

ANALISIS PERBANDINGAN *HEAT EXCHANGER* JENIS *SHELL AND TUBE* DAN *PLATE* PADA ST

Fajrin Karza Juniarzal¹; Emir Ridwan¹; Andi Ulfiana¹

Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,
Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425

¹fajrinkarza@gmail.com

Abstrak

Turbin uap merupakan salah satu peralatan utama yang memegang peranan penting dalam proses kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU). Fungsi dari turbin uap yaitu mengekspansi uap sangat panas hingga menghasilkan energi mekanis untuk menggerakkan generator yang nantinya akan menghasilkan energi listrik. Pada turbin uap, terdapat alat penukar panas yang bertujuan untuk mendinginkan temperatur oli yang akan digunakan sebagai pelumasan dan pendinginan bantalan poros pada poros turbin. Temperatur oli dijaga agar bantalan poros tidak melampaui batas normal panasnya dan mengalami keausan. Ada perbedaan dalam penggunaan jenis alat penukar panas pada turbin uap. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) X, jenis alat penukar panas yang digunakan adalah tipe pelat. Sedangkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Y, jenis alat penukar panas yang digunakan adalah tipe pipa dan cangkang.

Analisis ini bertujuan untuk menentukan alat penukar panas yang cocok dan paling efektif untuk digunakan pada turbin uap. Untuk mengetahui perbandingan perpindahan panas dan efektivitas alat penukar panas dari masing-masing tipe, digunakan metode perhitungan LMTD dengan data dari masing-masing tipe alat penukar panas. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) X, temperatur penurunan oli setelah melewati alat penukar panas dengan tipe pelat memiliki nilai berkisar 10°C. Sedangkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Y, temperatur oli setelah melewati alat penukar panas dengan tipe pipa dan cangkang memiliki nilai berkisar 8°C.

Setelah dilakukan analisis, alat penukar panas dengan tipe pelat lebih cocok dan efektif untuk digunakan pada turbin uap dibandingkan alat penukar panas dengan tipe cangkang dan pipa dikarenakan mampu menurunkan temperatur oli hingga 10°C. Alat penukar panas dengan tipe pelat juga lebih fleksibel karena dapat dengan mudah untuk dilakukan penambahan pada Pelat-nya.

Kata kunci: PLTGU, Turbin Uap, Alat Penukar Panas.

Abstract

Steam Turbine is one of the main equipment that takes an important role in the process of Gas and Steam Power Plant (PLTGU). The function of Steam Turbine is to expand superheat vapor to produce mechanical energy to drive the generator which will generate electrical energy. In Steam Turbine, there is a Heat Exchanger which aims to cool the oil temperature to be used as lubrication and cooling bearing on the turbine shaft. The temperature of the oil is kept so that the bearings are not overheated and wear out. There is a difference in the use of Heat Exchanger type on Steam Turbine. In the Gas and Steam Power Plant (PLTGU) X, the type of Heat Exchanger is Plate type. While in the Gas and Steam Power Plant (PLTGU) Y, the type of Heat Exchanger is Shell and Tube type.

This analysis aims to determine the most suitable and most effective Heat Exchanger to be used on Steam Turbine. To know the ratio of heat transfer and effectiveness of Heat Exchanger of each type, calculation method of NTU and LMTD with data from each type of Heat Exchanger were used. In the Gas and Steam Power Plant (PLTGU) X, the oil drop temperature after passing the Heat Exchanger with Plate type has a value ranging from 10 °C. While in the Gas and Steam Power Plant (PLTGU) Y, the temperature of oil decrease after passing Heat Exchangers with Shell and Tube type has a value ranging from 8 °C.

After the analysis, Heat Exchanger with Plate type is more suitable and effective for use on Steam Turbine compared to Heat Exchangers with Shell and Tube type due to be able to lower the oil temperature up to 10 °C. Heat Exchanger with Plate type is also more flexible because it can be easily done for addition to its Plate.

Keyword: PLTGU, steam turbine, heat exchanger

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Heat exchanger adalah peralatan yang digunakan untuk melakukan proses pertukaran kalor antara dua fluida, baik cair (panas atau dingin) maupun gas, dimana fluida ini memiliki *temperature* yang berbeda. *Heat exchanger* dibagi menjadi beberapa tipe, antara lain adalah *heat exchanger* tipe *shell and tube* dan *heat exchanger* tipe *plate*. Penggunaan *heat exchanger* pada PLTGU khususnya pada turbin uap tidak selalu menggunakan jenis yang sama. Turbin uap itu sendiri sangat dijaga keandalannya agar dapat memproduksi listrik dengan efisiensi yang tinggi. Jika turbin uap mengalami panas yang berlebih (*overheat*), energi yang dihasilkan oleh turbin uap akan terbuang sebagian dengan berubah menjadi energi panas. Peranan *heat exchanger* sangat penting untuk menjaga *temperature* oli pelumas pada turbin uap tetap terjaga pada *temperature* yang dianjurkan. Penggunaan *heat exchanger* pada turbin uap perlu diteliti untuk mencari jenis *heat exchanger* pada turbin uap perlu diteliti untuk mencari jenis *heat exchanger* yang tepat dan efektif.

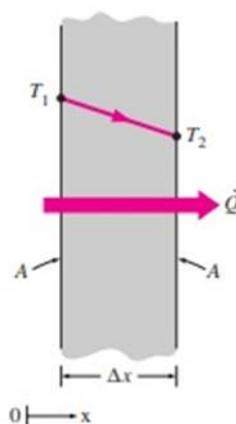
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah proses perpindahan energi panas atau kalor karena adanya perbedaan temperatur. Panas dapat berpindah dengan cara: konduksi, konveksi, dan radiasi. Semua cara perpindahan panas membutuhkan adanya perbedaan suhu. Semua cara tersebut merupakan perpindahan panas dari medium dengan temperatur tinggi ke medium dengan temperature rendah.

a. Konduksi

Konduksi adalah perpindahan energi dari substansi suatu partikel yang lebih berenergi ke substansi suatu partikel dengan energi yang lebih rendah dimana kedua partikel tersebut berdekatan sebagai hasil interaksi dari kedua partikel tersebut. Konduksi dapat terjadi pada zat padat, cair, atau gas. Pada zat cair dan gas, konduksi disebabkan oleh tumbukan dan penyebaran molekul-molekul ketika bergerak tidak beraturan. Sedangkan pada zat padat, disebabkan oleh kombinasi antara pergerakan molekul pada fin dan perpindahan energi dari elektron bebas.



Gambar 2.1 Konduksi

Gambar II-1 menggambarkan suatu konduksi panas yang terjadi pada dinding pesawat terbang dengan ketebalan Δx dan area permukaan A .

b. Konveksi

Konveksi adalah perpindahan energi yang terjadi antara permukaan zat padat dan zat cair yang berdekatan atau gas yang bergerak dan menyebabkan kombinasi efek konduksi dan pergerakan fluida. Semakin cepat pergerakan fluida maka akan semakin besar pula konveksi perpindahan panasnya.

c. Radiasi

Radiasi adalah perpindahan energi dari sumber ke penerima tanpa ada perlambatan perpindahan energi atau tanpa sarana eksistensi material. Semua zat (pada temperatur di atas nol absolute) memancarkan radiasi elektromagnetik. Jika terdapat dua material dengan temperatur yang berbeda maka radiasi energi dari salah satu material di tangkap oleh material lainnya (dan sebaliknya), terdapat perpindahan energi dari yang memiliki energi lebih besar (temperatur yang lebih tinggi). Faktanya, perpindahan energi dengan cara ini adalah yang paling cepat (dalam kecepatan cahaya). Ini menjelaskan, bagaimana energi yang dimiliki matahari dapat diterima oleh bumi.

2.2 Alat Penukar Panas

Alat penukar panas adalah peralatan yang memfasilitasi pertukaran panas antara dua fluida dengan temperature yang berbeda dan menjaganya agar tidak tercampur satu sama lain. Alat penukar panas umumnya digunakan dalam praktek dalam berbagai aplikasi, dari pemanasan dan sistem pendingin udara, untuk pengolahan kimia dan produksi listrik di pabrik dalam besar. Aplikasi pertukaran panas yang berbeda memerlukan berbagai jenis perangkat dan konfigurasi alat penukar panas yang berbeda. Upaya untuk mencocokkan perangkat penukar panas dengan persyaratan transfer panas telah menghasilkan berbagai jenis desain alat penukar panas yang inovatif. Alat penukar panas dapat dibagi berdasarkan konstruksi dan jenis permukaan perpindahan panasnya. Pembagian tipe heat exchanger secara konstruksi diantaranya tipe *tubular*, Sirip dan pelat, dan *Tube and fin*. Sementara itu, pembagian tipe *heat exchanger* berdasarkan jenis permukaan perpindahan panasnya dapat diatur dalam beberapa bentuk diantaranya *single tube arrangement*, *shell and tube arrangement*, dan *cross flow heat exchanger*.

a. Alat Penukar Panas dengan Sirip Pelat

Alat penukar panas tipe ini memiliki pelat yang bergelombang, komponen tersebut biasanya berbentuk segitiga dan persegi.

b. Alat Penukar Panas *Shell and tube*

Shell and tube merupakan jenis *heat exchanger* yang populer dan lebih banyak digunakan. *Shell and tube* terdiri dari sejumlah *tube* yang terpasang didalam *shell* yang berbentuk silindris. Terdapat dua fluida yang mengalir, dimana satu fluida mengalir di dalam *tube*, dan yang lainnya mengalir diluar *tube*.

2.3 Perhitungan Kinerja *Heat Exchanger*

Perhitungan yang digunakan dalam mencari efektivitas dari *Heat Exchanger* jenis *shell and tube* dan jenis *plate* diantaranya adalah sebagai berikut:

a. Perhitungan laju perpindahan panas aktual

Laju perpindahan panas aktual adalah laju panas yang dilepaskan oleh fluida panas atau yang diserap oleh fluida dingin, yang dapat dihitung dengan persamaan berikut[1]:

$$Q_{act} = C_h \cdot (T_{h1} - T_{h2}) \quad \text{(Persamaan 1)}$$

Atau

$$Q_{act} = C_c \cdot (T_{c1} - T_{c2}) \quad \text{(Persamaan 2)}$$

Dimana:

Q_{act} = Laju perpindahan panas aktual (W)

C_h = Laju kapasitas panas fluida panas (W/K)

C_c = Laju kapasitas panas fluida dingin (W/K)

T_{h1} = Temperatur fluida panas masuk *heat exchanger* (K)

T_{h2} = Temperatur fluida panas keluar *heat exchanger* (K)

T_{c1} = Temperatur fluida dingin masuk *heat exchanger* (K)

T_{c2} = Temperatur fluida dingin keluar *heat exchanger* (K)

Selain itu perhitungan laju perpindahan panas aktual dapat dicari dengan persamaan[1]:

$$Q_{act} = U \cdot A_s \cdot \Delta T_{lm} \quad (\text{Persamaan 3})$$

dimana :

U = Koefisien perpindahan panas global (W/m^2K)

A_s = Luas permukaan perpindahan panas (m^2)

ΔT_{lm} = Perbedaan temperatur rata-rata logaritma/ LMTD (K)

b. Perhitungan laju kapasitas panas

Untuk mempermudah menghitung laju perpindahan panas, dibutuhkan perhitungan laju kapasitas panas. Kapasitas panas dapat dihitung dengan persamaan berikut[1]:

$$C_h = \dot{m}_h \cdot cp_h \quad (\text{Persamaan 4})$$

atau

$$C_c = \dot{m}_c \cdot cp_c \quad (\text{Persamaan 5})$$

dimana:

C_h = Laju kapasitas panas fluida panas (W/K)

C_c = Laju kapasitas panas fluida dingin (W/K)

\dot{m}_h = Laju aliran massa fluida panas (kg/s)

\dot{m}_c = Laju aliran massa fluida dingin (kg/s)

c. Perhitungan laju perpindahan panas maksimal

Laju perpindahan panas maksimal adalah nilai laju perpindahan panas terbesar yang mungkin terjadi pada *heat exchanger* yang dapat dihitung dengan persamaan berikut [1]:

$$Q_{max} = C_{min}(T_{h1} - T_{c1}) \quad \text{(Persamaan 6)}$$

dimana:

Q_{max} = Laju perpindahan panas (W)

C_{min} = Nilai terkecil diantara nilai C_h dan C_c (W/K)

T_{h1} = Temperatur fluida panas masuk *heat exchanger* (W/K)

T_{c1} = Temperatur fluida dingin masuk *heat exchanger* (W/K)

d. Perhitungan LMTD

Besarnya nilai LMTD atau perbedaan temperatur rata rata logaritma bergantung pada jenis *heat exchanger* yang digunakan, dimana pada dasarnya dibagi menjadi 3 (tiga) jenis *heat exchanger* berdasarkan arah alirannya yaitu *parallel flow* (searah), *counter flow* (berlawanan), dan *multi pass and cross flow* (*shell and tube*). Persamaan untuk menghitung nilai LMTD dari masing masing jenis *heat exchanger* yaitu [1]:

1) *Parallel flow* dan *counter flow*

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad \text{(Persamaan 7)}$$

dimana untuk *parallel flow*:

$$\Delta T_1 = T_{h1} - T_{c1} \quad \text{(Persamaan 8)}$$

$$\Delta T_2 = T_{h2} - T_{c2} \quad \text{(Persamaan 9)}$$

sedangkan untuk *counter flow*:

$$\Delta T_1 = T_{h1} - T_{c2} \quad \text{(Persamaan 10)}$$

$$\Delta T_2 = T_{h2} - T_{c1} \quad \text{(Persamaan 11)}$$

2) *Multi pass* dan *cross flow*

$$\Delta T_{lm} = F \cdot \Delta T_{lm,cf} \quad \text{(Persamaan 12)}$$

dimana :

F = Faktor koreksi, $F < 1$

$\Delta T_{lm,cf}$ = LMTD *counter flow* (K)

e. Perhitungan efektivitas

Efektivitas *heat exchanger* dapat dihitung dengan persamaan berikut [1]:

$$\epsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} \quad \text{(Persamaan 12)}$$

dimana:

ϵ = Efektivitas (%)

Q_{act} = Laju perpindahan panas aktual (W)

Q_{max} = Laju perpindahan maksimal (W)

III. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk menentukan jenis *heat exchanger* yang tepat dan efektif untuk digunakan pada turbin uap, maka harus menggunakan metode-metode sebagai berikut

1. Studi literatur pada data sekunder yang di dapat dari masing-masing PLTGU
2. Pengolahan data dengan menggunakan metode LMTD
3. Perbandingan data hasil penelitian
4. Plotting ke dalam grafik
5. Penarikan kesimpulan

Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut

Alat:

- 1 buah Laptop HP (Hewlett Packard)
- Software Microsoft Excel

Bahan:

- Data operasi mengenai temperature oli pada turbin uap, PLTGU Cilegon dan PLTGU Grati.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan data

Tahap awal yang dilakukan adalah mengumpulkan data-data yang telah diketahui atau data instalasi, yang bersumber dari *manual book*, katalog produk, dan data operasi dari PLTGU Cilegon dan PLTGU Grati. Data instalasi tersebut diantaranya spesifikasi *shell and tube* dan *plate* dan karakteristik fluida. Sedangkan data operasi yaitu temperatur kerja fluida yang masuk dan keluar *shell and tube* dan *plate*.

a. Spesifikasi *Heat Exchanger tipe Shell and tube*

	Tekanan (kg/cm ²)	Temperatur (°C)
SISI AIR	11	50
SISI OIL	9	85
Max tekanan yang diperbolehkan dalam operasi		

	Sisi Air		Sisi Oli	
<i>Design Press</i>	11	kg/cm ²	8.5	kg/cm ²
<i>Design Temp</i>	50	°C	85	°C
<i>Test Press</i>	16	kg/cm ²	12	Kg/cm ²
<i>Hold Volume</i>	-		-	

b. Spesifikasi *Heat Exchanger tipe Plate*

	Tekanan(kg/cm ²)	Temperatur (°C)
SISI AIR	12.02	50
SISI OLI	4.99	80
Max tekanan yang diperbolehkan dalam operasi		

	Sisi Air		Sisi Oli	
<i>Design Press</i>	12.03	kg/cm ²	4.99	kg/cm ²
<i>Design Temp</i>	50	°C	80	°C
<i>Test Press</i>	18.048	kg/cm ²	7.54	kg/cm ²
<i>Hold Volume</i>	181.2	L	181.2	L

c. Karakteristik fluida yang digunakan

1) Karakteristik oli

- ISO grade : VG 46
- *Manufacturer* : Shell
- Massa jenis (ρ_h) : 885,8 kg/m³
- Panas jenis (c_{ph}) : 2,001 kJ/kg.K
- Debit aliran (q_h) : 0,000167 m³/s

2) Karakteristik air

- Massa jenis (ρ_c) : 994,1 kg/m³
- Panas jenis (c_{pc}) : 4,187 kJ/kg.K
- Debit aliran (q_c) : 0,0000833 m³/s

4.2 Perhitungan Kinerja Masing-masing Tipe Heat Exchanger

a. Perhitungan Data Instalasi

Parameter yang diketahui diantaranya:

- Massa jenis oli, $\rho_h = 885,8 \text{ kg/m}^3$
- Massa jenis air, $\rho_c = 994,1 \text{ kg/m}^3$
- Debit aliran oli, $q_h = 0,000167 \text{ m}^3/\text{s}$
- Debit aliran air, $q_c = 0,0000833 \text{ m}^3/\text{s}$
- Panas jenis oli, $c_{ph} = 2,001 \text{ kJ/kg.K}$
- Panas jenis air, $c_{pc} = 4,187 \text{ kJ/kg.K}$

Selanjutnya dilakukan perhitungan sebagai berikut:

1) Perhitungan laju aliran massa oli, \dot{m}_h

$$\dot{m}_h = \rho_h \cdot q_h$$

$$\dot{m}_h = 0.148 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

2) Perhitungan laju aliran massa air, \dot{m}_c

$$\dot{m}_c = \rho_c \cdot q_c$$

$$\dot{m}_c = 0.083 \frac{kg}{s}$$

- 3) Perhitungan laju kapasitas oli, C_h

$$C_h = \dot{m}_h \cdot cp_h$$

$$C_h = 0.296 \frac{kJ}{s \cdot K} = 0.296 \frac{kW}{K}$$

- 4) Perhitungan laju kapasitas air, C_c

$$C_c = \dot{m}_c \cdot cp_c$$

$$C_c = 0.347 \frac{kJ}{s \cdot K} = 0.347 \frac{kW}{K}$$

- 5) Laju kapasitas panas minimum, C_{min}

Karena nilai $C_h < C_c$ maka,

$$C_{min} = C_h = 0.296 \frac{kW}{K}$$

b. Perhitungan Data Operasi dan Kinerja

Perhitungan akan dibagi menjadi beberapa kondisi dari tiap-tiap tipe *Heat Exchanger*.

- 1) Perhitungan *heat exchanger* jenis *plate*

- a) Kondisi Awal Pengoperasian

Parameter yang diketahui diantaranya:

- $T_{h1} = 57.71 \text{ } ^\circ\text{C} = 330.86 \text{ K}$
- $T_{h2} = 45.59 \text{ } ^\circ\text{C} = 318.74 \text{ K}$
- $T_{c1} = 30.87 \text{ } ^\circ\text{C} = 304.02 \text{ K}$

- $\dot{m}_h = 0.148 \frac{kg}{s}$

- $\dot{m}_c = 0.083 \frac{kg}{s}$

- $C_h = 0.296 \frac{kW}{K}$

- $C_c = 0.347 \frac{kW}{K}$

- $C_{min} = 0.296 \frac{kW}{K}$
- $A_s = 108.5 m^2$

b) Perhitungan Q_{max}

$$Q_{max} = C_{min}(T_{h1} - T_{c1})$$
$$Q_{max} = 7.94 kW$$

c) Perhitungan Q_{act}

$$Q_{act} = C_h \cdot (T_{h1} - T_{h2})$$
$$Q_{act} = 3.58 kW$$

d) Perhitungan ϵ

$$\epsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} \times 100\%$$

$$\epsilon = 45.08 \%$$

2) Perhitungan *heat exchanger* jenis *shell and tube*

a) Kondisi Awal Pengoperasian

Parameter yang diketahui diantaranya:

- $T_{h1} = 51^\circ C = 324.55 K$
- $T_{h2} = 45^\circ C = 318.15 K$
- $T_{c1} = 32.5^\circ C = 305.65 K$
- $\dot{m}_h = 0.148 \frac{kg}{s}$
- $\dot{m}_c = 0.083 \frac{kg}{s}$
- $C_h = 0.296 \frac{kW}{K}$
- $C_c = 0.347 \frac{kW}{K}$
- $C_{min} = 0.296 \frac{kW}{K}$
- $A_s = 154 m^2$

e) Perhitungan Q_{max}

$$Q_{max} = C_{min}(T_{h1} - T_{c1})$$
$$Q_{max} = 5.47 \text{ kW}$$

f) Perhitungan Q_{act}

$$Q_{act} = C_h \cdot (T_{h1} - T_{h2})$$
$$Q_{act} = 1.89 \text{ kW}$$

g) Perhitungan ϵ

$$\epsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} \times 100\%$$

$$\epsilon = 34.5\%$$

4.3 Analisis

a) Analisis Perbandingan Q_{act}

Berdasarkan hasil perhitungan laju perpindahan panas aktual dari masing-masing tipe *heat exchanger*, nilai laju perpindahan panas *heat exchanger* tipe *plate* adalah 3.58 kW. Sedangkan nilai laju perpindahan panas aktual *heat exchanger* tipe *shell and tube* adalah 1.89 kW.

b) Analisis efektivitas ϵ

Berdasarkan hasil perhitungan efektivitas dari masing-masing tipe *heat exchanger*, nilai efektivitas *heat exchanger* tipe *plate* adalah 45.08%. Sedangkan nilai efektivitas *heat exchanger* tipe *shell and tube* adalah 34.5%

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis dihasilkan beberapa kesimpulan diantaranya:

1. *Heat Exchanger* tipe *Plate* memiliki laju perpindahan panas aktual 3.58 kW lebih besar 1.69 kW dibanding *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Laju perpindahan panas aktual yang lebih unggul adalah dari *heat exchanger* tipe *plate*.
2. Efektivitas dari masing-masing *heat exchanger* bergantung terhadap perbandingan Q_{act} dan Q_{max} yang dihasilkan. Sehingga jika Q_{act} -nya mengalami penurunan maka efektivitasnya pun mengalami penurunan. Dari perbandingan laju perpindahan panas kedua tipe *heat exchanger*, *heat exchanger* tipe *plate* lebih besar dibanding *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Begitu pun hasil perhitungan efektivitas yang dihasilkan. *Heat exchanger* tipe *plate* lebih efektif 10.58% dibanding *heat exchanger* tipe *shell and tube*.
3. Dalam hal *maintenance* pun, *heat exchanger* tipe *plate* lebih murah dibanding tipe *shell and tube*.

Dengan ini penulis menyimpulkan bahwa *heat exchanger* tipe *plate* lebih unggul dibanding *heat exchanger* tipe *shell and tube* pada *steam turbine*. Penulis meyarankan jika pembangkit ingin mengurangi biaya dalam perawatan *heat exchanger*, *heat exchanger* tipe *plate* adalah pilihan yang tepat

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Cengel, Y.A. (2006). *Heat Transfer: A Practical Approach* (2nd Ed). Ohio: McGraw- Hill Higher Education.
- [2]. Kakac, S., Liu, H. (2002). *Heat exchanger: Selection, Rating, and Thermal Design* (2nd Ed). Florida: CRC Press.
- [3]. Kothandaraman, C.P. (2006). *Fundamentals of Heat and Mass Trasfer* (3rd Ed). New Delhi: New Age International (P) Ltd.
- [4]. Bizzy, I., Setiadi, R. (2013). Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube dengan Program Heat Transfer Research Inc. (HTRI). *Jurnal Rekayasa Mesin*, 3(1).
- [5]. Soekardi, C. (2015). Analisis Pengaruh Efektivitas Perpindahan Panas dan Tahanan Termal Terhadap Rancangan Termal Alat Penukar Kalor Shell & Tube. *Jurnal Sinergi*, 19(1).
- [6]. Holman, J.P. (2010). *Heat Transfer* (10th Ed). New York: McGraw-Hill