

# PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP UNJUK KERJA REHEATER BABCOCK & WILCOX CAROLINA RADIANT BOILER PLTU TANJUNG JATI B UNIT 1

Ilyas Rochani, Wahyono

Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin  
Politeknik Negeri Semarang  
Jl. Prof. H. Sudarto, S.H, Tembalang, Semarang, 50275, PO BOX 6199 / SMS  
Telp. (024) 7473417, 7499585, Faks. (024) 7472396

## ABSTRAK

“Reheater merupakan salah satu komponen penting dalam PLTU yang berfungsi untuk memanaskan kembali uap keluaran HP Turbine sebelum menuju IP Turbine dengan memanfaatkan panas gas buang. Unjuk kerja reheater perlu dicari untuk mengetahui karakteristik kerjanya terhadap perubahan beban yang fluktuatif agar dapat mempertahankan kontinuitas kerja PLTU. Penulisan artikel ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh perubahan beban terhadap unjuk kerja reheater Babcock & Wilcox Carolina Radiant Boiler PLTU Tanjung Jati B Unit 1. Data yang diambil merupakan data harian pada bulan Maret 2015 dan pengambilan data dilakukan dengan mengunduh melalui software Top-i solvo secara online dari Central Control Room (CCR) PLTU Tanjung Jati B Unit 1, kemudian pengolahan data menggunakan metode Log Mean Temperature Different (LMTD) dan Effectiveness – NTU. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa Effectiveness tertinggi didapatkan sebesar 77.6 % ketika laju perpindahan panasnya 238.2 MW pada pembebanan 617.8 MW. Effectiveness meningkat seiring meningkatnya pembebanan disebabkan karena laju perpindahan panas juga meningkat.”

**Kata kunci :** reheater, PLTU, unjuk kerja, effective

## I. PENDAHULUAN

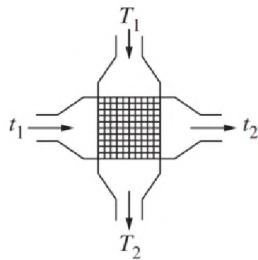
PLTU merupakan salah satu bentuk pembangkit listrik yang menggunakan siklus Rankine sebagai dasar instalasi dan pengoperasiannya. Banyak hal telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi siklus Rankine, salah satunya adalah *Reheat Rankine Cycle* (Siklus Rankine Dengan Pemanasan Ulang). Dimana pada siklus tersebut lebih ditekankan pada pemanfaatan fluida kerja uap semaksimal mungkin untuk dapat memutar *multi-stage turbine*. Umumnya *multi-stage turbine* (turbin bertingkat) terdiri dari tiga tingkat turbin, yaitu *high pressure turbine* (turbin tekanan tinggi), *intermediate pressure turbine* (turbin tekanan menengah), dan *low pressure turbine* (turbin

tekanan rendah). Uap yang telah digunakan dan berekspansi pada *high pressure turbine* digunakan lagi untuk memutar *intermediate pressure turbine* dan *low pressure turbine* dengan sebelumnya diberikan pemanasan terlebih dahulu di dalam boiler (ketel uap). Alat yang digunakan untuk memanaskan uap dari *high pressure turbine* sebelum menuju *intermediate pressure turbine* adalah *reheater* (pemanas ulang). *Reheater* sendiri merupakan *heat exchanger* (penukar kalor) yang berupa pipa – pipa yang disusun sedemikian rupa sehingga dapat memindahkan panas dari aliran *flue gas* (gas buang) di dalam boiler ke dalam aliran uap di dalam *reheater* tersebut.

Peranan *reheater* sangat penting dalam kontinuitas pengoperasian PLTU yang berdasar pada *Reheat Rankine Cycle*. Kualitas unjuk kerja *reheater* perlu diketahui



sehingga perpindahan panas konveksi yang terjadi lebih efektif dan efisien.



Gambar 2.2. Skema arah aliran *crossflow*  
(Sumber : Yunus A. Cengel, 2006)

Terdapat beberapa jenis konstruksi *reheater* yang sering digunakan dalam pembangkit – pembangkit listrik tenaga termal modern, yaitu : tipe gantung (*pendant reheater*), tipe terbalik (*inverted reheater*), dan tipe horisontal (*horizontalreheater*).

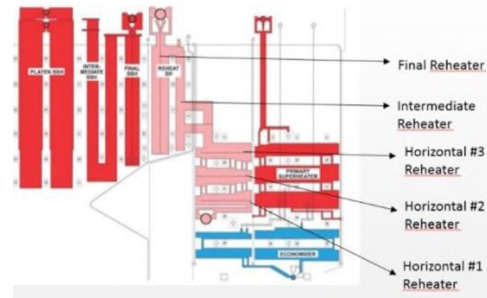
Area *reheater* PLTU Tanjung Jati B Unit 1 dibagi menjadi dua bagian, yaitu *horizontal section* dan *pendant section*. *Horizontal section* terdiri dari *horizontalreheater* 1, 2, dan 3, sedangkan *pendant section* terdiri dari *intermediate* dan *final reheater*. *Horizontal section* terletak pada *boiler* bagian belakang (utara) dan disekat dengan *primary*

LMTD adalah rata-rata logaritmik dari selisih temperatur antara fluida panas dan fluida dingin pada *heat exchanger*. Pendekatan LMTD dalam analisa perpindahan panas bisa digunakan jika temperatur masuk dan keluar diketahui

## 2. Metode *Effectiveness* – NTU

Metode LMTD bisa digunakan dalam penganalisaan *heat exchanger* jika temperatur masuk dan keluar masing – masing fluida diketahui. Namun jika pada suatu kasus salah satu parameter tidak diketahui sehingga perlu dilakukan iterasi yang cukup lama, akan lebih mudah jika digunakan metode *Effectiveness* – NTU.

*superheater*, sedangkan *pendant section* terletak di *boiler* bagian depan (selatan) tepatnya di belakang *pendant secondary superheater*.



Gambar 2.3. Letak bagian – bagian *reheater* dalam *boiler*

(Sumber : TJB General Overview, 2004)

Dalam menganalisa unjuk kerja suatu *heat exchanger*, dapat digunakan beberapa metode sebagai berikut :

## 1. Metode *Log Mean Temperature Different* (LMTD)

## III. PENGUMPULAN DATA

Pengambilan data tugas akhir ini dilakukan ketika penulis melaksanakan magang yang bertempat di PT PLN (Persero) sektor Pembangkitan PLTU Tanjung Jati B Unit 1. Studi kepustakaan dilakukan dengan mencari referensi dari *manual book* dan beberapa buku referensi terkait perpindahan panas, sedangkan pengambilan data aktual dilakukan dengan mengunduh parameter – parameter terkait dari *software Top-i solvo*. Sedangkan *software Top-i solvo* sendiri merupakan *software* yang dapat memantau dan mengunduh data parameter - parameter dari CCR (*Central Control Room*)

Data yang digunakan adalah data harian bulan Maret 2015 dengan penyeleksian sebanyak 15 sampel data dikarenakan pada tanggal – tanggal tertentu dilakukan *maintenance* dari pihak O&M, sehingga tidak semua data bisa digunakan sebagai data pengoperasian harian pada kondisi normal. Data yang didapatkan dirasa cukup untuk dapat mengetahui unjuk kerja *reheater* pada PLTU Tanjung Jati B Unit 1.

Selain data *reheater*, dihitung pula data untuk *economizer*, *primary superheater*, serta *secondary superheater* untuk dapat dicari nilai laju perpindahan panas total masuk siklus uap yang kemudian dapat dibandingkan dengan laju perpindahan panas *reheater*.

Beberapa parameter yang diambil adalah sebagai berikut :

- a. Temperatur awal – akhir uap *reheater* ( $T_{ci}$ ,  $T_{co}$ )
- b. Temperatur awal – akhir gas buang *reheater* ( $T_{hi}$ ,  $T_{ho}$ )
- c. Temperatur awal – akhir air *economizer* ( $T_{ei}$ ,  $T_{eo}$ )
- d. Temperatur awal – akhir uap *primary superheater* ( $T_{psi}$ ,  $T_{pso}$ )
- e. Temperatur awal – akhir uap *secondary superheater* ( $T_{ssi}$ ,  $T_{sso}$ )
- f. Tekanan awal – akhir air *economizer* ( $P_{ei}$ ,  $P_{eo}$ )
- g. Tekanan awal – akhir uap *primary superheater* ( $P_{psi}$ ,  $P_{pso}$ )
- h. Tekanan awal – akhir uap *secondary superheater* ( $P_{ssi}$ ,  $P_{sso}$ )
- i. Laju aliran massa fluida pada *reheater*, gas buang, *economizer*, *primary superheater*, dan *secondary superheater* ( $\dot{m}_c$ ,  $\dot{m}_h$ ,  $\dot{m}_e$ ,  $\dot{m}_{ps}$ ,  $\dot{m}_{ss}$ )

#### IV. PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA

Perhitungan unjuk kerja *reheater* ini menggunakan metode LMTD dan metode

*Effectiveness* – NTU dengan uraian sebagai berikut :

1. Laju perpindahan panas (Q)

##### a. Laju perpindahan panas *reheater*

Sebelum menghitung Q *reheater* perlu diketahui nilai  $C_p$  dari gas buang dengan menggunakan tabel *ideal-gas specific heats of various common gases* dari buku referensi *Thermodynamics An Engineering Approach 5th Edition - Cengel, Boles*, sehingga didapatkan  $C_{ph}$  sebesar 1,2 kJ/kg.K.

$$\begin{aligned} Q &= \dot{m}_h \cdot C_{ph} \cdot (T_{hi} - T_{ho}) \\ &= 609,002 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1,200 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \cdot (1004,3 - 699,6) \text{ K} \\ &= 609,002 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \cdot (1004,3 - 699,6) \text{ K} \\ &= 221532633 \text{ W} \end{aligned}$$

##### b. Laju perpindahan panas *economizer* ( $Q_e$ )

$$\begin{aligned} Q_e &= \dot{m}_e \cdot (h_{eo} - h_{ei}) \\ &= \left( 1930,9 \frac{\text{t}}{\text{h}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{3600 \text{ s}} \right) \cdot \left( 1387 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 1238 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \\ &= 79918685 \text{ W} \end{aligned}$$

##### c. Laju perpindahan panas *primary superheater* ( $Q_{ps}$ )

$$\begin{aligned} Q_{ps} &= \dot{m}_{ps} \cdot (h_{pso} - h_{psi}) \\ &= \left( 1922,7 \frac{\text{t}}{\text{h}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{3600 \text{ s}} \right) \cdot \left( 2933 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 1387 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \\ &= 825673416 \text{ W} \end{aligned}$$

##### d. Laju perpindahan panas *secondary superheater* ( $Q_{ss}$ )

$$\begin{aligned} Q_{ss} &= \dot{m}_{ss} \cdot (h_{sso} - h_{ssi}) \\ &= \left( 1922,7 \frac{\text{t}}{\text{h}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{3600 \text{ s}} \right) \cdot \left( 3392 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2933 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \\ &= 245138485 \text{ W} \end{aligned}$$

##### e. Laju perpindahan panas total siklus ( $Q_{in\ tot}$ )

$$Q_{in\ tot} = Q + Q_e + Q_{ps} + Q_{ss}$$

$$\begin{aligned}
 &= (221532633 + 79918685 + 825673416 \\
 &\quad + 245138485) \text{ W} \\
 &= 1372263220 \text{ W}
 \end{aligned}$$

2. Log Mean Temperature Different (LMTD)

$$\begin{aligned}
 \Delta T_{LM} &= \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln\left(\frac{T_{hi} - T_{co}}{T_{ho} - T_{ci}}\right)} \\
 &= \frac{(1004,3 \text{ K} - 815 \text{ K}) - (699,6 \text{ K} - 609,5 \text{ K})}{\ln\left(\frac{1004,3 \text{ K} - 815 \text{ K}}{699,6 \text{ K} - 609,5 \text{ K}}\right)} \\
 &= 133,6 \text{ K}
 \end{aligned}$$

3. Koefisien perpindahan panas total (U)

Untuk menghitung nilai U, diperlukan nilai faktor koreksi (F) untuk *heat exchanger* dengan arah aliran *crossflow*. Nilai F didapatkan dari grafik *correction factor of crossflow heat exchanger with both fluid unmixed* sebesar 0,77, sehingga :

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{Q}{A \cdot F \cdot \Delta T_{LM}} \\
 &= \frac{221532633 \text{ W}}{16408 \text{ m}^2 \cdot 0,77 \cdot 133,6 \text{ K}} \\
 &= 131,287 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

4. Effectiveness – NTU

a. Number of Transfer Unit (NTU)

b.

Sebelum menghitung *Effectiveness*, perlu dihitung terlebih dahulu nilai NTU. Perhitungan NTU adalah sebagai berikut :

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{min}}$$

Tabel 4.1. Data hasil perhitungan unjuk kerja *reheater*

No.	Beban (MW)	Q (W)	Qe (W)	Qps (W)	Qss (W)
1.	537,1	213061644,3	66901308.46	689765385.3	183606613
2.	550,7	220176210,8	71237327.61	714927001	216685499
3.	579,2	224469919,3	73628119.91	720012926.6	217910595
4.	596,9	234851655,7	77481484.75	783806830.9	228486148
5.	617,8	238202493,5	76818801.74	766501056.2	234072345
6.	557,0	221532632,7	79918685.68	825673416.1	245138485
7.	529,5	214933141,7	70276201.04	697658362.6	178224618
8.	495,5	209673854,9	67306314.29	676889508.1	192805935
9.	499,3	210360606,9	68658583.37	663333393.9	19045801
10.	514,3	208003479,5	64674833.31	647138844.8	164182232
11.	502,6	207212265,7	63592191.2	669122499.6	20173296
12.	450,0	188894188,6	64690290.26	689421046.3	186397482
13.	456,9	191681451,4	63375769.86	689436447.1	193877885
14.	474,0	203900442,1	65062071.74	659592885.6	202510183
15.	457,3	201430779,9	54793142.02	559736351.7	15768629

$$\begin{aligned}
 NTU &= \frac{U \cdot A}{C_h} \\
 &= \frac{131,287 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 16408 \text{ m}^2}{727072 \text{ W/K}} \\
 &= 2,963
 \end{aligned}$$

c. Effectiveness (ε)

$$\begin{aligned}
 \epsilon &= \left\{ 1 - \exp\left\{ \frac{NTU^{0,22}}{C} [\exp(-C \cdot NTU^{0,78}) - 1] \right\} \right\} \\
 &\quad \times 100\% \\
 &= \left\{ 1 - \exp\left\{ \frac{2,963^{0,22}}{0,674} [\exp(-0,674 \cdot 2,963^{0,78}) - 1] \right\} \right\} \times 100\% \\
 &= 77,523 \%
 \end{aligned}$$

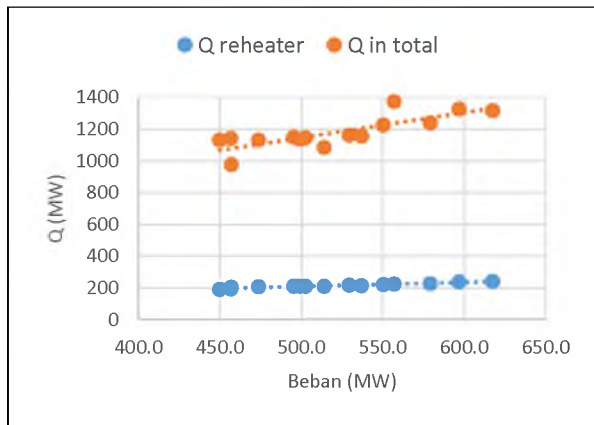
Dimana nilai C adalah perbandingan antara

No.	Beban (MW)	Q (W)	LMTD (K)	U (W/m <sup>2</sup> .K)	NTU	ε (%)
1.	537,1	213061644,3	126,8	131,262	2,968	77,580
2.	550,7	220176210,8	127,1	135,363	2,995	77,643
3.	579,2	224469919,3	127,6	137,496	3,003	77,634
4.	596,9	234851655,7	129,6	141,595	2,994	77,580
5.	617,8	238202493,5	130,5	142,614	3,050	77,641
6.	557,0	221532632,7	133,6	131,287	2,963	77,523
7.	529,5	214933141,7	132,9	124,733	2,904	77,478
8.	495,5	209673854,9	132,8	121,849	2,898	77,561
9.	499,3	210360606,9	134,5	120,695	2,882	77,384
10.	514,3	208003479,5	135,3	118,574	2,865	77,235
11.	502,6	207212265,7	136,4	117,192	2,851	77,301
12.	450,0	188894188,6	136,3	105,608	2,821	77,384
13.	456,9	191681451,4	136,5	106,989	2,823	77,398
14.	474,0	203900442,1	139,6	111,233	2,835	77,268
15.	457,3	201430779,9	146,1	103,748	2,783	76,400

$C_{min}$  dengan  $C_{max}$ .

Setelah dihitung sesuai contoh perhitungan di atas, maka didapatkan data perhitungan sebagai

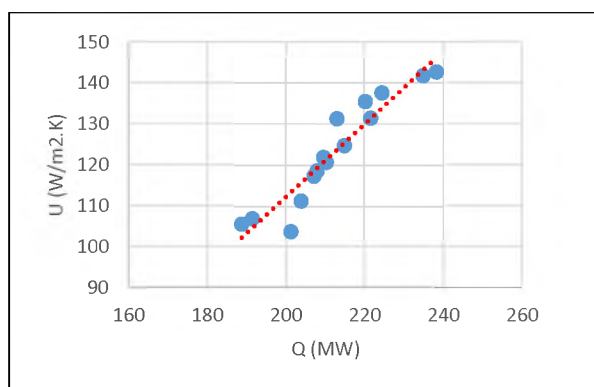
Dari tabel hasil perhitungan di atas, dapat dibuat beberapa grafik unjuk kerja *reheater* sebagai berikut :



Gambar 4.1. Grafik hubungan laju perpindahan panas dengan pembebanan

Grafik hubungan laju perpindahan panas ( $Q$ ) dengan pembebanan menunjukkan bahwa hubungan nilai laju perpindahan panas dengan pembebanan adalah linier. Grafik dinyatakan dalam bentuk grafik hubungan

antara laju perpindahan panas *reheater* dengan koefisien perpindahan panas total *reheater*.



Gambar 4.2. Grafik hubungan laju perpindahan panas *reheater* dengan koefisien perpindahan panas total *reheater*

Pada grafik hubungan laju perpindahan panas *reheater* ( $Q$ ) dengan koefisien

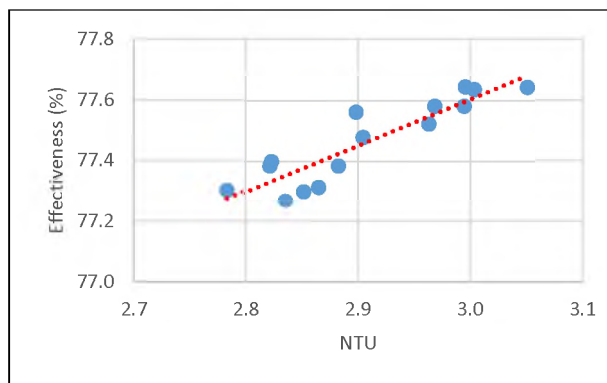
hubungan laju perpindahan panas *reheater* terlihat linier naik meskipun pada skala yang lebih kecil, sedangkan pada grafik hubungan laju perpindahan panas masuk total terlihat jelas linier dan naik karena adanya pengaruh komponen – komponen lain yang juga menambahkan panas siklus selain *reheater*. Nilai laju perpindahan panas *reheater* terbesar didapatkan sebesar 238,2 MW ketika beban sebesar 617,8 MW, sedangkan nilai laju perpindahan panas terkecil didapatkan sebesar 188,9 MW ketika beban sebesar 450 MW, sedangkan untuk laju perpindahan panas masuk total terbesar didapatkan sebesar 1372,3 MW pada pembebanan 557 MW dan laju perpindahan panas masuk total terkecil didapatkan sebesar 973,6 MW pada pembebanan 457,3 MW. Grafik hubungan laju perpindahan panas dengan pembebanan juga menunjukkan bahwa semakin beban dinaikkan, maka laju perpindahan panas pun semakin tinggi.

Unjuk kerja *reheater* juga dapat

perpindahan panas total bisa diketahui bahwa terjadi hubungan linier naik antara keduanya, dimana nilai koefisien perpindahan panas total tertinggi didapatkan sebesar 142,6  $W/m^2.K$ . Ketika laju perpindahan panas sebesar 238,2 MW, sedangkan nilai koefisien perpindahan panas terkecil didapatkan sebesar 103,7  $W/m^2.K$  ketika laju perpindahan panas sebesar 201,4 MW. Grafik hubungan laju perpindahan panas *reheater* dengan koefisien perpindahan panas total memiliki kecenderungan *trendline* yang linier, sehingga seharusnya semakin besar nilai pembebanan maka semakin tinggi juga nilai koefisien perpindahan panas. Hal tersebut seharusnya terjadi karena nilai koefisien perpindahan panas total berbanding

lurus dengan laju perpindahan panas sesuai dengan persamaan  $U = \frac{Q}{A \cdot F \cdot \Delta T_{LM}}$ .

NTU dan *Effectiveness* pun dapat dibuat grafik hubungannya, mengingat bahwa keduanya merupakan parameter penting dalam unjuk kerja *reheater* sebagai *heat exchanger* (penukar kalor).



Gambar 4.3. Grafik hubungan NTU dengan *Effectiveness*

Grafik hubungan NTU dengan *Effectiveness* menunjukkan adanya hubungan yang linier fluktuatif. Nilai NTU tertinggi didapatkan sebesar 3,051 ketika *Effectiveness* sebesar 77,6 %, sedangkan nilai NTU terendah didapatkan sebesar 2,783 ketika *Effectiveness* sebesar 77,3 %. Jika diperhatikan, grafik hubungan NTU dengan *Effectiveness* cenderung linier, sehingga semakin tinggi *Effectiveness* maka semakin tinggi nilai NTU begitupun sebaliknya.

## V. PENUTUP

### a. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat penulis ambil adalah:

- Semakin tinggi pembebanan maka akan semakin baik unjuk kerja *reheater* yang berupa semakin tingginya nilai laju perpindahan panas (Q), koefisien perpindahan panas total (U), NTU, dan *Effectiveness*, atau dengan kata lain parameter Q, U, NTU, dan *Effectiveness* linier dengan pembebanan.

- *Reheater* PLTU Tanjung Jati B unit 1 akan menunjukkan unjuk kerja terbaik ketika PLTU Tanjung Jati B unit 1 beroperasi pada beban 580 – 630 MW, karena pada beban tersebut untuk parameter laju perpindahan panas (Q), koefisien perpindahan panas total (U), NTU, dan *Effectiveness* berada pada titik tertingginya, sedangkan LMTD berada pada titik yang cukup rendah pada beban 580 – 630 MW.

### b. Saran

Saran yang dapat penulis sampaikan adalah perlunya dijaga pengoperasian serta perawatan sootblower pada area *reheater* untuk meminimalisir terjadinya fouling atau pengerakan gas buang pada permukaan luar pipa – pipa *reheater*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2013. *ReheaterBoiler*. [www.emcee-engg.com](http://www.emcee-engg.com), (13 April 2015)
- Cengel, Yunus A. dan Boles, Michael A. 2001. *Thermodynamics : An Engineering Approach*. Boston : McGraw-Hill.
- Cengel, Yunus A. 2006. *Heat and Mass Transfer: A Practical Approach*, 2<sup>nd</sup> Edition., New York : Mc.Graw-Hill.
- El Wakil, M. M. 1992. *Powerplant Technology*. New York : Mc. Graw-Hill.
- Incropera, F.P., DeWit, Bergan, Lavine. 2006. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6<sup>th</sup> Edition.
- Rahardjo, Parsumo et al. 2014. *Buku Pedoman Penyusunan Tugas Akhir/Skripsi*. Semarang.
- The Babcock & Wilcox Company. 2004. *Tanjung Jati B Training Boiler Overview*. Charlotte.

Tubular Exchanger Manufacturers Association (TEMA). 1999. *Standards of The Tubular Exchanger Manufacturers Association*, 8<sup>th</sup> Edition. New York : Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc.

Welty, J. R., Wilson, R.E., dan Wicks, C.E. 1976. *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer*, 2<sup>nd</sup> Edition. New York : John Wiley & Sons, Inc.