

## ANALISA EFISIENSI HRSG UNIT 1 DI PT PLN (PERSERO) SEKTOR PEMBANGKITAN PLTGU CILEGON

Slamet Priyoatmojo, Margana

Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang  
Jl. Prof. H. Soedarto, S.H. Tembalang, Semarang 50275, PO BOX 6199/SMS  
Telp. (024) 7473417, 7499585, 7499586, Faks. (024) 7472396  
Web: <http://www.polines.ac.id>, E-mail: [sekretariat@polines.ac.id](mailto:sekretariat@polines.ac.id)

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja turbin uap terhadap pembebanan maksimum turbin gas yang ditinjau dari nilai heat rate dan efisiensi di PLTGU Cilegon. Metode pengambilan data yang digunakan adalah secara langsung, yakni dengan cara mengambil dari data operasi pembangkit yang terekam pada komputer kontrol di Central Control Room (CCR) PLTGU Cilegon, serta secara tidak langsung yakni melalui perhitungan sesuai rumus yang dibutuhkan. Hasil yang didapatkan berupa nilai perubahan heat rate turbin dan efisiensi siklus. Pada Februari 2010 nilai heat rate turbin sebesar 13,724.49 kJ/kWh dan meningkat pada Maret 2010 menjadi 13,850.18 kJ/kWh. Namun, pada Mei 2010 nilai heat rate turun menjadi 13,683.09 kJ/kWh. Sedangkan nilai efisiensi pada Februari 2010 sebesar 26.23% dan menurun pada Maret 2010 menjadi 25.992%. Namun, pada Mei 2010 nilai efisiensi terjadi peningkatan menjadi 26.309%. Penurunan nilai heat rate dan efisiensi pada Bulan Mei dikarenakan ada tindakan perawatan pada turbin gas pada Bulan April.

**Kata kunci** : heat rate turbin, efisiensi, turbin uap

### I. PENDAHULUAN

Energi alternatif merupakan istilah yang merujuk kepada sumber energi yang dapat digunakan dan bertujuan untuk menggantikan bahan bakar fosil tanpa menimbulkan akibat seperti bahan bakar fosil. Contoh dari energi alternatif di Indonesia pada masa kini seperti energi geothermal, energi surya, energi nuklir merupakan energi yang penting dan andalan dari energi lain dimasa yang akan datang. Namun, energi alternatif ini masih sulit

#### Efisiensi PLTGU

Yang tinggi dapat dicapai apabila komponen-komponen PLTGU beroperasi secara optimal. Salah satu komponen utama PLTGU yang harus bekerja secara optimal Turbin Uap.

Pada tugas akhir ini penulis tertarik menganalisis unjuk kerja turbin uap berdasarkan beban maksimum turbin gas yang nantinya mampu memberikan

untuk diterapkan dikarenakan energi ini membutuhkan biaya yang besar dalam proses penelitian dan penyesuaian di Indonesia. Dalam hal ini, energi alternatif lain sebagai pengganti dapat ditempuh dan dicapai dengan cara meningkatkan efisiensi suatu mesin, sehingga dapat menghasilkan daya dengan pemakaian bahan bakar yang lebih diminimalisir yaitu dengan Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU).

informasi yang dapat digunakan pada industri pembangkitan PT PLN (Persero) Unit Pembangkitan Cilegon. Parameter yang digunakan untuk menunjukkan unjuk kerja turbin uap adalah *heat rate* dan efisiensi thermal. Dengan didatakannya parameter ini akan didapatkan hasil analisis mengenai ada tidaknya penurunan unjuk kerja pada turbin uap PLTGU Cilegon, sehingga

apabila ada penurunan unjuk kerja maka bisa segera dilakukan perbaikan guna mempertahankan kinerja turbin uap.

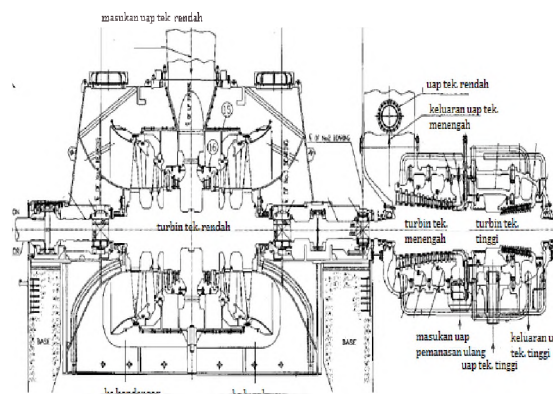
## II. TINJAUAN PUSTAKA

### Prinsipkerja

Turbin uap adalah mesin tenaga yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik dari uap yang masuk turbin menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Uap dengan tekanan dan temperatur tinggi diarahkan menggunakan nosel untuk mendorong sudu-sudu turbin yang dipasang pada poros sehingga poros turbin berputar. Pada waktu uap melewati celah antara sudu-sudu gerak, uap mengalami perubahan momentum sehingga dibangkitkan gaya yang bekerja pada uap tersebut. Sudu menerima gaya yang besarnya sama dengan gaya tersebut, tetapi arahnya berlawanan. Akibat melakukan kerja di turbin, tekanan dan temperatur uap yang keluar turbin menjadi turun sehingga menjadi uap basah. Uap ini kemudian dialirkan ke kondensor, sedangkan tenaga putar poros yang dihasilkan digunakan untuk memutar generator.

### KomponenPenukarPanasPadaTurbinUap

- Rumahturbin
- Nosel
- Rotor
- *Turning Gear*
- Sudu (*Blade*)
- Katup (*Valve*)
- Bantalan (*Bearing*)
- PipaCrossover
- SistemPerapatPoros
- SistemPelumasan



GambarSkemaTurbinUap PLTGU Cilegon (Mitsubishi Heavy Industries, 2004)

### Rumus Yang Digunakan

PerhitunganHeat Rate danEfisiensidilakukan dengan membandingkan besarnyaenergipanas yang masukdankeluarketeluap, baik pada bagiansistempemanastekanan tinggi, sistempemanastekanan menengah, sistempemanastekanan rendah, pemanasulang, maupunpemanasawaldengan energipanas yang terkandung dalam gas buang *Gas Turbine* yang masukkeketeluap. Rumus yang digunakanyaitudariAppendix-A: *Performance Calculation Formulyaitu* rumus dari Mitsubishi Heavy Industries yang didapat dari hasil uji laboratorium yang berpedoman pada ASME PTC 6, *Section 5*.

#### ➤ Enthalpy

Entalphy merupakan jumlah energi internal yang terkandung dalam 1 Kg zat yang dinyatakan dalam (KJ/Kg). Untuk mencari besarnya entalphy dapat menggunakan rumusan interpolasi :

$$h_x = h_1 + \frac{P_x - P_1}{P_2 - P_1} (h_2 - h_1)$$

dan

$$h_x = h_1 + \frac{T_x - T_1}{T_2 - T_1} (h_2 - h_1)$$

- $h_x$  = Entalpi zat yang dicari (Kj/Kg)
- $h_1$  = Entalpi di bawah zat yang dicari (Kj/Kg)
- $h_2$  = Entalpi di atas zat yang dicari (Kj/Kg)
- $P_x$  = Tekanan zat yang dicari (bar)
- $P_1$  = Tekanan di bawah zat yang dicari (bar)
- $P_2$  = Tekanan di atas zat yang dicari (bar)
- $T_x$  = Temperatur zat yang dicari ( $^{\circ}$ C)
- $T_1$  = Temperatur di bawah zat yang dicari ( $^{\circ}$ C)
- $T_2$  = Temperatur di atas zat yang dicari ( $^{\circ}$ C)

➤ **HP Main Steam Flow ( $\dot{m}_{HP}$ )**

HP Main steam flow adalah laju aliran massa dari uap *superheated* dan dinyatakan dalam(t/h). Uap *superheat* digunakan untuk memutar HP turbine. Main steam flow sendiri perlu dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

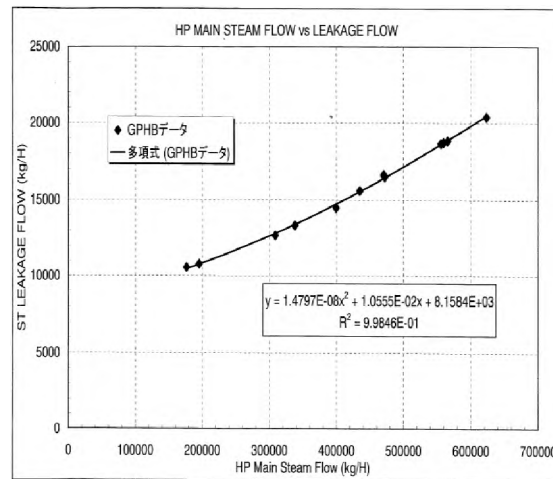
$$\dot{m}_{HP} = \dot{m}_{GC} \times \frac{\dot{m}_{HPBFP}}{\dot{m}_{HPBFP} + \dot{m}_{IPBFP} + \dot{m}_{LPBFP}}$$

Dimana:

- $\dot{m}_{HP}$  : HP main steam flow (t/h)
- $\dot{m}_{HPBFP}$  : HP-BFP flow (t/h)
- $\dot{m}_{IPBFP}$  : IP-BFP flow (t/h)
- $\dot{m}_{LPBFP}$  : LP-BFP flow (t/h)
- $\dot{m}_{GC}$  : Grand condenser outlet condensate flow (t/h)

➤ **Leakage Steam Flow ( $\dot{m}_{LEAK}$ )**

Pada saat turbin berputar terdapat celah antara sudu turbin dan seal yang mengitari turbin, oleh karena itu terdapat beberapa titik kebocoran uap yang terjadi ketika turbin berputar. Uap bocoran ini antara lain sebagai perapat turbin yang kemudian masuk kedalam gland steam condenser, kebocoran uap yang mengalir mengikuti poros yang kemudian masuk ke gland steam condenser dan kebocoran yang terjadi di control valve steam. Pada perhitungan kebocoran uap ini dapat dilihat melalui grafik dibawah.



➤ **Cold Reheat Steam Flow ( $\dot{m}_{CRS}$ )**

Adalah laju aliran massa uap dari HP turbin menuju ke reheater untuk mengalami pemanasan ulang dan dinyatakan dalam(t/h). Laju uap reheat ini merupakan laju massa uap dari main steam. Namun dalam perjalanannya menuju ke reheater kuantitasnya menurun karena diekstraksi. Besarnya laju massa uap cold reheat ini sesuai dengan persamaan berikut :

$$\dot{m}_{CRH} = \dot{m}_{HP} - \dot{m}_{LEAK}$$

Dimana

- $\dot{m}_{CRH}$  : CRH steam flow (t/h)
- $\dot{m}_{HP}$  : HP main steam flow (t/h)
- $\dot{m}_{LEAK}$  : Turbine leakage flow (t/h)

➤ **IP Steam Flow ( $\dot{m}_{IP}$ )**

IP steam flow adalah laju aliran massa dari uap *superheated* dan dinyatakan dalam(t/h). Uap *superheat* digunakan untuk memutar IP turbine. IP steam flow sendiri perlu dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\dot{m}_{IP} = \dot{m}_{GC} \times \frac{\dot{m}_{IPBFP}}{\dot{m}_{HPBFP} + \dot{m}_{IPBFP} + \dot{m}_{LPBFP}}$$

Dimana

- $\dot{m}_{IP}$  : IP main steam flow (t/h)
- $\dot{m}_{HPBFP}$  : HP-BFP flow (t/h)
- $\dot{m}_{IPBFP}$  : IP-BFP flow (t/h)
- $\dot{m}_{LPBFP}$  : LP-BFP flow (t/h)
- $\dot{m}_{GC}$  : Grand condenser outlet condensate flow (t/h)

➤ **Hot Reheater Steam Flow ( $\dot{m}_{hrs}$ )**

Adalah laju aliran massa uap *cold reheat* yang telah mengalami pemanasan ulang dan ditambah dengan IP Steam Flow yang merupakan uap *superheated* dan dalam (t/h). Uap gabungan ini disebut Hot Reheat dan digunakan untuk memutar IP turbine. Besarnya laju massa uap *hot reheat* ini sesuai dengan persamaan:

$$\dot{m}_{HRH} = \dot{m}_{CRH} + \dot{m}_{IP}$$

Dimana

- $\dot{m}_{HRH}$  : HRH Steam Flow (t/h)
- $\dot{m}_{CRH}$  : CRH steam flow (t/h)
- $\dot{m}_{IP}$  : IP main steam flow (t/h)

➤ **LP Steam Flow ( $\dot{m}_{LP}$ )**

IP steam flow adalah laju aliran massa dari uap *superheated* dan dinyatakan dalam (t/h). Uap *superheat* digunakan untuk memutar LP turbine. LP steam flow sendiri perlu dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\dot{m}_{LP} = \dot{m}_{GC} \times \frac{\dot{m}_{LPBFP}}{\dot{m}_{HPBFP} + \dot{m}_{IPBFP} + \dot{m}_{LPBFP}}$$

Dimana

- $\dot{m}_{LP}$  : LP main steam flow (t/h)
- $\dot{m}_{HPBFP}$  : HP-BFP flow (t/h)
- $\dot{m}_{IPBFP}$  : IP-BFP flow (t/h)
- $\dot{m}_{LPBFP}$  : LP-BFP flow (t/h)
- $\dot{m}_{GC}$  : Grand condenser outlet condensate flow (t/h)

➤ **Turbine Heat Rate**

Adalah perbandingan antara energi total yang digunakan untuk memutar turbin dengan energi net listrik yang dihasilkan oleh generator. Besarnya heat rate dapat dicari menggunakan rumusan berikut :

$$H.R = \frac{(h_{HP} \times \dot{m}_{HP} + h_{HRH} \times \dot{m}_{HRH} + h_{LP} \times \dot{m}_{LP} - h_{CRH} \times \dot{m}_{CRH} - h_{CW} \times \dot{m}_{GC}) \times 1000}{MW_{out} \times 1000}$$

Dimana

- $H_{ST}$  : Steam turbine heat input (kJ/h)
- $h_{HP}$  : HP main steam enthalpy (kJ/kg)
- $h_{HRH}$  : HRH steam enthalpy (kJ/kg)
- $\dot{m}_{HRH}$  : HRH steam flow (t/h)
- $h_{LP}$  : LP turbine inlet steam enthalpy (kJ/kg)
- $\dot{m}_{LP}$  : LP steam flow (t/h)
- $h_{CRH}$  : CRH steam enthalpy (kJ/kg)
- $\dot{m}_{CRH}$  : CRH steam flow (t/h)
- $h_{CW}$  : Condensate water enthalpy (kJ/kg)
- $\dot{m}_{GC}$  : Grand condenser outlet condensate flow (t/h)
- H.R : Steam turbine heat rate (kJ/kWh)
- $MW_{out}$  : Steam turbine generator output (MW)

➤ **Effisiensi Turbin**

Effisiensi merupakan kemampuan suatu peralatan dengan menggunakan sumber daya (*input*) seminimum mungkin dan mampu menghasilkan keluaran (*output*) yang maksimum. Effisiensi Turbin merupakan kemampuan turbin uap dalam mengkonversi uap yang masuk menjadi energi gerak yang selanjutnya digunakan untuk memutar generator

$$\eta = \frac{3600}{H.R} \times 100\%$$

Dimana

- $\eta$  : Steam turbine effisiensi (%)
- H.R : Steam turbine heat rate (kJ/kWh)

**III. PENGAMBILAN DATA**

Penyusunan tugas akhir ini berdasarkan proses observasi pada saat magang di PT. PLN (PERSERO) Sektor Pembangkitan PLTGU Cilegon. Studi kepustakaan dilakukan di perpustakaan PLTGU Cilegon, *manual book*, data yang ada pada *Center Control Room (CCR)*. Data operasi turbin uap yang dibutuhkan untuk penelitian ini yaitu pada bulan Januari 2009 sampai Maret 2012 pada kondisi beban maksimum yang diatur oleh temperatur bilah sudu (*Blade Path Temperature*) dan atau temperatur gas buang (*Exhaust Temperature*) dengan konfigurasi 2-2-. Perbedaan waktu

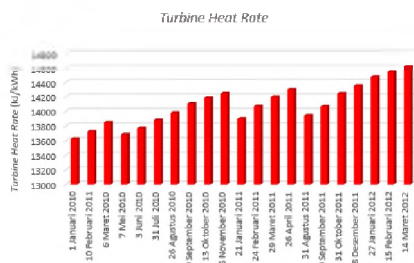
pengambilan data ini bertujuan untuk memperoleh data yang lebih akurat.

**IV. HASIL DAN ANALISA DATA**

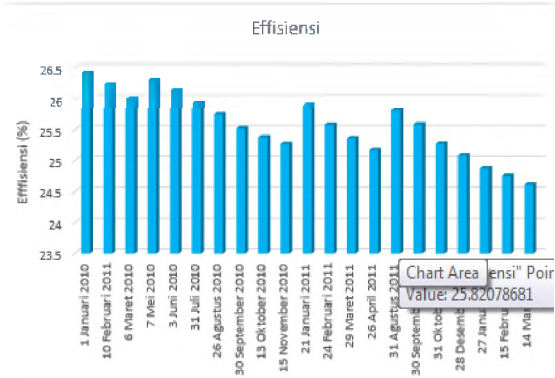
Tabel Hasil Perhitungan nilai  $H_{ST}$ ,  $Heat\ rate$  dan Efisiensi

Waktu Pengambilan	$H_{ST}$	$H.R$	$\eta$
Data	kWh	kJ/kWh	%
1 Januari 2010	3,228,906,343	13,624	26.424
10 Februari 2011	3,194,375,903	13,724	26.230
6 Maret 2010	3,232,631,783	13,850	25.992
7 Mei 2010	3,188,160,193	13,683	26.310
3 Juni 2010	3,276,148,142	13,771	26.142
31 Juli 2010	3,403,792,813	13,882	25.932
26 Agustus 2010	3,292,170,182	13,979	25.752
30 September 2010	3,297,604,586	14,105	25.523
13 Oktober 2010	3,291,810,595	14,187	25.375
15 November 2010	3,320,101,989	14,247	25.269
21 Januari 2011	3,223,105,357	13,899	25.901
24 Februari 2011	3,268,085,517	14,073	25.580
29 Maret 2011	3,295,238,649	14,197	25.358
26 April 2011	3,291,351,829	14,302	25.171
31 Agustus 2011	3,238,646,468	13,942	25.821
30 September 2011	3,274,099,594	14,069	25.587
31 Oktober 2011	3,293,993,093	14,244	25.273
28 Desember 2011	3,311,114,548	14,352	25.084
27 Januari 2012	3,341,967,554	14,473	24.874
15 Februari 2012	3,357,594,713	14,543	24.755
14 Maret 2012	3,360,132,352	14,624	24.617

Dari data hasil perhitungannya, didapatkan grafik  $heat\ rate$  dan efisiensi turbin uap selama periode operasi yang ditunjukkan pada gambar



Gambar diagram  $heat\ rate$  turbin uap selama periode operasi



Gambar diagram efisiensi turbin uap selama periode operasi

**Analisa**

Terjadinya penurunan efisiensi dan kenaikan  $heat\ rate$  ini oleh penulis dilakukan sebuah analisis. Jika dilihat dari entalpi uap dan air tidak ada perubahan yang signifikan. Karena memang tekanan dan temperatur dijaga sesuai spesifikasi dari turbin uap supaya performa turbin uap dapat maksimal dan memiliki  $lifetime$  yang lama. Kemudian jika ditinjau dari laju aliran massa memang mengalami perubahan yang selalu bertambah. Hal ini karena adanya  $spray$  pendingin uap yang berada dalam  $HRSG$  berguna untuk menurunkan temperatur dari uap, sehingga laju aliran massa uap sendiri bertambah. Dengan laju aliran massa yang bertambah sebagai inputnya. Namun daya yang dapat dibangkitkan turbin uap sendiri relatif tetap karena sudah beban maksimum. Juga dilihat laju aliran massa air yang terkondensasi terjadi peningkatan. Itu menunjukkan juga meningkatnya laju aliran massa air pengumpan yang menunjukkan banyaknya jumlah laju aliran massa. Dengan bertambahnya jumlah laju aliran massa uap dan daya yang dibangkitkan relatif sama karena telah mencapai beban maksimum hal ini yang menyebabkan dari data di atas penurunan efisiensi karena input yang semakin bertambah tetapi daya yang

dihasilkan tetap. *Heat Rate* berbanding terbalik dengan efisiensi, dari diagram diatas dapat terlihat semakin rendah *Heat Rate* maka semakin baik effisiensinya.

Pada sebuah PLTGU, blok PLTU merupakan pengikut dari blok PLTG. Jadi jika performa dari turbin gas turun, itu akan mempengaruhi performa dari turbin uap. Jika dilihat dari diagram diatas penurunan efisiensi turbin uap disebabkan karena turunnya performa dari turbin gas untuk memanfaatkan energi panas hasil pembakaran. Sehingga temperatur gas buang dari turbin masih sangat tinggi. Temperatur gas buang inilah yang dimanfaatkan untuk memanaskan air dan uap di dalam *HRSG*. Namun semakin panas uap yang dipanaskan dan menjauhi spesifikasi turbin uap maka semakin banyak spray yang disemprotkan ini maka akan mengakibatkan turunnya efisiensi turbin uap.

Lalu kembali dilihat pada diagram, pada bulan Mei 2010, Januari 2011, 31 Agustus 2011 efisiensi turbin mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan turbin gas mengalami inspeksi atau overhaul yang bertujuan mengembalikan performan sesuai kondisi awal. Dengan dilakukan inspeksi atau overhaul pada turbin gas ini maka efisiensi turbin gas dalam memanfaatkan energi panas hasil pembakaran akan meningkat. Setelah itu seperti bulan-bulan selanjutnya turbin uap mengalami penurunan efisiensi dikarenakan hal yang sama.

Penurunan efisiensi ini tidak hanya dipengaruhi oleh performa turbin gas saja. Namun juga dikarenakan kondisi turbin uap sendiri. Turbin uap telah beroperasi sejak tahun 2006 namun tidak dengan konfigurasi 2-2-1 melainkan 1-1-1 atau 1 turbin gas, 1 *HRSG* dan 1 turbin uap dikarenakan terbatasnya bahan bakar turbin gas. Sehingga tidak dapat menggunakan 2 turbin gas. Dan selama 3 tahun beroperasi itu yaitu 2006-

2009 bisa dipastikan turbin uap sendiri mengalami penurunan performa. Mulai dari pipa-pipa berkarat hingga terkikisnya shaft dari rotor turbin uap. Jadi ketika turbin uap beroperasi dengan beban maksimal dan konfigurasi 2-2-1 pada awal 2010. Turbin uap telah mengalami penurunan performa.

## V. PENUTUP

### Kesimpulan

1. Dilihat dari nilai *Heat Rate* dan Efisiensi sejak Januari 2010 hingga 24 Maret 2012 dapat disimpulkan bahwa unjuk kerja turbin uap mengalami penurunan. Dikarenakan terjadi peningkatan pada heat rate dan penurunan efisiensi yang mengakibatkan biaya operasional meningkat.
2. Performa blok Pembangkit Tenaga Uap sangat dipengaruhi oleh blok Pembangkit Tenaga Gas. Karena blok Pembangkit Tenaga Uap memanfaatkan buangan dari blok Pembangkit Tenaga Gas.
3. Ketika blok Turbin Gas mengalami *inspection* atau *overhaul* untuk meningkatkan peformanya. Maka secara otomatis performa blok Pembangkit Tenaga Uap meningkat performanya.

### Saran

Setelah melakukan penelitian tugas akhir, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Melakukan perawatan yang rutin pada blok PLTU sesuai jadwal perawatan yang tertera pada *Manual Book* dan tetap dilakukan preventive maintenance pada alat. Meskipun, alat tidak beroperasi.

2. Dilakukannya *Performance Test* pada blok PLTU untuk mengetahui performa blok PLTU. Meskipun, blok PLTU hanya memanfaatkan gas buang dari blok PLTG. Namun, dikarenakan begitu kompleksnya alat pada blok PLTU maka, penulis menyarankan tetap diadakan *performance test*.

[/12/28/heat-recovery-steam-generator/](#), (25 Mei 2015). (internet)

TIM P3. 2014. *Buku Pedoman Penyusunan Tugas Akhir/Skripsi*. Semarang: Politeknik Negeri Semarang.

The American Society of Mechanical Engineers Performance Test Code 6. 2004. *Steam Turbines*

## DAFTAR PUSTAKA

..... 2004. *PT PLN (Persero) Cilegon Combined Cycle Power Plant (740 MW) Maintenance Manual (ST HRSG BOP PART): Mechanical, Volume 1*, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

..... 2004. *PT PLN (Persero) Cilegon Combined Cycle Power Plant (740 MW) Maintenance Manual (ST HRSG BOP PART): Mechanical, Volume 2*, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

El-Wakil, M. M. 1992. *Instalasi Pembangkit Daya*. Jilid 1. Terjemahaan Ir. E. Jasjifi. Jakarta: Erlangga.

Mitsubishi Heavy Industries LTD. 2004. *Appendix-A : Performance Calculation Formula*.

PT PLN (Persero) Unit Pendidikan dan Pelatihan Suralaya. 2009. Modul Pengoperasian (Prinsip Kerja Pembangkit). *Diklat Berbasis Kompetensi*.

PT PLN (Persero) Unit Pendidikan dan Pelatihan Suralaya. 2009. Modul Pengoperasian (Sistem-sistem Turbin Uap). *Diklat Berbasis Kompetensi*.

Qodir, Ahmad Abdul. 2011. *Heat Recovery Steam Generator*.  
<http://aabdulqodir.wordpress.com/2011>