

# Analisa Keandalan Kondensor dengan Menggunakan *Debris Filter* di PLTU Belawan

**Andri Ramadhan**

Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Al-Azhar Medan

E-mail : andriramadhan@gmail.com

## Abstrak

PLTU merupakan pembangkit listrik tenaga thermal yang mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik. Sistem air pendingin pada PLTU diperlukan secara terus menerus selama turbin uap beroperasi. Apabila aliran air pendingin terganggu atau hilang, maka operasi turbin uap harus dihentikan, karena turbin uap tidak dapat beroperasi tanpa aliran air pendingin ke kondensor masalah pada pipa aliran air pendingin pada kondensor seperti menumpuknya kotoran yang diakibatkan adanya biota laut antara lain teritip, kerang, ganggang, tiram dan jenis tumbuhan lainnya. Penyaring seperti *Debris Filter* diperlukan untuk menyaring kotoran pada air laut. Apabila terjadi kerusakan pada *Debris Filter* seperti rusaknya motor *Debris* dan kerusakan mekanis pada *Filter* akan mengakibatkan kotoran dapat lolos dan masuk ke kondensor, akibatnya *tube-tube* akan mengalami *plugging* (penyumbatan) dan bisa menyebabkan gangguan perpindahan panas yang secara langsung juga berakibat pada buruknya kevakuman pada kondensor. Hasil perhitungan menunjukkan besarnya standar nilai tipikal koefisien perpindahan panas di dalam *fouling sea water*  $1000-3000 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  dan di mana besar nilai koefisien perpindahan panas di dalam *fouling* ( $h_f$ ) yang dihitung masih didalam batas kewajaran atau dengan kata lain tergolong bersih yaitu  $1276,82 \text{ W/m}^2 \cdot {}^\circ\text{C}$ . Besarnya standar nilai tetapan dalam persamaan empiris faktor tanpa dimensi mengenai kebersihan adalah 0,85, di mana besar nilai yang diperoleh dari hasil perhitungan yaitu 0,75 masih tergolong bersih. Penggunaan *debris filter* pada kondensor membuktikan bahwa keandalan kondensor pada pembangkit PLTU sektor Belawan Unit 3 masih dalam kondisi baik berdasarkan kebersihan pada *tube*.

**Kata kunci :** Ergonomi, Postur Kerja, ROSA

## 1. Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

Energi listrik di Indonesia menjadi faktor penunjang untuk meningkatkan kegiatan industri. Salah satu pembangkit yang sering digunakan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Pada proses pembangkit tenaga listrik terjadi proses pembakaran terhadap air untuk menghasilkan uap. Uap tersebut kemudian dialirkan ke turbin untuk memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik [2]. Pada pembangkit listrik tenaga uap biasanya memiliki sistem pendingin. Kelangsungan pengoperasian turbin uap sangat dipengaruhi oleh kelangsungan pasok air pendingin. Apabila aliran air pendingin terganggu atau hilang, maka operasi turbin uap harus dihentikan, karena turbin uap tidak dapat beroperasi tanpa aliran air pendingin ke kondensor [3]. Dengan vakum kondensor yang bagus, maka efisiensi turbin bagus. Jika tidak berarti ada masalah pada pipa aliran air pendingin pada kondensor seperti menumpuknya kotoran yang

diakibatkan adanya biota laut antara lain teritip, kerang, ganggang, tiram dan jenis tumbuhan lainnya. Maka perlu adanya penyaring seperti *Debris Filter*.

*Debris Filter* merupakan alat untuk menyaring air yang masuk ke dalam pipa saluran air pendingin pada kondensor agar benda-benda asing tidak mudah masuk ke dalam pipa. Apabila terjadi kerusakan pada *Debris Filter* seperti rusaknya motor *Debris* dan kerusakan mekanis pada *Filter* akan mengakibatkan kotoran dapat lolos dan masuk ke kondensor. Akibatnya *tube-tube* akan mengalami *plugging* (penyumbatan) dan bisa menyebabkan gangguan perpindahan panas yang secara langsung juga berakibat pada buruknya kevakuman pada kondensor. Kotoran yang berlebih dan tidak ditanggulangi akan mengakibatkan gangguan pada kinerja alat pembangkit. Dengan kata lain, permasalahan yang ditimbulkan yaitu berkurangnya perpindahan panas (heat transfer) kondensor, turunnya persentase tekanan vakum pada kondensor, pengoperasian *Back Wash Debris Filter Condensor* secara manual dan besarnya *differential pressure* pada *debris filter condensor*.

## 1.2 Tujuan

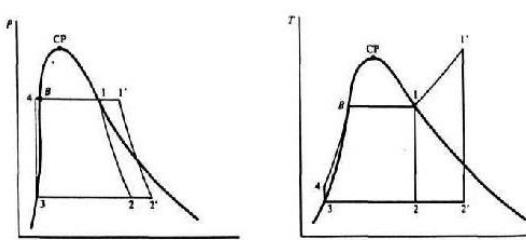
Adapun yang menjadi tujuan pada penelitian adalah:

- Untuk mengetahui pengaruh penggunaan *Debris Filter* kondensor pada sistem pendingin di PLTU sektor Belawan.
- Untuk mengidentifikasi dan mengetahui besarnya laju dan koefisien perpindahan panas pada kondensor di PLTU unit 3 sektor Belawan.
- Untuk mengidentifikasi keandalan pada kondensor di PLTU unit 3 sektor Belawan berdasarkan nilai tipikal koefisien perpindahan panas di dalam *fouling*.

## 1.3 Tinjauan Pustaka

### A. Siklus Rankine Dengan Proses Pemanasan Ulang

Siklus Rankine sederhana terdiri dari empat komponen utama yaitu pompa, *boiler*, turbin dan *condenser*. Skematik siklus *Rankine* sederhana ditunjukkan pada Gambar 1.[7]. Untuk meningkatkan efisiensi instalasi pembangkit listrik, sebelum air dipompa memasuki ke *boiler*, *feedwater* harus dipanaskan terlebih dahulu hingga mencapai suhu tertentu. Pemanasan tersebut dilakukan dengan *heater* (*heat exchanger*), yang berlangsung secara konduksi dengan memanfaatkan uap panas yang diambil (diekstraksi) dari turbin. Jadi selain diteruskan ke *condenser*, ada sejumlah kecil uap dari turbin yang diambil untuk memanaskan *feedwater heater* atau dengan istilahnya sejumlah uap diekstraksi ke *feedwater heater* (tekanan ekstraksi) [5], [8].



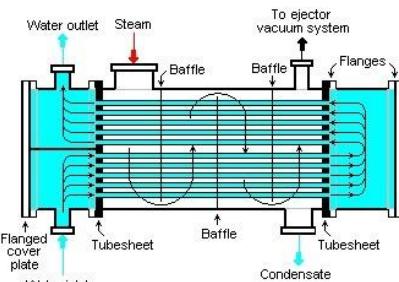
Gambar 1. Siklus Rankine ideal dalam diagram (a) p-v dan (b) T-s [9]

Siklus 1-2-3-4-B-1 adalah siklus Rankine Jenuh, yang berarti uap jenuh ke dalam turbin. Siklus 1'-2'-3-4-B-1 merupakan siklus Rankine uap super panas karena uap super panas yang masuk turbin. Siklus tersebut melalui proses sebagai berikut: 1 – 2 atau 1' – 2': ekspansi *adiabatic reversible* dalam turbin, uap keluar pada 2 atau 2' berada dalam daerah campuran dua fase 2 – 3 atau 2' – 3: panas keluar pada suhu dan tekanan konstan di kondensor 3 – 4: kompresi *abiabatic*

*reversible* oleh pompa terhadap cair jenuh [9].

### B. Kondensor

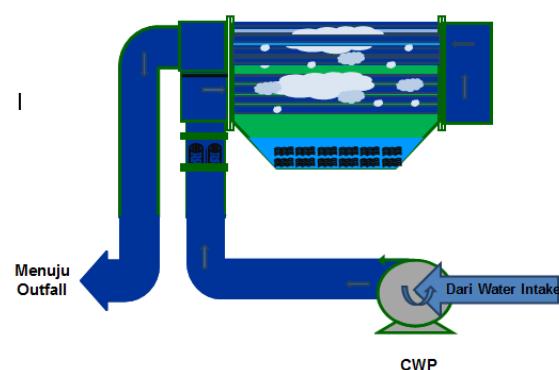
Kondensor adalah alat yang berfungsi untuk mengembunkan uap yang telah memutar turbin untuk dijadikan air yang akan digunakan untuk siklus selanjutnya. Sebelum masuk kedalam kondensor, air laut biasanya melewati debris filter yang berfungsi untuk menyaring kotoran-kotoran ataupun Lumpur yang terbawa air laut. Agar uap dapat bergerak turun dengan lancar dari sudut terakhir LP Turbin, maka Vakum kondensor harus dijaga [10][11].



Gambar 2. Prinsip Kerja Kondensor Pembangkit Listrik Umum [11]

### C. Debris Filter Condensor

*Debris filter condensor* adalah *strainer/saringan* yang digunakan untuk menyaring kotoran yang dibawa air pendingin (air laut) untuk masuk ke dalam kondensor agar tidak mengotori tube-tube dalam kondensor. Dalam 1 inlet sea water, terdapat 4 *Debris filter condensor* [3].



Gambar 3. Letak *Debris filter condensor* [3]

### D. Perhitungan Variable Perpindahan Panas dan Permukaan Pada Kondensor

Adapun variabel perpindahan panas pada kondensor terdiri dari koefisien perpindahan panas total (U), beda temperatur rata-rata, ( $\Delta T_m$  aliran berlawanan) [13]



$C_2$ : faktor koreksi (tak berdimensi) untuk temp. masuk air pendingin

$C_3$ : faktor koreksi (tak berdimensi) untuk material tube dan Gauge

$C_4$ : faktor kebersihan (tak berdimensi)

**Tabel 1.**  
Tetapan dalam Persamaan [10]

Diameter luar tabung	3/4	7/8	1,0
$C_1$ [ $V$ dalam $\text{ft}^3/\text{s}$ , $U$ dalam $\text{BTU}/(\text{ft}^2 \cdot \text{F})$ ]	270	263	251
$C_1$ [ $V$ dalam $\text{m}^3/\text{s}$ , $U$ dalam $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ]	2777	2705	2582
Suhu Air, F	35	40	45
$C_2$	0,57	0,64	0,72
Bahan Tabung	304	Admiralty	Kuningan
	Baja	arsen-	Aluminum
	tahan-karat	Tembaga	logam Muntz
$C_3$	18 BWG	0,58	1,00
	17 BWG	0,56	0,98
	18 BWG	0,54	0,96
$C_4$ 0,85 untuk tabung bersih, lebih kecil bila tabung diliputi ganggang dan lumpur			

### c. Sirkulasi Aliran Air Kondensor

Penentuan sirkulasi aliran air di dalam kondensor itu sangat penting karena bagian-bagian lain sirkulasi air akan menentukan besarnya daya pompa yang diperlukan.

Laju aliran massa air,  $m_w$ , diberikan oleh persamaan [18][19]:

$$m_w = \frac{Q}{C_p(T_2 - T_1)} \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

Di mana  $C_p$  adalah kalor spesifikasi air sedangkan ( $T_1-T_2$ ) masing-masing adalah suhu masuk dan keluaranya [18][19].

**Tabel 2.**  
Nilai Tipikal Koefisien Perpindahan Panas di Dalam Fouling [13].

Fluid	Coefficient W/(m <sup>2</sup> . C)
River water	3000-12000
Sea Water	1000-3000
Cooling Water (towers)	3000-6000
Towns water (soft)	3000-5000
Towns water (hard)	1000-2000
Steam condensate	1500-5000
Steam (oil free)	4000-10000
Steam (oil traces)	2000-5000
Refrigerated brine	3000-5000
Air and industrial gases	5000-10000
Flue gases	2000-5000
Organic vapours	5000
Organic liquids	5000
Light hydrocarbons	5000
Heavy hydrocarbons	2000
Boiling organics	2500
Condensing organics	5000
Heat transfer fluids	5000
Aqueous salt solutions	3000-5000

**Tabel 3.**  
Tipikal Koefisien Perpindahan Panas Total, U [13]

Shell and Tube Exchangers		
Fluid	Cold Fluid	Coefficient W/(m <sup>2</sup> . C)
<b>Heat Exchangers</b>		
Water	Organic solvents	800-1500
Organic solvents	Organic solvents	100-300
Light oils	Ligh oils	100-400
Heavy oils	Heavy oils	50-300
Gases	Gases	100-50
<b>Coolers</b>		
Organic solvents	Water	250-750
Lights oils	Water	350-900
Heavy oils	Water	60-300
Gases	Water	20-300
Organic solvents	Brine	150-500
Water	Brine	600-1200
Gases	Brine	15-250
<b>Heaters</b>		
Steam	Water	1500-4000
Steam	Organic solvents	500-1000
Steam	Light oils	300-900
Steam	Heavy oils	60-450
Steam	Gases	30-300
Downtherm	Heavy oils	50-300
Downtherm	Gases	20-200
Flue gases	Steam	30-100
Flue	Hydrocarbon vapours	30-100
<b>Condensers</b>		
Aqueous vapours	Water	1000-1500
Organic vapours	Water	700-1000
Organic (some non-condensables)	Water	500-700
Vacuu condensers	Water	200-500
<b>Vaporisers</b>		
Steam	Aqueous solutions	1000-1500
Steam	Light organics	900-1200
Steam	Heavy organics	600-900

## 2. Methodologi

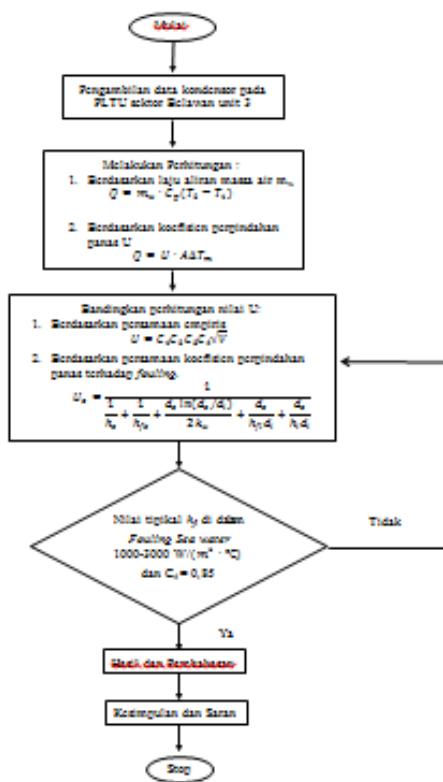
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode literatur, perolehan data lapangan, perolehan data non lapangan,

spesifikasi *Debris Filter*, analisa dan kesimpulan. Literatur yang digunakan bersumber dari buku, jurnal, website, dan laporan penelitian yang berkaitan dengan penelitian ini. Perolehan data lapangan di dapat dari PLTU sektor Belawan unit 3 dan informasi yang disampaikan oleh operator yang bertanggungjawab pada sistem kerja mesin pendingin.

**Tabel 4.**  
Spesifikasi Kondensor (System Cooling-Tower)

Data Parameter	Sisi-Uap (Steam)	Sisi-Pendingin (Air)
	CV30.44-2-99-2820	
Tipe Kondensor		
Temperatur uap masuk kondensor ( $T_{hi}$ )	48 °C	-
Temperatur uap keluar kondensor ( $T_{ho}$ )	47 °C	-
Temperatur air pendingin masuk kondensor ( $T_{ci}$ )	-	30 °C
Temperatur air pendingin keluar kondensor ( $T_{co}$ )	-	40 °C
Luas permukaan perpindahan panas	2739 m <sup>2</sup>	2739 m <sup>2</sup>
Panjang pipa (L)	-	9,9 m
Diameter luar pipa ( $d_o$ )	-	0,024 m
Diameter dalam pipa ( $d_i$ )	-	0,0226 m
Pitch Tube	-	1,75 x $d_o$
Diameter dalam shell ( $D_s$ )	3,1 m	-
Jumlah Pipa	-	5040 buah
Bahan Pipa	Titanium	Titanium
Kapasitas sirkulasi air	-	9550 m <sup>3</sup> /jam
Laju aliran uap	46,727 kg/s	-
Laju aliran air pendingin	-	2370 kg/s
Kecepatan air pendingin	-	2,36 m/s
Tekanan uap masuk	0,04 MPa	-
Jarak Baffle ( $I_b$ )	-	0,785 m

## 2.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. Diagram alir pelaksanaan penelitian

## 2.1 Data Sistem Air Pendingin Pada PLTU Sektor Belawan Unit 3

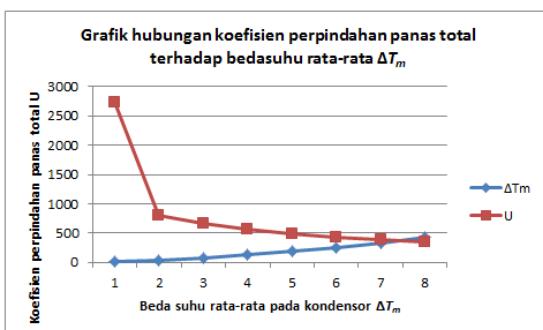
Adapun data-data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Sektor Belawan Unit 3, antara lain dapat dilihat pada tabel 4 berikut :

Setiap tahapan perhitungan yang akan dilakukan untuk menganalisa pengaruh pemakaian Debris filter dan keandalan kondensor pada sistem pendingin di PLTU sektor Belawan unit 3 dapat dilihat pada Gambar berikut. Tahapan-tahapan ini akan dihitung dengan membandingkan penggunaan persamaan di atas dan mengatur nilai dari koefisien perpindahan panas U sehingga di dapat nilai tipikal U di dalam fouling sea water. Sehingga dengan demikian diperoleh hasil seberapa bersih air laut sebagai pendingin kondensor yang difilter oleh debris filter.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Analisa Hubungan Beda suhu Rata-rata di dalam Kondensor terhadap Koefisien Perpindahan Panas Total

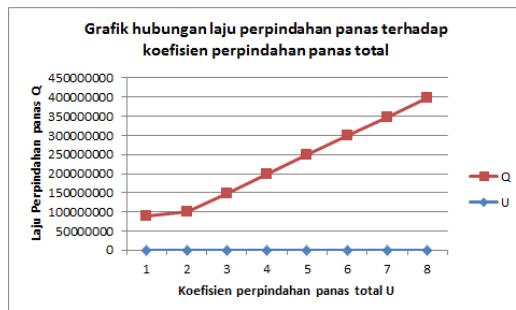
Dari gambar 5 berikut dapat dilihat bahwa semakin tinggi beda suhu rata-rata ( $ΔT_m$ ) maka semakin rendah koefisien perpindahan panas totalnya, dan sebaliknya.



Gambar 5. Grafik hubungan beda suhu rata-rata pada kondensor  $\Delta T_m$  dengan koefisien perpindahan panas total

### 3.2 Analisa hubungan laju perpindahan panas $Q$ dengan koefisien perpindahan panas total $U$

Laju perpindahan panas pada kondensor akan mempengaruhi koefisien perpindahan panas total. Semakin besar nilai laju perpindahan panas yang terjadi, maka nilai koefisien perpindahan panas total yang ada pada tube akan semakin menurun, seperti terlihat pada Gambar 6. Hal tersebut menunjukkan hubungan laju perpindahan panas berbanding terbalik dengan koefisien perpindahan panas total.



Gambar 6. Grafik Pengaruh hubungan laju perpindahan panas  $Q$  dengan koefisien perpindahan panas total  $U$

### 3.3 Analisa Faktor Tanpa Dimensi Mengenai Kebersihan $C_4$

Kebersihan pada kondensor perlu di jaga agar tetap dalam keadaan bersih. Hal ini dikarenakan *cooling water* yang digunakan pada kondensor berasal dari air laut, sehingga akan banyak terdapat endapan dan kotoran-kotoran yang ikut masuk dan sebagian akan mengendap pada permukaan tube-tube pada bagian kondensor lainnya. Di mana untuk menghitung  $C_4$  ada faktor lain yang mempengaruhi yaitu menentukan nilai  $C_1$  yang bernilai 2705 berdasarkan diameter luar tabung 7/8, berdasarkan suhu air 84,74 °F di dapat nilai  $C_2$  yaitu 1,06 serta berdasarkan bahan tabung yaitu

titanium diperoleh nilai  $C_3$  (18 BWG) adalah 0,83 sehingga didapat nilai faktor kebersihan  $C_4$  adalah 0,75.

### 3.4 Analisa Koefisien Perpindahan Panas di Dalam Fouling $h_f$

Pada penelitian ini nilai tipikal koefisien perpindahan panas di dalam *fouling*, nilai fluida untuk air laut bernilai 1000-3000 W/(m<sup>2</sup>·°C) dan hasil yang diperoleh dari perhitungan adalah 1276,82 W/m<sup>2</sup>·°C. Hal ini membuktikan penggunaan *debrith filter* mempengaruhi kebersihan di dalam *tube*.

### 3.5 Pengaruh Penggunaan Debrith Filter Terhadap Keandalan Kondensor

Kekotoran yang berlebihan dan tidak ditanggulangi akan mengakibatkan gangguan pada kinerja alat pembangkit. Fungsi dan tujuan *Debrith Filter Condenser* menyaring air pendingin (air laut) yang masuk dalam kondensor, menjaga kebersihan *tube-tube* dalam kondensor, dan mencegah masuknya kotoran yang dapat mengganggu proses kondensasi.

Jika kotoran bertumpuk pada *Debrith Filter* diperlukan proses *back wash*. *Back wash* kondensor merupakan salah satu usaha untuk menjaga performa kondensor dengan cara membalik arah aliran kondensor. Tujuannya yaitu untuk membuang kotoran-kotoran yang masuk ke dalam *water box inlet* kondensor dan menghalangi (melakukan plugging) *tube* kondensor sisi *inlet*.

## 4. Simpulan

1. Besarnya standar nilai tipikal koefisien perpindahan panas di dalam *fouling sea water* adalah 1000-3000 W/m<sup>2</sup>·°C dan di mana besar nilai koefisien perpindahan panas di dalam *fouling* ( $h_f$ ) yang dihitung masih didalam batas kewajaran atau dengan kata lain tergolong bersih yaitu 1276,82 W/m<sup>2</sup>·°C.
2. Besarnya standar nilai tetapan dalam persamaan empiris faktor tanpa dimensi mengenai kebersihan adalah 0,85, di mana besar nilai yang diperoleh dari hasil perhitungan yaitu 0,75 masih tergolong bersih.
3. Penggunaan *debrith filter* pada kondensor membuktikan bahwa keandalan kondensor pada pembangkit PLTU sektor Belawan Unit 3 masih dalam kondisi baik berdasarkan kebersihan pada *tube*.

**Daftar Pustaka**

- [1] Instalasi Pembangkit PLTU, 2004, *Pengoperasian Pembangkit Thermal*, PT. PLN (Persero) Unit Pendidikan dan Pelatihan Suralaya.
- [2] M. Suyitno. 2011. *Pembangkit Energi Listrik*. Rineka Cipta. Jakarta.
- [3] Instalasi Pembangkit PLTU. 2007. *Sistem Air Pendingin*. PT. PLN (Persero) Unit Pendidikan dan Pelatihan Suralaya.
- [4] Allen Bellas, Diane Finney. Lan Lange, 2011, *Technological Advance In Cooling System at U.S. Power Plants*. Stirling Economics Discussion Paper 2011-05. March 2011.
- [5] Suzuki Akihito, Seki Kenehu, Takei Takeo. 2005. *High-Performance Condenser Tube Cleaning System Featuring Advanced Ball Collecting Technology Hitachi Review*. Vol-54 (2005). No. 3.
- [6] Habiba Syahrir H, Muh, Cahyadi. F, Suryani. 2006, *Analisis Efektifitas Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) pada PT. Energi Sengkang ILTEK*, Volume I, Nomor 2, April 2006.
- [7] Junaidi Dendi, Suardjaja I Made, Rahmat Tri Agung, 2010, *Kesetimbangan Masa dan Kalor Serta Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Pada Berbagai Perubahan Beban Dengan menvariasikan Jumlah Feedwater Heater*, Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, 18 November 2010 ISSN 1978-0178.
- [8] Cengel, Yunus A, Boles, Michael A, 2008, *Thermodynamics Engineering Approach*, Fourth Edition in II Unit, McGraw-Hill.
- [9] Ristyanto.AN, Windartor. J, Handoko.S, ...., *Simulasi Perhitungan Efisiensi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Rembang*, Universitas Diponegoro Semarang Indonesia.
- [10] Djiteng Marsudi. Agustus 2011. *Pembangkitan Energi Listrik Edisi Kedua*. Erlangga. Jakarta.
- [11] Kapooria. RK, Kumar.S, Kasana. K.S. Agustus 2008. *Technological Investigations and efficiency Analysis of A Steam Heat Exchange Condenser: Conceptual Design of A Hybrid Steam Condenser*. Journal of Energy in Southern Africa. Vol.19. No. 3.
- [12] Dibyo Sukmanto. 2009. *Perhitungan Desain Termal Kondensor Pada Sistem Pendingin PWR*. Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta. 5 November 2009. ISSN 1978-0176.
- [13] Teguh.P.Bambang..... *Heat Exchanger And Optimization (modul 4: Desain Of Heat Exchangers)*. Bahan Ajar Konversi Energi. BTMP-BPPT Kawasan Puspittek, Serpong, 15314.
- [14] Sitompul T. 193. *Alat Penukar Kalor (heat Exchanger)*. Penerbit raja Grafindo Persada. Jakarta.
- [15] Tambunan Melki Astri. 2015. *Analisa Unjuk Kerja Termal Alat Penukar Kalor Kondensor Dengan Kapasitas Sirkulasi Air 9550 m<sup>3</sup>/jam di PLTU Unit 3 PT. PLN (Persero) Sicanang Belawan*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Konversi Energi Mekanik Politeknik Negeri Medan.
- [16] Teguh.P.Bambang..... *Heat Exchanger And Optimization Alat Penukar Kalor Shell and Tube Desain, Checking, Simulasi dengan HTFS (modul 9: Desain Of Heat Exchangers)*. Bahan Ajar Konversi Energi. BTMP-BPPT Kawasan Puspittek, Serpong, 15314.
- [17] Sinnott.R.K. 2005. *Chemical Engineering Design Volume 6 Fourth Edition*. Coulson & Richardson's Chemical Engineering Series.
- [18] Wakil-El.M.M. 1988. *Power Plant Technology*. Mc Graw.Hile International Editions. Electrical and Mechanical Engineering Series.
- [19] Wakil-El.M.M, Jasjfi.E. 1992. *Instalasi Pembangkit Daya, Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.