structural yang dipasang di atas pembangkit uap dan sejajar dengan cerobong gas.

Pipa atau tube adalah salah satu bagian utama yang berfungsi sebagai area pemindah panas, material pipa yang dipakai untuk pemindah panas adalah material yang banyak dijumpai dipasaran.

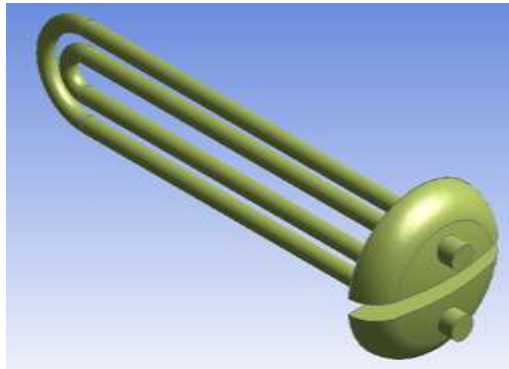


Gambar 1. Aliran fluida penukar panas pada U tube

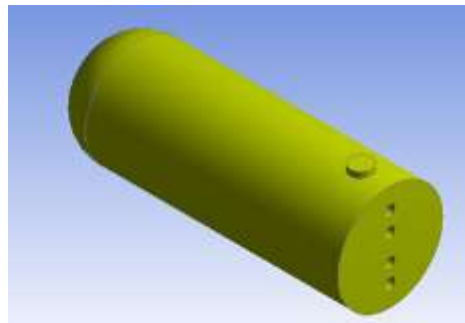
### **Model CFD**

Urutan untuk membuat sebuah penyelesaian menggunakan aplikasi ini terdiri atas :

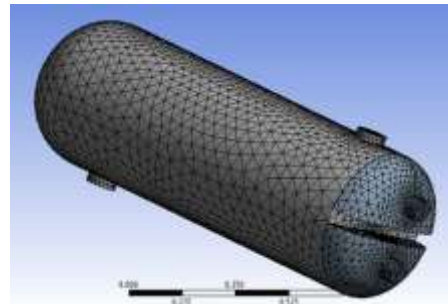
1. Membuat skematik aplikasi yang akan digunakan
2. Membuat atau membangun geometri
3. Membuat diskritisasi elemen-elemen dalam bentuk *mesh*
4. Membuat batasan dan inisialisasi *part*.
5. Memilih material dan model matematik yang dipakai
6. Grafik atau animasi hasil perhitungan



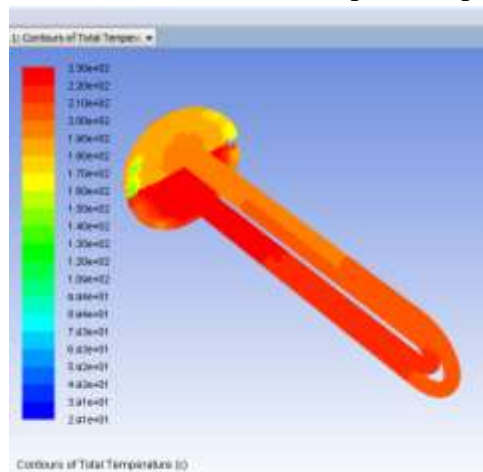
Gambar 2. Sket model tube dan udara HE Tipe U



Gambar 3. Shell untuk HE tipe U

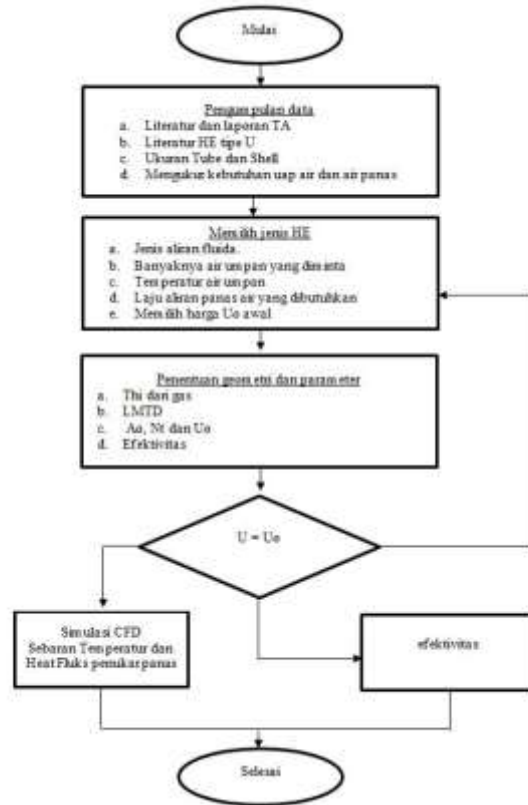


Gambar 4. Diskritisasi model untuk penukar panas tipe U



Gambar 5. Distribusi temperature gas dalam tube

**Diagram Alir**



Gambar 6. Diagram alir penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Laju Aliran Masa Air**

Hasil dari data yang ada bahwa jumlah air yang akan diuapkan sebanyak 2 drum. massa air yang dipanaskan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\dot{m}a = \rho a V d$$

V = volume air dalam drum, m<sup>3</sup>

$$Vd = \frac{2 L \pi Dd^2}{4}$$

Dimana :

$$\rho a = 980 \text{ kg/m}^3$$

$$L = 0,98 \text{ meter}$$

$$Dd = 0,65 \text{ meter}$$

Jika 80% volume drum berisi air, maka volume air yang didalam drum adalah :

$$Vd = 0,8 \frac{2 L \pi D^2}{4}$$

$$Vd = 0,8 \frac{2 \cdot 0,98 \text{ m} \cdot 3,14 \cdot 0,65^2 \text{ m}^2}{4}$$

$$Vd = 0,520 \text{ m}^3$$

Proses penguapan ruang isolasi berjalan selama 12 jam. Maka laju massa air adalah:

$$\dot{m}a = 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,520 \text{ m}^3 \frac{1}{12 \cdot 3600 \text{ s}}$$

$$\dot{m}_a = 0,012 \text{ kg/s}$$

### Pemanasan dan Penguapan Air

Mula-mula kondisi air yang akan dipanaskan berada pada temperatur lingkungan yaitu berkisar antara 28oC. Gas panas yang keluar melalui cerobong asap pembangkit akan memanaskan penukar panas yang sudah berisi air. Air dalam penukar panas akan menyerap energi panas dari gas tersebut melalui susunan pipa yang dipasang pada penukar panas hingga mencapai temperatur 90oC.

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_a C_{pa} (T_{akhir} - T_{awal})$$

$$\dot{Q}_a = 0,0118 \frac{\text{kg}}{\text{s}} 4202 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} (100 - 28)^\circ \text{C}$$

$$\dot{Q}_a = 3569,2 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

### Laju Aliran Massa Gas pada Penampang Cerobong

Kecepatan gas pembakaran yang keluar dari cerobong berkisar antara 0,6 m/s dengan temperatur 230°C. Dari data parameter gas diperoleh rapat massa gas pada temperatur rata-rata tersebut adalah  $\rho_g = 0,6428 \text{ kg/m}^3$ .

### Laju Energi Panas Gas yang Dibutuhkan

Energi panas yang dibutuhkan atau disediakan oleh gas yang mengalir melewati penukar panas harus lebih besar dari kebutuhan panas air. Pada penelitian ini panas gas yang harus disediakan diperkirakan 110% dari panas yang dibutuhkan air. Maka energi panas gas adalah :

$$\dot{Q}_g = 1,1 \dot{Q}_a$$

$$\dot{Q}_g = 1,1 3569,2 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$\dot{Q}_g = 3926,1 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

### Log Mean Temperature Difference Penukar Panas (LMTD)

Beda temperatur LMTD dari setiap sisi temperatur penukar panas untuk tipe Parallel flow dapat dihitung dengan persamaan :

Sisi fluida panas :

$$\Delta T_1 = T_{hi} - T_{co}$$

$$\Delta T_1 = 230^\circ \text{C} - 100^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_1 = 130^\circ \text{C}$$

Sisi fluida dingin :

$$\Delta T_2 = T_{ho} - T_{ci}$$

$$\Delta T_2 = 188,5^\circ \text{C} - 28^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_2 = 160,5^\circ \text{C}$$

Maka LMTD diperoleh :

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

$$LMTD = \frac{130^{\circ}C - 160,5^{\circ}C}{\ln\left(\frac{130^{\circ}C}{160,5^{\circ}C}\right)}$$

$$LMTD = 144,7^{\circ}C$$

Luas Perpindahan Panas Total

$$P = \frac{T_{co} - T_{ci}}{T_{h1} - T_{ci}}$$

$$P = \frac{100^{\circ}C - 28^{\circ}C}{230^{\circ}C - 28^{\circ}C}$$

$$P = 0,31$$

Dan

$$R = \frac{T_{hi} - T_{ho}}{T_{co} - T_{ci}}$$

$$R = \frac{230^{\circ}C - 188,5^{\circ}C}{100^{\circ}C - 28^{\circ}C}$$

$$R = 0,58$$

Dari grafik diperoleh :

$$F_c = 0,96$$

Sehingga LMTD terkoreksi menjadi :

$$LMTD = 0,96 \cdot 144,7^{\circ}C$$

$$LMTD = 138,9^{\circ}C$$

Maka luas perpindahan panas total adalah :

$$A_o = \frac{\dot{Q}_g}{F_c U_o LMTD}$$

$$A_o = \frac{3926,1 \frac{J}{s}}{0,96 \cdot 19 \frac{W}{m^2 K} \cdot 138,9^{\circ}C}$$

$$A_o = 1,4875 m^2$$

### Jumlah Pipa dan Susunan Pipa

Jumlah pipa  $N_t$  yang disusun dalam penukar panas ditentukan dari luas perpindahan panas total yang telah dihitung sebelumnya. Dengan menyusun pipa dalam format inline dan jarak antar pipa sebesar  $1,5 D_o$  maka diperoleh jumlah pipa yang diperlukan sebanyak :

$$N_t = \frac{A_o}{\pi D_o L_s}$$

$$N_t = \frac{1,4875 m^2}{3,14 \cdot 0,0508 m \cdot 1,2 m (2)}$$

$$N_t = 4 \text{ buah}$$

Maka luas perpindahan panas bagian dalam pipa adalah :

$$A_i = \pi D_i L_s N_t$$

$$A_i = 3,14 \cdot 0,0498 m \cdot 1,2 m \cdot 2 \cdot 2 \text{ tube}$$

$$A_i = 1,4592 m^2$$

**Bilangan Reynold's Aliran Gas dan Air**

Air yang mengalir melewati selimut pipa dengan laju aliran massa air 0,0118 kg/s diperoleh kecepatan :

$$Va = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a As}$$

Dimana luas penampang dalam *shell* adalah :

$$As = \frac{\pi D_s^2}{4}$$

$$As = \frac{\pi 0,5^2 m^2}{4}$$

$$As = 0,19625 m^2$$

Sehingga kecepatan air dalam *shell* adalah :

$$Va = \frac{0,012 kg/s}{998 kg/m^3 \cdot 0,19625 m^2}$$

$$Va = 6,02 m/s$$

selanjutnya melewati susunan pipa yang dipasang sejajar (*inline*). Maka bilangan Reynold's air diluar pipa didapat :

$$Rea = \frac{\rho_a Va D_o}{\mu_a}$$

$$Rea = \frac{998 \frac{kg}{m^3} 6,02 \frac{m}{s} 0,50 m}{3,06 \cdot 10^{-4} \frac{Ns}{m^2}}$$

$$Rea = 9816928,1$$

Aliran termasuk kedalam aliran turbulen dengan  $Re < 4 \cdot 10^3$ . Pada air yang mengalir didalam pipa, kecepatan aliran air dipengaruhi oleh banyaknya jumlah pipa yang disusun.

sedangkan laju aliran massa gas yang melewati saluran pipa-pipa dengan merata dengan kecepatan :

$$Vg = \frac{\dot{m}_g}{\rho_g Ai}$$

Dimana luas penampang pipa bagian dalam adalah :

$$Ap = \frac{\pi D_i^2}{4}$$

$$Ap = \frac{\pi 0,0508^2}{4}$$

$$Ap = 0,002026 m^2$$

Maka kecepatan gas dalam pipa adalah :

$$Vg = \frac{\dot{m}_g}{\rho_g Ai}$$

$$Vg = \frac{0,091 kg/s}{0,6423 \frac{kg}{m^3} 0,002026 m^2 \cdot 7}$$

$$Vg = 21 m/s$$

Sehinga bilangan Reynold's untuk gas dalam setiap pipa adalah :

$$Reg = \frac{\rho a Va Di}{\mu a}$$

$$Reg = \frac{0.6423 \frac{kg}{m^3} 21 \frac{m}{s} 0,0498 m}{2,848 \cdot 10^{-5} \frac{Ns}{m^2}}$$

$$Reg = 2402,04$$

Jenis aliran di atas termasuk aliran laminar karena  $Rea < 2000$ .

### Laju Aliran Massa Hasil Simulasi CFD

Berdasarkan hasil perhitungan awal laju aliran massa untuk gas adalah  $m_g = 0,091$  kg/s dan laju aliran massa air adalah  $m_a = 0,01180$  kg/s. Hasil dari simulasi CFD memberikan nilai sebagai berikut :

Mass Flow Rate	(kg/s)
gas_in	0.091000006
gas_out	-0.090978511
Net	2.1494925e-05

Untuk gas :

Perbedaan dengan hasil perhitungan adalah :

$$\Delta m_g = (0,091 - 0.090978511) / 0.090978511 \cdot 100$$

$$\Delta m_g = 3,2 \%$$

Sedangkan laju aliran massa air adalah :

Perbedaan dengan hasil perhitungan adalah :

Mass Flow Rate	(kg/s)
water_in	0.0118
water_out	-0.0099738846
Net	0.0018261159

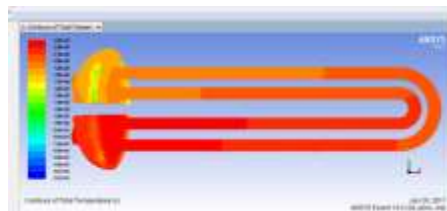
$$\Delta m_a = (0,0118 - 0.009974) / 0.009974$$

$$\Delta m_a = 0,88 \%$$

### Distribusi Temperatur Hasil Simulasi CFD

a. Distribusi pada aliran gas

Temperatur pada bagian atas setelah melewati susunan pipa mengalami penurunan sebesar 456 K. Dari target perhitungan bahwa tempertaur gas keluar adalah  $T_{ho} = 467,2$  K



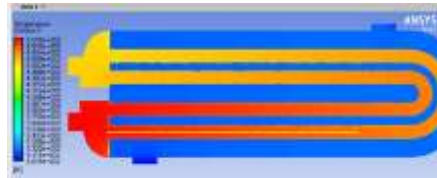
Gambar 7. Distribusi temperatur gas dalam shell

$$\Delta T_{ho} = \frac{467,2 - 456}{456} \%$$

$$\Delta T_{ho} = 2,4 \%$$

b. Distribusi pada temperatur air dalam pipa

Distribusi temperatur pada susunan pipa tidak seragam, pada susunan bagian bawah mengalami temperatur panas yang lebih besar. Kontur grafis hasil simulasi CFD sebagai berikut :



Gambar 8. Distribusi temperaur air

Temperatur air masuk  $T_{ci}$  seragam sebesar  $28^{\circ}\text{C}$  sedangkan temperatur air keluar  $T_{co}$  sebesar  $364\text{ K}$  target sebesar  $363\text{ K}$

$$\Delta T_{co} = (364 - 363) / 363$$

$$\Delta T_{co} = 0,27 \%$$

### KESIMPULAN

1. Alat Penukar Panas dirancang adalah shell and tube tipe U yang mempunyai dimensi panjang = 1200 mm dan diameter shell 500 mm.
2. Temperatur air keluar penukar panas  $T_{co} = 100^{\circ}\text{C}$ .
3. Luas perpindahan panas total  $A_o = 1,4875\text{ m}^2$ , jumlah tube = 4, dan susunan pipa *inline*
4. Diameter pipa *tube*  $D_o = 0,0508\text{ m}$ , dengan panjang  $L_s = 2.4\text{ m}$ .
5. Bentuk *shell* dengan *single header* .
6. Efektivitas penukar panas semula 0,34 bertambah menjadi 0.39 dan ini jauh lebi baik dari sebelumnya.
7. Hasil simulasi dan perhitungan memberikan perbedaan yang kecil pada terhadap parameter yang di uji pada *CFD*.

### DAFTAR PUSTAKA

- Kakak, Sadik & Liu, Hongtan, Heat Exchangers, Selection, Rating, and Thermal Design, Second edition, CRC Press, New York, 2002.
- Kreit, Frank, Perpindahan Panas, Third Edition, Mc Graw-Hill, New York, 1994
- Perkins dan Reynolds, Harahap, Filino , Termodinamika Teknik, Edisi kedua, Erlangga, Jakarta, 1991
- Holman, J.P, Jasfi, Perpindahan kalor, Edisi ke Enam, Erlangga, Jakarta, 1986.
- White, Frank, M, Fluid Mecahanics, Mc Graw Hill, USA, 1994.