



Analisa *Heat Rate* Pada Turbin Uap Berdasarkan Performance Test PLTU Banjarsari Unit#2 135MW

Gusti Prasetyo RENDY Anggara*¹, Nazaruddin Sinaga²

¹Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro, Semarang

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang

e-mail: *gusti@students.undip.ac.id, nazarsinaga@lecturer.undip.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *Heat rate* pada turbin uap berdasarkan *performance test*. Pengambilan data dilakukan dengan metode observasi di PT Bukit Pembangkit Innovative PLTU Banjarsari Unit 2. Untuk mengetahui nilai *Heat rate* pada siklus turbin uap digunakan metode perhitungan berdasarkan kesetimbangan massa uap "steam" dan energi dalam "entalpi" yang masuk dan keluar turbin dengan daya keluaran generator (output generator). Efisiensi turbin uap dapat dilihat dari energi panas yang dimasukkan untuk menghasilkan listrik sebesar 1 kwh dan turbine *Heat rate*. Efisiensi turbin uap dapat juga dihitung dengan membandingkan energi bahan bakar yang dibutuhkan untuk setiap 1 kwh dengan turbine *Heat rate*. Hasil analisis yang didapatkan yaitu kurva turbine *Heat rate* berdasarkan *performance test* dengan nilai terbaik adalah 11028 kJ/kWh kJ/kWh; Nilai turbine generator gross *heat rate* PLTU Banjarsari Unit 2 berdasarkan *performance test* pada tahun 2015 adalah 8615 kJ/kWh; *The corrected unit net power outputs*, *The corrected unit net heat rates*, *Aux power consumptions*, *Generator transformer losses*, *Unit auxiliary transformer losses*, *Stack emissions level* yang dikoreksi pada kondisi TCMR lebih baik daripada persyaratan kontrak.

Kata kunci— turbin uap, *performance test*, turbine *Heat rate*, TCMR

Abstract

This study to determine the heat rate of the steam turbine based on performance tests. Data collection was carried out by the observation method at PT Bukit Pembangkit Innovative PLTU Banjarsari Unit 2. To find out the value of the Heat rate in the steam turbine, a calculation method was used based on the balance of steam "steam" and energy in "enthalpy" entering and leaving the turbine with generator output power (generator output). The efficiency of the steam turbine can be seen from the heat energy entered to produce 1 kWh of electricity and the turbine heat rate. Steam turbine efficiency can also be calculated by comparing the fuel energy required for every 1 kWh with the turbine heat rate. The results of the analysis obtained are the turbine Heat rate curve based on the performance test with the best value 11028 kJ/kWh kJ/kWh; The value of the turbine generator gross heat rate of PLTU Banjarsari Unit 2 based on

performance tests in 2015 was 8615 kJ/kWh; The corrected unit net power outputs, The corrected unit net power output, The corrected unit net heat rates, Aux power consumptions, Generator transformer losses, Unit auxiliary transformer losses, Stack emissions level corrected under TCMR conditions better than the contract requirements.

Keywords— *steam turbine, performance test, Heat rate turbine, TCMR*

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 lama semakin meningkat, peningkatan kebutuhan manusia juga diikuti dengan kebutuhan energi yang juga semakin meningkat. Energi listrik yang besar serta penggunaannya yang terus menerus tidak dapat tersedia secara alami. Oleh sebab itu dibutuhkan pembangkit listrik yang handal.

PLTU Banjarsari Unit 2 merupakan Unit Pembangkitan yang dimiliki oleh PT Bukit Pembangkit Innovative di Kabupaten Lahat Provinsi Sumatera Selatan. PLTU Banjarsari Unit 2 adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batu bara yang berkapasitas 2x110 MW. Pembangkit ini akan dipergunakan sebagai pemasok listrik untuk PT. PLN.

Turbin uap yang digunakan pada PLTU bekerja secara kontinyu untuk menghasilkan daya yang maksimal. Turbin uap yang digunakan pada PLTU Banjarsari Unit 2 adalah jenis *Turbin Tandem-Compound, 4 Cylinders, 4 Flow Exhaust*. 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.

Pada saat akan serah terima PLTU Banjarsari Unit 2 dilakukan *performance test* oleh *Harbin Power Equipment Performance Test Center, Ltd*. *Performance test* tersebut dilakukan untuk mengetahui *Heat rate* unit-unit di PLTU. *Heat rate* dapat dihitung dengan metode *input-output*,

Heat rate melalui metode efisiensi boiler (metode input output dan metode kehilangan panas), *turbine heat rate*, dan *specific fuel consumption* (SFC). Pengujian *Heat rate* dilakukan untuk menentukan proses transaksi niaga pembelian energi listrik sehingga pihak PLN dapat mematok harga untuk setiap kWh energi listrik yang diproduksi dari PLTU Banjarsari Unit 2.

Heat rate adalah ukuran dari thermal performance *boiler-turbine-generator* yang dioperasikan secara gabungan sebagai suatu unit. *Heat rate* didefinisikan sebagai jumlah dari energi bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah energi listrik selama waktu satu jam. Satuan *Heat rate* adalah kJ/kWh. Sedangkan *Turbine Heat rate* didefinisikan sebagai jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1 kWh.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk menentukan *Turbine Heat rate* PLTU Banjarsari Unit 2 adalah:

1. Metode Studi Pustaka

Metode ini dilakukan dengan membaca buku-buku sebagai referensi yang berupa Laporan Uji Kinerja untuk Unit No.2 (bagian turbin uap, bagian boiler dan bagian listrik) di PLTU Banjarsari Unit 2 dan buku *Heat rate handbook* dari bagian perencanaan dan pengendalian operasi atau buku yang berkaitan dengan sistem pembangkit listrik tenaga uap, serta mencari sumber informasi lainnya sebagai dasar teori.

2. Metode Studi Lapangan

Metode ini dilakukan dengan pengamatan dan pengumpulan data untuk mendapatkan data yang diperlukan yaitu parameter data yang digunakan untuk

menentukan *turbine heat rate*. Parameter data *Turbine Heat rate* yaitu temperatur, tekanan, dan laju aliran massa uap utama (*main steam*), temperatur dan tekanan uap masuk pemanas ulang (*cold reheat*), temperatur dan tekanan uap keluar pemanas ulang (*hot reheat*), temperatur, tekanan, dan laju aliran massa *superheater spray water*, temperatur, tekanan, dan laju aliran massa air umpan (*final feed water*), dan *generator gross output*, yang didapatkan dari ruang kontrol PLTU Banjarsari Unit 2.

3. Metode Pengolahan dan Analisa

Metode ini dilakukan pengolahan data yang telah didapatkan untuk menentukan *turbine heat rate* yang nantinya dapat digunakan untuk mengetahui efisiensi turbin. Dengan hasil tersebut dilakukan analisa diskriptif berdasarkan grafik dari hasil pengolahan data yang kemudian didapatkan kesimpulan.

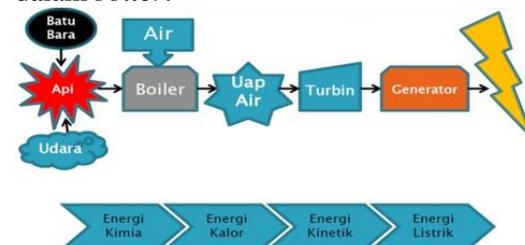
2.1 Dasar Teori

Penelitian ini membahas tentang *turbine heat rate* berdasarkan performance test PLTU Banjarsari Unit 2. Adapun batasan masalah yang akan dibahas adalah dalam penelitian ini yaitu *turbine heat rate* dan efisiensi turbin uap.

2.1. Proses Konversi Energi dan Siklus Rankine

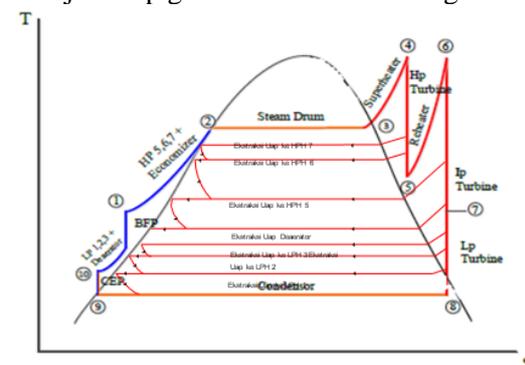
Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Banjarsari Unit 2 merupakan pembangkit listrik dengan bahan bakar batubara yang memanfaatkan *fluida* kerja berupa uap (*steam*) untuk menggerakkan turbin yang bertindak sebagai penggerak mula yang kemudian turbin akan memutar rotor generator untuk menghasilkan listrik. 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 di dalam *furnace* yang kemudian digunakan untuk memanaskan pipa-pipa berisi air/uap di dalam boiler.



Gambar 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. Berikut gambar 2, yang menggambarkan T-S diagram siklus rankine pada PLTU Banjarsari Unit 2. 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.



Gambar 2. Siklus Rankine PLTU Banjarsari 1. Proses 1-2

Proses air melalui *boiler feed pump* (BFP) tekanannya dinaikkan kemudian disalurkan ke dalam *Boiler* untuk

dipanaskan dan diubah menjadi uap, dengan menggunakan HP heater 5, HP heater 6, HP heater 7, dan economizer, dengan pemanasan tanpa perubahan tekanan.

2. Proses 2-3

Proses pemisahan antara uap kering dan uap basah pada *steam drum*.

3. Proses 3-4

Proses pemanasan lanjut uap kering dengan menggunakan *superheater*.

4. Proses 4-5

Uap *superheat* memutar *high pressure turbine* (HP Turbin).

5. Proses 5-6

Proses pemanasan uap dengan menggunakan *reheater*, temperatur uap kering naik tekanan konstan.

6. Proses 6-7

Uap kering memutar *intermediate pressure turbine* (IP Turbin).

7. Proses 7-8

Uap kering memutar *low pressure turbine* (LP Turbin).

8. Proses 8-9

Proses pendinginan uap kering yang diubah fasanya menjadi air pada kondensor.).

9. Proses 9-10

Proses air dari kondensor masuk ke dalam *condenser extraction pump* (CEP) untuk dipompakan.

10. Proses 10-1

Fluida kerja dipompa dari tekanan rendah menjadi tekanan tinggi. Pada tahap ini *fluida* kerja berfase cair sehingga membutuhkan energi yang relatif kecil untuk proses pemompaan. Dan proses pemanasan air pada LP heater 1, LP heater 2, LP heater 3, dan *deaerator*.

2. 2 Turbin Uap PLTU Banjarsari Unit 2

Turbin uap yang digunakan pada PLTU Banjarsari Unit 2 merupakan turbin uap dengan sistem *reheat*/pemanasan ulang dan pengkondensasian uap keluar turbin atau yang dikenal dengan jenis turbin uap *Tandem Compound Reheat Condensing Turbine*. Turbin Uap PLTU Banjarsari Unit 2 juga merupakan jenis turbin ekstraksi, karena sebagian uap dari tiap-tiap tingkatan turbin diekstraksi untuk memanaskan air

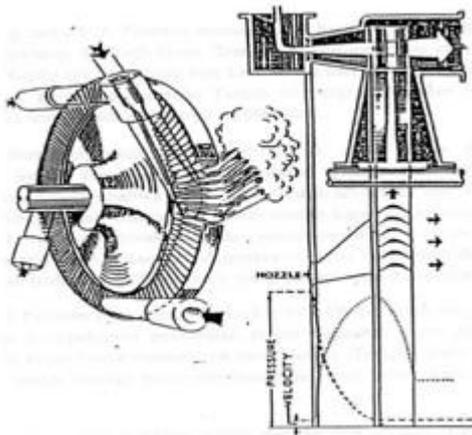
umpan/ *feed water heater*, sehingga tidak semua uap hasil pemanasan di *boiler* digunakan untuk memutar turbin, melainkan sebagian uapnya diekstraksi sebagai pemanasan awal air umpan. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi sistem dengan menghemat konsumsi bahan bakar *boiler*. PLTU Banjarsari Unit 2 menggunakan turbin dengan 3 tingkat tekanan, yakni *high pressure turbine* (HP turbin), *intermediate pressure turbine* (IP turbin) dan *low pressure turbine* (LP turbin). Pada dasarnya turbin uap terdiri dari dua komponen utama yaitu rotor dan stator, komponen lainnya seperti bantalan, kopling, *turbine valve*, *main oil pump*, *oil deflector* serta komponen pendukung lainnya agar kerja dari turbin optimal sesuai kebutuhan.

Prinsip kerja tenaga uap sebagai berikut:

- a) Uap masuk kedalam turbin melalui nosel. Didalam nosel energi *thermal* (kalor) dari uap diubah menjadi energi kinetik dan uap mengalami pengembangan. Tekanan uap pada saat keluar dari nosel lebih kecil dari pada saat masuk ke dalam nosel, akan tetapi sebaliknya kecepatan uap keluar nosel lebih besar dari pada saat masuk ke dalam nosel. Uap yang memancarkan keluar dari nosel diarahkan ke sudu-sudu turbin yang berbentuk lengkungan dan dipasang disekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah-celah antara sudu turbin itu dibelokkan kearah mengikuti lengkungan dari sudu turbin. Perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan memutar roda dan poros turbin.
- b) Jika uap masih mempunyai kecepatan saat meninggalkan sudu turbin berarti hanya sebagian yang energi kinetis dari uap yang diambil oleh sudu-sudu turbin yang berjalan. Supaya energi kinetik yang tersisa saat meninggalkan sudu turbin dimanfaatkan maka pada turbin dipasang lebih dari satu baris sudu gerak. Sebelum memasuki baris kedua sudu gerak. Maka antara baris pertama dan baris kedua sudu gerak dipasang satu baris sudu tetap (*guide blade*) yang

berguna untuk mengubah arah kecepatan uap, supaya uap dapat masuk ke baris kedua sudu gerak dengan arah yang tepat.

- c) Kecepatan uap saat meninggalkan sudu gerak yang terakhir harus dapat dibuat sekecil mungkin, agar energi kinetik yang tersedia dapat dimanfaatkan sebanyak mungkin. Dengan demikian efisiensi turbin menjadi lebih tinggi karena kehilangan energi relatif kecil.



Gambar 3 Turbin uap

2. 2.1 Komponen-komponen Utama Turbin

a. Rotor Turbin

Merupakan bagian turbin yang bergerak. Rotor turbin terdiri dari rotor untuk tekanan tinggi, menengah dan rendah. Tiap rotor ditahan oleh dua bantalan journal (bantalan luncur).

b. Sudu-sudu Turbin

Adalah sudu-sudu yang dipasang di sekeliling rotor membentuk suatu piringan. Sudu gerak adalah sudu yang bergerak berputar bersama poros turbin.

2. 2.3 Komponen-komponen pendukung turbin

a. Bearing

Bantalan (*bearing*) berfungsi sebagai penyangga rotor sehingga membuat rotor dapat stabil/lurus pada posisinya didalam *casing* dan rotor dapat berputar dengan aman dan bebas.

b. Main Stop valve

Main Stop valve adalah katup penutup cepat yang berfungsi untuk memblokir aliran uap dari *boiler* ke turbin.

Katup ini dirancang hanya untuk menutup penuh atau membuka penuh.

c. Governor valve

Katup ini berfungsi untuk mengontrol laju aliran uap ke turbin untuk mengendalikan putaran turbin.

d. Reheat Stop Valve (RSV)

Fungsi utama *Reheat stop valve* adalah untuk menutup dengan cepat aliran *steam* dari *reheater* ke *intermediate pressure* turbin bila dalam keadaan bahaya.

e. Intercept Valve

Interceptor valve adalah peralatan untuk mengontrol putaran pada *intermediate pressure* turbin dan membatasi putarannya pada batas tertentu.

f. Katup Ekstraksi Satu Arah

adalah untuk mencegah turbin terhadap kemungkinan *overspeed* akibat aliran balik uap ekstraksi dari pemanas awal ke turbin atau *water induction* di turbin.

g. Katup Ventilasi

Katup ventilasi berfungsi untuk menghubungkan saluran MSV dengan HP turbin dan RSV dengan IP turbin dengan kondensor.

h. Katup Drain

Katup *drain* berfungsi untuk membuang air dari dalam saluran pipa-pipa uap. Karena adanya air dalam saluran uap dapat menyebabkan *water damage*, korosi, dan *water hammer*.

i. Turning Gear

Turning gear berfungsi untuk memutar poros turbin ketika turbin *shutdown* dan *start*

j. High Pressure Bypass Valve

HP bypass valve adalah katup yang berfungsi untuk mengalirkan *steam* dari *superheater* ketika turbin *trip* atau belum bekerja. *Steam* ini langsung dialirkan ke *reheater* untuk kemudian mengalami pemanasan ulang.

k. Low Pressure Bypass Valve

LP bypass valve adalah katup yang berfungsi untuk mengalirkan *steam* dari *reheater* ketika turbin *trip*. *Steam* ini langsung dialirkan ke *condensor*.

l. High Pressure Spray Valve

HP spray valve akan menyemprotkan air pendingin ke steam yang melalui HP bypass untuk menurunkan temperatur steam sebelum masuk ke reheater. Air yang digunakan untuk spray ini berasal dari BFPT.

m. Low Pressure Spray Valve

LP spray valve akan menyemprotkan air pendingin ke steam yang melalui LP bypass untuk menurunkan temperatur steam sebelum masuk ke condenser. Air yang digunakan untuk spray ini berasal dari CEP.

Selain komponen pendukung pengoperasian turbin, juga terdapat peralatan bantu turbin, sebagai berikut:

a. Kondesor

Kondesor adalah alat penukar kalor (*heat exchanger*) yang digunakan untuk merubah uap bekas yang digunakan untuk memutar turbin menjadi air.

b. Circulating Water Pump

CWP berfungsi untuk memompa air masuk ke condenser sebagai air pendingin untuk proses kondensasi.

c. Condensate Extraction Pump

CEP adalah berfungsi untuk memompa air kondensat untuk diproses di low pressure heater menuju deaerator.

d. Boiler Feed Pump

BFP berfungsi untuk memompa air umpan dari deaerator menuju ke boiler, namun sebelum masuk ke boiler air umpan dipanaskan terlebih dahulu melalui high pressure heater 5, high pressure heater 6, high pressure heater 7, dan economizer.

2. 3 Turbin Heat Rate

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

Turbine Heat Rate dapat dikalkulasi dengan persamaan:

$$H_{RT} = \frac{(\dot{m}_1 \times h_{1+} + \dot{m}_3 \times h_3) - (\dot{m}_f \times h_f + \dot{m}_2 \times h_2 + \dot{m}_{is} \times h_{is})}{P_g - P_{exc}} \quad (1)$$

Dimana :

- H_{RT} : Heat rate turbin (kJ/kwh)
- \dot{m}_1 : Laju aliran massa main steam (uap keluaran superheater) (kg/jam)
- h_1 : Entalpi main steam (uap keluaran superheater) (kJ/kg)
- \dot{m}_3 : Laju aliran massa hot reheat (uap keluaran dari reheater) (kg/jam)
- h_3 : Entalpi hot reheat steam (uap keluaran dari reheater) (kJ/kg)
- \dot{m}_f : Laju aliran massa feed water (air umpan boiler) (kg/jam)
- h_f : Entalpi feed water (air umpan boiler) (kJ/kg)
- \dot{m}_2 : Laju aliran massa cold reheat (uap masuk ke reheater) (kg/jam)
- h_2 : Entalpi cold reheat (uap masuk ke reheater) (kJ/kg)
- \dot{m}_{is} : Laju aliran massa desuperheater spray (kg/jam)
- h_{is} : Entalpi desuperheater spray (kJ/kg)
- P_g : Turbin Generator output (MW)
- P_{exc} : Generator excitation power (MW)

2. 4 Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin merupakan parameter yang menyatakan derajat keberhasilan komponen atau sistem turbin mendekati desain atau proses ideal dengan satuan %.

Efisiensi turbin dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$H_{turbine} = \frac{\text{Energi kalor dalam 1 kWh}}{\text{Heat Rate Turbin}} \times 100\% \quad (2)$$

(2)

Dimana :

$H_{turbine}$: Efisiensi turbin %

Energi kalor 1kWh : 3600kJ

Turbine heat rate : kJ/kWh

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pembahasan Schedule of The Test Runs

Berikut jadwal tes yang di lakukan pada Juni 2015. Alat ukur diverifikasi oleh PT. Bukit Pembangkit Innovative. Tes

jaminan diterima sesuai dengan prosedur pengujian jaminan kinerja yang menjelaskan perhitungan jaminan kinerja berdasarkan kontrak.

Tabel 3.1 *Schedule of the test runs*

<i>NO</i>	<i>CONDITION</i>	<i>DATE</i>	<i>TIME</i>	<i>TEST ITEMS</i>
1	TCMR	2015-06-15	10:15 to 12.15 15:00 to 17:00	<i>Plant net output</i>
				<i>Plant net heat rate</i>
				<i>Generator transformer losses</i>
				<i>Aux. power consumption</i>
			09:15 to 13:15 14:00 to 18:00	<i>Steam generator efficiency Emission</i>
2	75% TCMR	2015-06-14	10:00 to 12:00	<i>Turbine – generator gross heat rate</i>
				<i>Steam generator efficiency</i>
3	50% TCMR	2015-06-14	15:00 to 16:00	<i>Turbine – generator gross heat rate</i>
				<i>Steam generator efficiency</i>
4	<i>HP Heaters Cut</i>	2015-06-15	18.40 to 19.40	<i>Generator gross power output</i>
5	<i>Minimum Load</i>	2015-06-14	16.30 to 17.00	<i>Generator gross power output</i>
6	VWO	2015-05-03	20:45 to 21:15	<i>Generator gross power output</i>

3.2 Pembahasan Turbine Hate Rate

Turbine Heat Rate menunjukkan jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1 kWh. Kinerja dari turbin uap dapat dilihat dari nilai *turbine heat rate*-nya dimana semakin kecil nilai *turbine heat rate* maka semakin baik kinerja dari turbin uap tersebut. Hal

tersebut dapat dilihat dari efisiensi siklus turbin. Pada dasarnya efisiensi siklus turbin uap berbanding terbalik dengan nilai *turbine heat rate* yang berarti semakin kecil *turbine heat rate* maka efisiensi siklus turbin semakin baik, begitu juga sebaliknya semakin besar *turbine heat rate* maka efisiensi siklus turbin semakin kecil.

Tabel 3.2 *Guarantee values and test results of unit No.2 at 100% TCMR*

NO	ITEMS	UNIT	GUARANTEE VALUE	TCMR	RESULTS	AVERAGE VALUES
1	<i>Generator Gross Power Output</i>	kW	135000	1	138033,1	13671,5
				2	137309,8	
2	<i>Aux. Power Consumption</i>					
2.1	<i>Aux. Power</i>	kW	13208,0	1	12698,08	12781,89
				2	12865,69	
2.2	<i>Common Aux. Power</i>	kW	2086,8	1	394,78	394,78
				2	394,78	
3	<i>Transformer Losses</i>					
3.1	<i>Generator Transformer</i>					
	<i>Iron Losses</i>	kW	95		71,88	71,88
	<i>Copper Losses</i>	kW	370		366,87	366,87
	<i>Aux. Power</i>	kW	10	1	6	6
2				6		
3.2	<i>Unit Auxiliary Transformer</i>					
	<i>Iron Losses</i>	kW	18		17,09	17,09
	<i>Copper Losses</i>	kW	103		101,55	101,55
	<i>Aux Power</i>	kW	3	1	3	3
2				3		
4	<i>Unit Net Power</i>	kW	121500	1	125137,6	124692,2
				2	3124246,7	
5	<i>Unit Net Heat Rate (HHV)</i>	Kcal/kWh	2699,9	1	2634	2636,4
				2	2638,8	

Tabel 3.3 *Guarantee values and test results of unit No 2 for environmental control*

NO	ITEMS	UNIT	GUARANTEE VALUES	RESULTS
1	<i>Sulphur dioxide at TCMR</i>	mg/Nm ³	750	184.75
2	<i>Nitrogen oxide at TCMR</i>	mg/Nm ³	750	40.70
3	<i>Particulate at TCMR</i>	mg/Nm ³	100	21.21

Tabel 3.4 *Reference values and results of performance bonafide test for Unit No 2*

NO	ITEMS	UNIT	REFERENCES	RESULTS	AVERAGE VALUE	
1	<i>Turbine-generator hate rate</i>					
	<i>100% TCMR 1</i>	Kcal/kWh	2038.1	2057.7	2056.4	
	<i>100% TCMR 2</i>			2055.1		
	<i>75% TCMR</i>	Kcal/kWh	2076.3	2075.3	2075.3	
	<i>50% TCMR</i>	Kcal/kWh	2168.2	2168	2168	
2	<i>Boiler Efficiency (HHV)</i>					
	100% TCMR1	%	-	86.87	86.82	
	100% TCMR2			86.77		
	75% TCMR			-	86.64	86.64
	50% TCMR			-	86.37	86.37
	<i>Boiler Efficiency (LHV)</i>					
	100% TCMR1	%	92	93.99	93.97	
	100% TCMR2			93.95		
	75% TCMR			-	93.84	93.84
	50% TCMR			-	93.64	93.64
3	<i>Unit Min Load</i>	kW	40733	40994	40994	
4	<i>Generator gross power output at HP Heaters Cut</i>	kW	135016	136237	136237	
5	VWO	MW	141	141	141	

Tabel 3.5 *Calculation of Unit Net Power Output and Unit Net Heat Rate*

NO	ITEMS	FORMULA OR DATA SOURCES	SYMBOL	UNIT	TMCR 1	TMCR 2
1	<i>Corrected turbine generator gross heat</i>	Field Data	CTGHR	Kl/kWh	8615	8604

	rate					
2	Corrected gross gen, output	$\frac{UGPO}{(1 + 0.01c1) \cdot (1 + 0.01c2) \dots}$	CUGPO	kW	138033	137310
3	Corrected boiler efficiency	Field Data	EF	%	86.87	86.77
4	Correction of unit gross heat	$100 \cdot \frac{CTGHR}{EF}$	CUGHR	kJ/kWh	9917	9916
				Cal/kWh	2369	2368
5	Unit total auxiliary power consumption	Field Data	UTAPC	kW	12895.5	13063.1
6	Transformer losses	Field Data	TL	kW	1007.99	1007.99
7	The corrected unit net power output	CUGPO-UTAPC	CUNPO	kW	125137.6	124246.7
8	Corrected unit net heat rate	$CUGHR \cdot \frac{CUGPO}{CUNPO-TL}$	CUNHR	KJ/kWh	11028	11048
				Kcal/kWh	2634	2638.8

Dari tabel 3.5 dapat diketahui perhitungan laju bersih dan laju panas bersih (terlampir).

Nilai *turbine heat rate* dapat dihitung sebagai berikut:

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

$$HR_T = 11028 \text{ kJ/kWh}$$

$$HR_T = 2634$$

kcal/kWh; Dimana

$$1 \text{ kJ} = \frac{1}{4,1868} \text{ kcal}$$

Turbine Heat Rate menunjukkan jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1 kWh. Kinerja dari turbin uap dapat dilihat dari nilai *turbine heat rate*-nya dimana semakin kecil nilai *turbine heat rate* maka semakin baik kinerja dari turbin uap tersebut. Hal tersebut dapat dilihat dari efisiensi siklus turbin. Pada dasarnya efisiensi siklus turbin uap berbanding terbalik dengan nilai *turbine heat rate* yang berarti semakin kecil *turbine heat rate* maka efisiensi siklus turbin semakin baik, begitu juga sebaliknya

semakin besar *turbine heat rate* maka efisiensi siklus turbin semakin kecil.

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisis dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Nilai *turbine heat rate* PLTU Banjarsari Unit 2 berdasarkan *performance test* pada tahun 2015 adalah 11028 kJ/kWh,
- Nilai *turbine generator gross heat rate* PLTU Banjarsari Unit 2 berdasarkan *performance test* pada tahun 2015 adalah 8615 kJ/kWh.

5. SARAN

Dari hasil perhitungan dan analisis disarankan sebagai berikut:

- The corrected unit net power outputs, The corrected unit net power output, The corrected unit net heat rates, Aux power consumptions, Generator transformer losses, Unit auxiliary transformer losses, Stack emissions level* yang dikoreksi pada kondisi

- TCMR lebih baik daripada persyaratan kontrak,
- b. Efisiensi turbin akan semakin baik dengan semakin rendahnya *turbine heat rate* pada suatu unit pembangkit.

[7] Yahya, S. Turbin Uap
http://bse.kemdiknas.go.id/buku/20080820190042/pdf/02_bab_15.pdf. Tanggal 5 Juni 2014.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya berterimakasih kepada Allah swt, karena saya bisa menyelesaikan salah satu tugas paper penelitian ini.

Selain kepada Allah swt, saya ucapkan banyak terimakasih kepada keluarga, orang tua, teman dan sahabat, tak lupa kepada dosen-dosen saya dan Tim Redaksi Jurnal Teknik Politeknik Negeri Sriwijaya. Tanpa mereka, saya tidak bisa menyelesaikan tugas ini dengan baik dan berterimakasih telah memberikan kesempatan, sehingga *paper* penelitian ini dapat diterbitkan.

Paper penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan. Saya harap pembaca tak segan memberikan kritik dan saran sehingga saya bisa atau teman yang melakukan penelitian selanjutnya bisa melakukan perbaikan di masa depan dan juga bermanfaat sebagai referensi penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Albert, Paul. *Steam Turbine Thermal Evaluation And Assessment*.
http://site.geenergy.com/prod_serv/products/tech_docs/en/downloads/ger4190.pdf (15 Juni 2014).
- [2] Boles, Michael A and Yunus A Cengel. 2002. *Thermodynamics: An Engineering*.
- [3] Engineering Team, 2015, PLTU Banjarsari .
- [4] Laporan Performance Test Unit#2 (15 Juni 2015).
- [5] Marsudi Djiteng, 2011. "*Pembangkitan Energi Listrik*". Jakarta: Erlangga.
- [6] Sentosa, Dian Swastatika. 2008. *Session 17 Steam Turbine Theori*.
<http://febriantara.files.wordpress.com/2008/11/sesi-17.pdf>. (17 Juni 2014).