

ANALISIS PERHITUNGAN *HEATRATE* PADA TURBIN UAP BERDASARKAN *PERFORMANCE TEST* UNIT 1 DI PT. INDONESIA POWER UBOH UJP BANTEN 3 LONTAR

JAMALUDIN & REZA PANGESTU DH

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Tangerang
Jl. Perintis Kemerdekaan I/33 Cikokol-Tangerang
Email: jamaludinpermana14@yahoo.com

ABSTRAK

Heat rate mempunyai peranan yang sangat penting pada pembangkit listrik. *Heatrate* merupakan ukuran dari *thermal* sebagai jumlah dari energi bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah energi listrik. Satuan *heatrate* yaitu kJ/kWh. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai *turbineheatrate* pada turbin uap berdasarkan *performance test*. Pengambilan data dilakukan dengan metode observasi di PT. INDONESIA POWER UJP BANTEN 3 LONTAR (PLTU) pada pembangkit unit 1. Untuk mengetahui nilai *turbine heatrate* pada turbin uap digunakan metode perhitungan berdasarkan massa uap "*steam*" dan energi dalam "*enthalpy*" yang masuk dan keluar turbin dengan daya keluaran generator (*output generator*). *Turbine heatrate* berbanding terbalik dengan efisiensi, yang artinya semakin kecil nilai *turbine heatrate* maka semakin baik efisiensi pembangkit tersebut, sebaliknya semakin tinggi nilai *turbine heatrate* maka efisiensi pembangkit tersebut buruk. Hasil Analisa yang didapat pada *turbine heatrate* berdasarkan *performance test* unit 1 dengan nilai terendah (terbaik) yaitu pada bulan Januari dengan nilai 8252.61 kJ/kWh, dan nilai tertinggi (terburuk) yaitu pada bulan Maret dengan nilai 8911.99 kJ/kWh. Kenaikan dan penurunan *turbine heatrate* tidak begitu signifikan.

Kata Kunci: *Heatrate, Turbin Uap, Turbine, Heatrate, Performance Test.*

1. PENDAHULUAN

Energi yang paling dibutuhkan manusia untuk menunjang kehidupan salah satunya adalah energi listrik. Manusia membutuhkan energi listrik untuk kepentingan rumah tangga, industri serta untuk menunjang sarana prasarana yang lainnya. Kebutuhan hidup manusia semakin meningkat, peningkatan kebutuhan manusia juga diikuti dengan kebutuhan energi yang juga semakin meningkat. Energi yang besar serta penggunaannya yang terus menerus tidak dapat tersedia secara alami. Oleh sebab itu dibutuhkan pembangkit listrik yang handal.

Turbin uap yang digunakan pada PLTU bekerja secara kontinyu untuk menghasilkan daya yang maksimal. Turbin uap merupakan salah satu mesin konversi energi karena

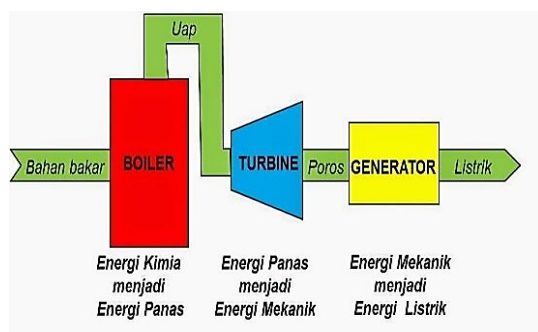
dapat mengubah energi kalor menjadi energi mekanik dan selanjutnya energi mekanik diubah menjadi energi listrik pada generator.

Secara umum *heatrate* didefinisikan sebagai total panas input yang masuk ke dalam sebuah sistem dibagi dengan total daya yang dibangkitkan oleh sistem tersebut, dengan satuan Btu/kWh atau kJ/kWh atau kcal/kWh (satuan yang biasa dipakai oleh industri pembangkitan listrik di Indonesia). Walaupun definisi *heatrate* di atas terlihat sederhana, namun parameter-parameter yang digunakan untuk menghitung *heatrate* sangatlah banyak, sedangkan *turbine heatrate* didefinisikan sebagai jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1 kWh.

Masing-masing unit PLTU BANTEN 3

LONTAR melakukan *performance test* pada tiap-tiap unit turbin uap. *Heatrate* dapat dihitung dengan metode *input-output*, *turbin heatrate*, dan *specific fuel consumption* (SFC). Pengujian *heatrate* dilakukan untuk mengetahui berapa besar input energi panas dari bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan listrik sebesar 1 kWh. Uji *heatrate* dilakukan pada kondisi yang spesifik, baik bahan bakar, lokasi pembangkit listrik, kapasitas pembangkit maupun variasi beban pembangkit.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Banten 3 Lontar Unit 1 merupakan pembangkit listrik dengan bahan bakar batubara yang memanfaatkan *fluida* kerja berupa uap (*steam*) untuk menggerakkan turbin yang bertindak sebagai penggerak mula yang kemudian turbin akan memutar rotor generator untuk menghasilkan listrik. Dalam proses produksi listrik, banyak terjadi proses konversi energi. Proses konversi energi sendiri merupakan proses perubahan energi berdasarkan perubahan bentuk dan sifatnya. Berawal dari energi kimia yang terkandung dalam batubara yang dikonversi menjadi energi kalor dalam proses pembakaran. Kemudian dikonversi lagi menjadi energi kinetik berupa aliran uap (*steam*), selanjutnya dikonversi menjadi energi mekanik melalui putaran turbin dan pada proses akhirnya energi mekanik tersebut dikonversikan menjadi energi listrik melalui generator. Pembangkit listrik tenaga uap termasuk dalam kategori "*thermal plant*", karena pembangkit listrik ini memanfaatkan panas hasil pembakaran bahan bakar batubara dan udara *furnace* (tungku pembakaran) yang kemudian digunakan untuk memanaskan pipa-pipa berisi air/uap di dalam *boiler*.

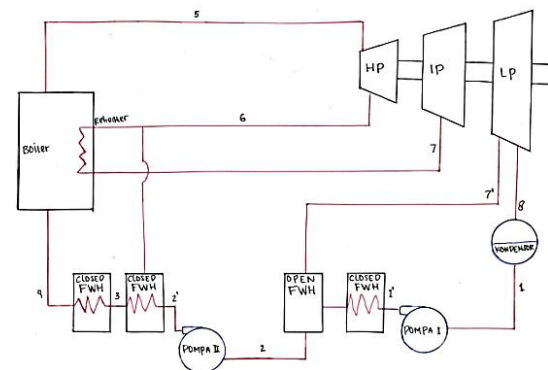


Gambar 2.1 Proses Konversi Energi PLTU

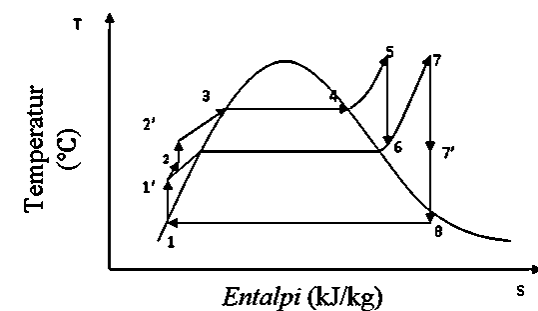
Proses konversi energi yang terjadi di dalam boiler, bahan bakar yang dimasukkan

ke dalam boiler digunakan dalam proses pembakaran dan pemanasan air akan mengubah air umpan boiler menjadi uap atau *steam*. Uap tersebut masih dipanaskan lagi dan dinaikkan tekanannya dengan pemanasan lanjutan sehingga dihasilkan uap *superheat* atau uap kering sehingga uap tersebut memiliki energi yang cukup untuk memutar turbin. Uap yang keluar dari turbin kemudian masuk dalam kondensor untuk diubah fasanya menjadi air kembali. Setelah itu, air tersebut dipompa kembali ke boiler untuk dipanaskan dan diubah menjadi uap guna memutar turbin lagi.

Siklus *Rankine* untuk pembangkit PLTU BANTEN 3 Lontar menggunakan kedua siklus diatas, dimana siklus *rankine* dengan pemanasan ulang terjadi di *reheater boiler* sedangkan siklus *rankine* dengan *rankine regenerative* terjadi di *economizer*. Diagram T – s untuk pembangkit PLTU BANTEN 3, Lontar dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.2. Siklus *Rankine Regenerative* di PLTU Banten 3 Lontar.



Gambar 2.3 T-S Siklus *Rankine Regenerative* Di PLTU BANTEN 3 LONTAR

Keterangan gambar:

- 1) Proses 1 – 1' : Peningkatan tekanan pada air menggunakan *condensate extraction pump*.
- 2) Proses 1' – 2 : Pemanasan air *low pressure heater*.

- 3) Proses 2 – 2' : Penaikan tekanan air menggunakan *boiler feed pump*.
- 4) Proses 2' – 3 : Pemanasan air pada *high pressure heater* dan pada *economizer*.
- 5) Proses 3 – 4 : Pemanasan air menjadi uap air pada *wall tube* dan *downcomer* didalam boiler.
- 6) Proses 4 – 5 : Pemanasan uap air menjadi uap panas lanjut (*superheated steam*) pada *superheater*.
- 7) Proses 5 – 6 : Proses ekspansi di dalam *high pressure turbine*.
- 8) Proses 6 – 7 : Pemanasan kembali uap yang keluar dari *high pressure turbine* yang terjadi dalam *reheater*.
- 9) Proses 7 – 7' : Ekspansi uap yang keluar dari *reheater* di dalam *intermediate pressure turbine*.
- 10) Proses 7' – 8 : Ekspansi uap di dalam *low pressure turbine* tanpa mengalami pemanasan ulang.
- 11) Proses 8 – 1 : Pendinginan uap menjadi air didalam *condenser*.

Turbine Heatrate

Turbine heatrate adalah jumlah kalor yang dibutuhkan untuk memproduksi listrik sebesar 1 kWh dan dinyatakan dalam satuan (kJ/kWh). *Turbine heatrate* menunjukkan perbandingan dari energi total yang digunakan untuk memutar turbin, dengan energi listrik yang dihasilkan oleh generator dan dinyatakan dalam kJ/kWh.

Turbine heat rate dapat dikalkulasi dengan persamaan:

$$HR_T = \frac{(\dot{m}_1 \times h_1 + \dot{m}_3 \times h_3) - (\dot{m}_f \times h_f + \dot{m}_2 \times h_2 + \dot{m}_{is} \times h_{ss})}{p_g - p_{exc}}$$

(Sunarwo, Supriyo, 2015)

Dimana:

HR_T : Heat rate turbin(kJ/kWh)

\dot{m}_1 :Laju aliran massa *main steam*(uap keluaran *superheater*) (kg/h)

h_1 :Entalpi *main steam*(uap keluaran *superheater*) (kJ/kg)

\dot{m}_3 :Laju aliran massa *hot reheat* (uap keluaran dari *reheater*) (kg/h)

h_3 : Entalpi *hot reheat steam* (uap keluaran *reheater*) (kJ/kg)

\dot{m}_f :Laju aliran massa *feed water* (air umpan boiler) (kg/h)

h_f :Entalpi *feed water* (air umpan boiler) (kJ/kg)

\dot{m}_2 :Laju aliran massa *cold reheat* (uap masuk ke *reheater*) (kg/h)

h_2 :Entalpi *cold reheat* (uap masuk ke *reheater*) (kJ/kg)

\dot{m}_{is} :Laju aliran massa *superheater spray*(kg/h)

h_{ss} :Entalpi *superheater spray*(kJ/kg)

p_g :Turbin generator output (MW)

p_{exc} :Generator excitation power(MW)

Untuk mencari laju aliran massa *main steam*(uap keluaran *superheater*) \dot{m}_1 , laju aliran massa *cold reheat* (uap masuk ke *reheater*) \dot{m}_2 , dan laju aliran massa *hot reheat* (uap keluaran dari *reheater*) \dot{m}_3 , dapat dicari menggunakan persamaan:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_f + \dot{m}_{is} + \dot{m}_{mu}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 - Gs_1 - \dot{m}_{ex1} - \dot{m}_{ex2}$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_2 + \dot{m}_{ir}$$

Dimana:

\dot{m}_1 :laju aliran massa *main steam*(uap keluaran *superheater*)(kg/h)

\dot{m}_f :laju aliran massa *feed water* (air umpan boiler) (kg/h)

\dot{m}_{is} :laju aliran massa *superheater spray*(kg/h)

\dot{m}_{mu} :total aliran massa (kg/h)

\dot{m}_2 :laju aliran massa *cold reheat* (uap masuk ke *reheater*) (kg/h)

\dot{m}_1 :laju aliran massa *main steam*(uap keluaran *superheater*)(kg/h)

Gs_1 :*hp gland seal and MSV Leakage*(kg/h)

\dot{m}_{ex1} :ekstraksi aliran uap ke pemanas 1 (kg/h)

\dot{m}_{ex2} :ekstraksi aliran uap ke pemanas 2 (kg/h)

\dot{m}_3 :laju aliran massa *hot reheat* (uap keluaran dari *reheater*) (kg/h)

\dot{m}_2 :laju aliran massa *cold reheat* (uap masuk ke *reheater*) (kg/h)

\dot{m}_{ir} :aliran semprot *reheater*(kg/h)

2. METODE PENELITIAN

Dalam penulisan penelitian ini terdapat beberapa tahapan-tahapan selama penelitian sebagai berikut:

1. Persiapan Awal

Mempersiapkan hal-hal yang dilakukan sebelum melakukan proses penelitian

2. Studi Pustaka

Mencari sumber teori dari buku pelajaran, internet, dan jurnal yang sesuai dengan judul yang telah disetujui oleh pembimbing sebagai landasan teori penelitian yang dilaksanakan.

3. Studi Lapangan

Melakukan observasi ditempat dilakukan nya penelitian yang sebelumnya sudah meminta izin kepihak HRD PT. INDONESIA POWER UBOH UJP BANTEN 3 LONTAR (PLTU) juga melakukan sesi wawancara dengan pertanyaan yang sesuai pada judul penelitian. Wawancara dilakukan baik dengan pembimbing lapangan, operator, juga pihak-pihak terkait dengan penelitian.

4. Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, teknik pengumpulan data merupakan faktor penting demi keberhasilan penelitian. Hal ini berkaitan dengan bagaimana cara mengumpulkan data dan sumber pengumpulan data yang digunakan. Jenis sumber data adalah mengenai darimana data diperoleh apakah data diperoleh dari sumber langsung (primer) atau data diperoleh dari sumber tidak langsung (sekunder).

5. Pengolahan Data

Tahap pengolahan data ini dilakukan sebagai tindak lanjut dari pengumpulan data. Pengolahan data ini didapatkan terhadap data yang sudah ada seperti data-data input dan *output* pada *heatrate* yang akan menentukan nilai dari *turbine heatrate* sebagaimana sesuai dengan penelitian.

6. Hasil Penelitian

Merupakan suatu hasil yang dilakukan peneliti sehingga dapat dibuat sebagai penelitian berupa rumus.

7. Analisa dan Pembahasan

Setelah data diolah dan dikumpulkan, maka selanjutnya menganalisa dan untuk mengetahui hasil nilai *turbine heatrate* unit 1 pada tahun 2016 yang selanjutnya kemudian akan dibahas secara terperinci sesuai data-data yang aktual yang telah diperoleh.

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

a. Pengumpulan Data

Berikut data yang dipakai dalam perhitungan nilai *turbine heatrate* berdasarkan

performance test yang menggunakan sampel data Unit 1 pada bulan Januari 2016.

Tabel 4.1 Data Sampel *Turbine Heatrate* Unit 1 Pada Bulan Januari 2016

Unit 1	Januari 2016
Enthalpy Main Steam h_1 (kJ/kg)	3404.01
Enthalpy Cold Reheat h_2 (kJ/kg)	3080.20
Enthalpy Hot Reheat h_3 (kJ/kg)	3536.85
Enthalpy Feed Water h_f (kJ/kg)	1192.19
Laju Aliran Masa Main Steam \dot{m}_1 (kg/h)	922211.12
Laju Aliran Masa Cold Reheat \dot{m}_2 (kg/h)	782009.66
Laju Aliran Masa Hot Reheat \dot{m}_3 (kg/h)	794695.65
Laju Aliran Masa Feed Water \dot{m}_f (kg/h)	868657.15
Laju Aliran Masa Superheater Spray \dot{m}_{is} (kg/h)	50315.62
Turbin Generator output p_g (MW)	298.81
Generator Excitation p_{exc} (MW)	0.72

b. Perhitungan *Turbine Heatrate*

Turbine heat rate menunjukkan perbandingan dari energi total yang digunakan untuk memutar turbin, dengan energi listrik yang dihasilkan oleh generator dan dinyatakan dalam kJ/KWh. Nilai *turbine heat rate* dapat dihitung dengan data sampel pada bulan Januari 2016 unit 1.

Untuk mencari laju aliran massa *main steam* (uap keluaran *superheater*) \dot{m}_1 , laju aliran massa *cold reheat* (uap masuk ke *reheater*) \dot{m}_2 , dan laju aliran massa *hot reheat* (uap keluaran dari *reheater*) \dot{m}_3 , dapat dicari menggunakan data sampel unit 1 bulan Januari 2016:

a. Laju aliran massa *main steam* (uap keluaran *superheater*)

Diketahui:

$$\dot{m}_f = 868657.15 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{is} = 50315.62 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{mu} = 3238.35 \text{ kg/h}$$

Jawab:

$$\begin{aligned} \dot{m}_1 &= \dot{m}_f + \dot{m}_{is} + \dot{m}_{mu} \\ &= 868657.15 + 50315.62 + 3238.35 \\ &= 922211.12 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

b. Laju aliran massa *cold reheat* (uap masuk ke *reheater*)

Diketahui:

$$\dot{m}_1 = 922211.12 \text{ kg/h}$$

$$G_{s1} = 21295.60 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{ex1} = 48468.91 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{ex2} = 70436.95 \text{ kg/h}$$

Jawab:

$$\begin{aligned} \dot{m}_2 &= \dot{m}_1 - G_{s1} - \dot{m}_{ex1} - \dot{m}_{ex2} \\ &= 922211.12 - 21295.60 - \\ &\quad 48468.91 - 70436.95 \\ &= 782009.66 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

c. Laju aliran massa *hot reheat* (uap ke-
luaran dari *reheater*)

Diketahui:

$$\dot{m}_2 = 782009.66 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{ir} = 12685.99 \text{ kg/h}$$

Jawab:

$$\begin{aligned} \dot{m}_3 &= \dot{m}_2 + \dot{m}_{ir} \\ &= 782009.66 + 12685.99 \\ &= 794695.65 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

d. Perhitungan *Turbine Heat Rate*

$$HR_T = \frac{(\dot{m}_1 \times h_1 + \dot{m}_3 \times h_3) - (\dot{m}_f \times h_f + \dot{m}_2 \times h_2 + \dot{m}_{is} \times h_{ss})}{p_g - p_{exc}}$$

Diketahui:

$$\dot{m}_1 = 922211.12 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_2 = 782009.66 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_3 = 794695.65 \text{ kg/h}$$

$$h_1 = 3404.01 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 3080.20 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 3536.85 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_f = 868657.15 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{is} = 50315.62 \text{ kg/h}$$

$$h_f = 1192.19 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{ss} = 905.53 \text{ kJ/kg}$$

$$p_g = 298.81 \text{ MW}$$

$$p_{exc} = 0.72 \text{ MW}$$

$$\text{Dimana } 1 \text{ kJ} = \frac{1}{4.1868} \text{ kcal}$$

Jawab:

$$HR_T = \frac{(\dot{m}_1 \times h_1 + \dot{m}_3 \times h_3) - (\dot{m}_f \times h_f + \dot{m}_2 \times h_2 + \dot{m}_{is} \times h_{ss})}{p_g - p_{exc}}$$

$$\begin{aligned} HR_T &= \frac{(922211.12 \times 3404.01 + 794695.65 \times 3536.85) - (868657.15 \times 1192.19 + 782009.66 \times 3080.20 + 50315.62 \times 905.53)}{298.81 - 0.72} \\ &= \frac{5949935184.29 - 3489912825.76}{298.09} \\ &= \frac{2460022358.53}{298.09} \\ &= 8252.61 \text{ kJ/kWh} \\ &= \frac{8252.61}{4.1868} = 1971.10 \text{ kcal/kWh} \end{aligned}$$

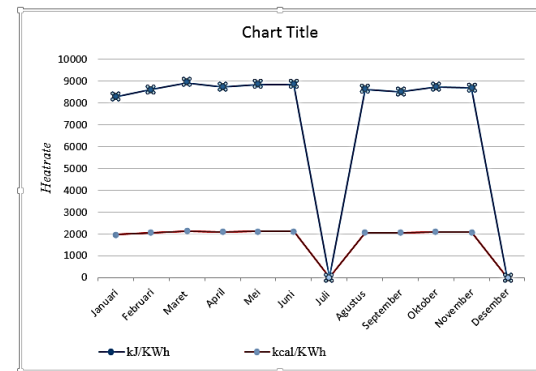
c. Pembahasan Hasil Penelitian

Dari hasil perhitungan *heatrate* berdasarkan *performance test* unit 1 tahun 2016 maka didapatkan hasil nilai *heatrate* dengan metode perhitungan *turbine heatrate* mempunyai hasil seperti tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil *Turbine Heatrate* Pada Tahun 2016

Bulan	Unit 1	
	kJ/kWh	Kcal/kWh
Januari	8252.61	1971.1
Februari	8584.71	2050.42
Maret	8911.99	2128.59
April	8724.8	2083.88
Mei	8828.23	2108.58
Juni	8829.78	2108.95
Juli	-	-
Agustus	8614.49	2057.53
September	8490.76	2027.98

Dari data hasil perhitungan pada tabel 4.1 maka dapat dibuat grafik untuk memudahkan pembahasan hasil data. Gambar 4.1 dibawah ini menggambarkan grafik hasil perhitungan *turbine heatrate* berdasarkan *performance test* pada unit 1



Gambar 4.1 Grafik Hasil Perhitungan *Turbine heatrate*

Dari data hasil perhitungan *performance test* unit 1 pada tabel 4.1 dapat diketahui bahwa nilai *turbine heatrate* mengalami kenaikan dan penurunan yang tidak begitu signifikan nilai *turbine heatrate* terendah terjadi pada bulan Januari dengan nilai 8252.61 dan nilai *turbine heatrate* tertinggi terjadi pada bulan Maret dengan nilai 8911.99. kenaikan dan penurunan *turbine heatrate* tersebut dapat dilihat pada gambar grafik 4.1.

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan Analisa *heatrate* dengan metode perhitungan *turbine heatrate* berdasarkan *performance test* pada unit 1 dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai *turbine heatrate* terendah (terbaik) terdapat pada bulan Januari dengan nilai 8252.61 kJ/kWh sedangkan nilai *turbine*

heatrate tertinggi (terburuk) terdapat pada bulan Maret dengan nilai 8911.99 kJ/kWh. Semakin kecil nilai *heatrate* maka akan semakin baik efisiensi pembangkit, sebaliknya jika semakin tinggi (besar) nilai *heatrate* maka semakin buruk efisiensi pembangkit tersebut. Hasil nilai *turbine heatrate* berdasarkan *performance test* mengalami kenaikan dan penurunan yang tidak begitu signifikan.

2. Data diambil dari *Central Control Room* (CCR) pada PLTU Banten 3 Lontar dan hasil perhitungan *performance test* dari data CCR dengan cara perhitungan manual tidak berbeda jauh hasilnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Berbagi Energi – Hendra Yudisaputro – Minggu, 22 maret 2015 – <http://berbagienergi.com/2015/03/22/heat-rate-input-output/>
- Kulshrestha, S. k. 1989. *Buku teks Termodinamika Terpakai, Teknik Uap dan Panas*. Jakarta: Universitas Indonesia (UI – Press).
- Michael J. Moran, Howard N. Shapiro. 2004. *Termodinamika Teknik* Jilid II. Jakarta: Erlangga
- Manual Book* PT Indonesia Power Uboh UJP Banten 3 Lontar
- P. Shlyakin. 1990. *Turbin Uap Teori Dan Rancangan*. Jakarta: Erlangga
- Pembangkit Listrik – *Engineering RE & Alumni Portal* – Senin, 30 maret 2015 - <http://berbagienergi.com/2015/03/22/heat-rate-input-output/>
- Sunarwo, Supriyo. *Analisa Heat Rate Pada Turbin Uap Berdasarkan Performance Test Pltu Tanjung Jati B Unit 3*. Jurnal Teknik Energi, Vol 11 No. 3 September 2015, 61-68
- Wordpress – Ahmad Abdul Qodir – Sabtu, 10 januari 2015 <https://aabdulqodir.wordpress.com/2015/01/10/heat-rate-power-plant/>
- Yunus A. Cengel And Michael A. Boles, Mc Graw-Hill *Higher Education*. 2007. *Thermodynamics: An Engineering Approach*.