

EVALUASI *HEAT RATE* DAN EFISIENSI SUATU PLTU DENGAN MENGGUNAKAN BATUBARA YANG BERBEDA DARI SPESIFIKASI *DESIGN*

Evaluation of Heat Rate and Efficiencies of a Steam Power Plant Using the Different Coal Spesification From the Design Spesification

Amiral Aziz ^{1,2)} dan Andi Rinaldi Hasan ²⁾

¹⁾ Pusat Teknologi Konversi dan Konservasi Energi
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
Gedung 230 Kawasan Puspiptek Serpong-Tangerang 15314

²⁾ Pasca Sarjana Teknik Mesin Universitas Trisakti Jakarta
Email: amiralazis@bppt.go.id

Diterima: 6 Mei 2015; Diperiksa: 12 Mei 2015; Revisi: 28 Mei 2015; Disetujui: 9 Juni 2015

Abstract

This paper presents some results of studies that conducted to evaluate the heat rate and efficiencies of coal-fired power plant with a capacity of 300 MW using the different coal spesification from the design spesification after about two years operation. The results of this study showed that the boiler efficiency (HHV Base) on the actual test 100% LRC decreased by 3.25% and in testing with a composition of 50 % LRC and 50% MRC has decreased by 2.91% compared with commissioning value. Heat loss due to dry flue gas, mouisture content in the fuel and combustion of hydrogen provides the largest contribution to the decline of boiler efficiency in comparison with the commissioning result. At maximum load , Turbine Heat Rate at 2 (two) the actual test of 100 % LRC are 1994.67 kcal / kWh and 1981.55 kcal / kWh respectively while the test with a composition of 50 % LRC and 50 % MRC Turbine Heat Rate is 1977 , 52 kcal / kWh. These values are lower 4.47%, 3.78% for two testing of 100% LRC and lower 3.45% for testing of 50 % LRC and 50% MRC respectively than commissioning result. Gross plant heat rate (HHV Base) for two (2) 100% LRC testing are 2320.60 kcal / kg and 2293.63 kcal / kg respectively, while testing with 50 % LRC and 50% MRC Gross Plant Heat Rate (HHV Base) is 2290.75 kcal / kg. They are bigger 3.28 % , 2.08 % and 1.95 % respectively compared to a commissioning result (2246.84 kcal / kg).

Keywords: *steam power plant, low rank coal (lrc), medium rank coal (mrc), heat rate, efficiency , boiler, turbine*

Abstrak

Tulisan in menampilkan beberapa hasil penelitian yang dilakukan untuk mengevaluasi *heat rate* dan efisiensi PLTU batu bara berkapasitas 300 MW yang menggunakan spesifikasi batubara yang berbeda dari spesifikasi rancangan setelah beroperasi sekitar dua tahun. Hasil dari penelitian ini memperlihatkan bahwa Efisiensi boiler (HHV basis) pada pengujian aktual 100% LRC mengalami penurunan sebesar 3,25 % dan pada pengujian dengan komposisi 50 % LRC dan 50 % MRC mengalami penurunan sebesar 2,91 % dibandingkan hasil komisioning. Kehilangan panas karena gas buang kering, kandungan air dalam bahan bakar dan pembakaran hidrogen memberikan kontribusi terbesar terhadap penurunan efisiensi boiler dibandingkan dengan hasil komisioning . Pada beban maksimum, *Turbine Heat Rate* pada 2 (dua) pengujian aktual 100% LRC masing-masing sebesar 1.994,67 kcal/kWh dan 1.981,55 kcal/kWh sedangkan pada pengujian dengan komposisi 50 % LRC dan 50 % MRC *Turbine Heat Rate* adalah 1.977,52 kcal/kWh. Nilai tersebut lebih rendah 4,47 % dan 3,78 % untuk pengujian 100 % LRC dan lebih rendah 3,45 % untuk pengujian 50 % LRC dan 50 % MRC dibandingkan hasil komisioning. *Gross Plant Heat Rate* (HHV Basis) pada 2 (dua) pengujian 100 % LRC masing- masing sebesar 2.320,60 kcal/kg dan 2.293,63 kcal/kg, sedangkan pengujian dengan 50% LRC dan 50 % MRC *Gross Plant Heat Rate* (HHV Basis) adalah 2.290,75 kcal/kg. Nilai ini lebih besar masing-masing sebesar 3,28%, 2,08% dan 1,95% dibandingkan hasil komisioning (2.246,84 kcal/kg)

Kata kunci: PLTU , LRC, MRC , *heat rate*, efisiensi , boiler, turbin

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini pemerintah Indonesia sedang giatnya membangun pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) berbahan bakar batubara. PLTU dirancang dengan komposisi dan nilai kalor (HHV) yang sudah ditentukan. Pada waktu pengoperasian PLTU, komposisi dan nilai kalor (HHV) batubara yang tersedia kadang kala berbeda dengan komposisi dan nilai kalor (HHV) perancangan. Penggunaan batubara yang mempunyai kalori yang berbeda-beda dan ketidak sesuaian pemakaian spesifikasi batubara yang digunakan pada saat evaluasi dengan spesifikasi batubara pada saat komissioning akan mempengaruhi parameter kinerja pembangkit seperti *heat rate*, efisiensi boiler, efisiensi turbin dan juga gas hasil sampingan pembakaran yang berbeda sehingga polusi yang ditimbulkan juga akan berbeda (Anonimous, 2009, Babcock and Wilcox, 2005).

Heat rate pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) adalah jumlah pasokan energi yang diperlukan untuk menghasilkan listrik sebesar 1 kWh. Karena *heat rate* adalah kebalikan dari efisiensi maka *heat rate* yang lebih rendah berarti semakin efisien suatu pembangkit listrik tenaga uap.

Penurunan *heat rate* akan menyebabkan penurunan emisi Karbon Dioksida (CO₂) dan penurunan efek terhadap *global warming* dari pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara (Richard J. Campbell, 2013). *Heat rate* yang semakin rendah disebabkan oleh beberapa faktor sebagai berikut (James E Staudt and Jennifer Macedonia 2014):

- Peningkatan efisiensi boiler.
- Peningkatan efisiensi siklus uap
- Penurunan *Auxiliary power*

Tulisan ini membahas hasil evaluasi *heat rate* PLTU batubara berkapasitas 300 MW yang bertujuan untuk mengidentifikasi terjadinya penurunan kinerja thermal (thermal performance) dibandingkan terhadap nilai desain atau komissioning pembangkit sehingga dapat dilakukan langkah-langkah perbaikan. Untuk *boiler* besar), maka perhitungan harus diulang dengan asumsi T_{gFe} yang baru.

Fluk panas rata-rata pada permukaan pemanasan dinding dapur, q_{F_1} , kW/m², dapat dihitung dengan:

2. BAHAN DAN METODE

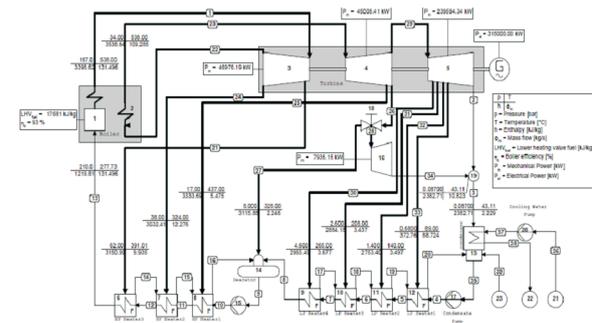
2.1. Deskripsi Objek Studi PLTU Batubara dengan Kapasitas 300 MW

Gambar 1 memperlihatkan diagram skematik dan *heat balance* PLTU batubara dengan kapasitas 300 MW pada kondisi disain. Siklus yang terjadi pada PLTU ini adalah sebagai berikut.

Uap hasil produksi boiler dengan temperatur dan tekanan tertentu digunakan untuk memutar turbin uap sehingga menghasilkan daya mekanik

dan selanjutnya dikopel langsung dengan generator listrik. Terdapat 3 tingkat turbin uap yaitu turbin tekanan tinggi (HPT), turbin tekanan menengah (IPT) dan turbin tekanan rendah (LPT). Uap panas dari boiler pertama kali digunakan untuk memutar HPT. Setelah keluar dari HPT uap panas dipanaskan lagi di *reheater* dan kemudian dialirkan ke IPT. Setelah dari IPT, uap panas langsung menuju LPT.

Pembangkit ini mempunyai konfigurasi *Feed Water Heater* (FWH) 3 – 1 – 4 yaitu 3 FWH pada tekanan tinggi, 1 *deaerator* dan 4 FWH pada tekanan rendah. (T. Srinivas, A. V. S. S. K. S. Gupta and B.V. Reddy, 2007). Dari LPT, uap dikondensasikan di dalam kondensor memakai air pendingin yang berasal dari air laut. Setelah uap terkondensasi menjadi air kondensat, air kondensat dialirkan menuju LP heater oleh pompa kondensat untuk dipanaskan, kemudian masuk ke *deaerator*. Dari *deaerator* air tersebut dipanaskan kembali di HP heater melalui BFP (*Boiler Feed Pump*). Setelah dari HP heater, air tersebut masuk ke *economizer* lalu ke *water drum*. Demikian siklus terjadi secara terus-menerus dan berulang-ulang, sehingga siklus ini dinamakan siklus tertutup.



Gambar 1. Diagram *Heat Balance* PLTU Batubara Kapasitas 300 MW (*Design Case*)

2.2. Parameter Kinerja PLTU

2.2.1. Efisiensi Boiler

Pada dasarnya efisiensi Boiler dapat diuji dengan menggunakan metode-metoda berikut (Black and Veath, 1996; Nag PK, 2002; Neil Petchers, 2003; Virendra Nagar, 2013; Sebastian Teir and Antto Kulla, 2002; ASME PTC 4, 2008):

- a. Metoda Output – Input (Output Input Method)

$$\eta_{boiler} = \frac{Heat_{OUTPUT}}{Heat_{INPUT}} \dots\dots\dots(1)$$

- b. Metoda Kerugian-Kerugian (Losses Method) (Dosa Ion, 2013; ASME PTC 4, 2008)

$$\eta_{boiler} = 1 - \sum Losses \dots\dots\dots(2)$$

2.2.1. Turbine Heat Rate

Turbine heat rate dapat dihitung dengan persamaan (Black and Veath 1996; El .Wakil M,M, 1984; ASME PTC 6, 2004):

$$THR = \frac{HEAT_{IN} - HEAT_{OUT}}{GENERATOR_{OUT}} \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

Heat_{IN}: Energi panas yang masuk ke turbin (kkal);

Heat_{OUT}: Energi panas yang keluar dari turbin (kkal);

Generator_{OUT}: Energi listrik yang dihasilkan generator (kWh)

2.2.3. Plant Heat Rate

Plant heat rate dapat dihitung menggunakan rumusan berikut (El Wakil M,M, 1984; ASME PTC 6, 2004):

$$GPHR = \frac{m_j \times HHV}{P_{Generator}} \dots\dots\dots(4)$$

$$NPHR = \frac{GPHR}{\eta_{BOILER} \times (1 - Aux, Power)} \dots\dots\dots(5)$$

2.3. Metodologi

1. Perhitungan *Net Plant Hate Rate* (NPHR) menggunakan metode *energy balance (heat loss)* untuk mengetahui kinerja pembangkit. *Heat balance* pada kondisi design dihitung dengan menggunakan *Softwire Cycle Tempo*
2. Perhitungan efisiensi boiler menggunakan metoda *output-input* (Muin Syamsir, A., 1988), dan *heat loss* sesuai dengan standar ASME PTC 4.1 (Dosa Ion, 2013; ASME PTC 4, 2008)
3. Pembebanan yang dilakukan adalah 55%, 75%, 85%, dan 100%. Untuk daya mampu dengan komposisi batubara, antara lain:
 - a. 100% LRC (*Low Rank Coal*)
 - b. Campuran 50% LRC (*Low Rank Coal*) dan 50% MRC (*Medium Rank Coal*).
4. Kondisi operasi selama pengujian antara lain:
 - a. Pengujian dilakukan menggunakan komposisi batubara 100% LRC pada beban netto sebesar 292 MW dan 276.05 MW (100% daya mampu) sedangkan komposisi campuran batubara 50% LRC dan 50% MRC pada beban netto sebesar 160 MW (50% daya mampu), 220 MW (75% daya mampu), 270 MW (85% daya mampu), dan 315 MW (100% daya mampu).

Tabel 1. Spesifikasi batubara pada saat Komissioning.

No	Test Coal (As Received)		Coal Analysis Report	
	Item	Unit	1 st Test	2 nd test
1	Carbon	kg/kg	0.5495	0.5489
2	Hydrogent	kg/kg	0.0429	0.043
3	Oxygent	kg/kg	0.2194	0.2325
4	Nitrogen	kg/kg	0.0087	0.0092
5	Sulphur	kg/kg	0.0036	0.0043
6	Moisture	kg/kg	0.24	0.234
7	Ash	kg/kg	0.0431	0.0497
8	Volatile	kg/kg	0.35	0.35
9	LHV	kcal/kg	47160	46905
10	HHV	kcal/kg	50913	50628

- b. Unit beroperasi dengan mode kontrol: boiler manual dan turbine manual dengan pembukaan CBD (Continous Blow Down) valve ± 5%, untuk pengujian 100% LRC dan

pembukaan CBD valve ± 8% untuk campuran dengan komposisi 50% LRC dan 50 % MRC.

Tabel 2. Spesifikasi batubara pada saat Evaluasi.

No	Test Coal (As Received)		Coal Analysis Report	
	Item	Unit	LRC	MRC
1	Fixed Carbon	kg/kg	0.2951	0.3393
2	Sulphur	kg/kg	0.0027	0.0072
3	Moisture	kg/kg	0.2997	0.2386
4	Ash	kg/kg	0.0397	0.0323
5	Volatile	kg/kg	0.3655	0.3898
6	Gross Heat Value	kcal/kg	4323.57	5172.4

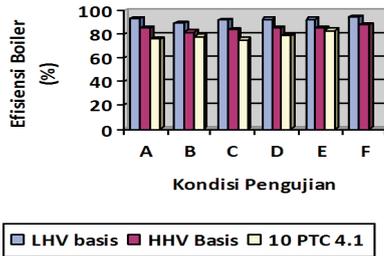
- c. Superheater spraywater dan reheater spray water dioperasikan normal dan tidak dilakukan sootblowing selama pengambilan data.
- d. Untuk *auxiliary power* peralatan *common* sepenuhnya disuplai oleh SST (*Station Service transformer*).
- e. Data produksi energi *gross* dan UAT diperoleh dari kWh meter *Gross* dan UAT Data produksi energi *netto* dan SST diambil kWh meter *netto* pada GIS, sedangkan data pemakaian batubara diperoleh dengan cara yang sama dengan saat komissioning yaitu berdasarkan pencatatan *totalizer* semua *coal feeder* yang beroperasi saat pengujian.
- f. Sampel uji yang diambil saat pengujian adalah batubara pada *coal feeder*, *bottom ash* dan *fly ash* pada silo. Pengambilan sampel batubara dilakukan 3 (tiga) kali pada setiap beban (diawal, tengah dan akhir waktu pencatatan). Pengambilan sampel abu (*ash*) dilakukan 1 (satu) kali pada setiap beban pada 15 menit terakhir sebelum selesai pencatatan. Tabel 1 memperlihatkan data spesifikasi batubara pada saat komissioning sedangkan tabel 2 memperlihatkan data-data batubara pada saat evaluasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Efisiensi Boiler

Hasil perhitungan efisiensi boiler dan kehilangan panas (*heat losses*) yang terjadi pada boiler pada kondisi pengujian yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 2 dan Tabel 3. Kondisi pengujian yang dinyatakan pada Gambar 2 adalah dengan bahan bakar 100 LRC (A), bahan bakar dengan komposisi 50% LRC + 50% MRC beban 165 MW (B), 222 MW (C), 276 MW (D), 315 MW (E) dan Komissioning 320 MW (F). Pengujian dengan bahan bakar 100 % LRC untuk beban 292 MW didapat efisiensi boiler 92.62 % berdasarkan LHV basis, 84.73 % berdasarkan HHV basis dan 75.96 % berdasarkan *standard code* 10 PTC.4.1. Pengujian dengan bahan bakar 50% LRC + 50 % MRC untuk beban 315 MW didapat efisinsi boiler untuk LHV basis dan HHV basis didapat masing-

masing 92.35 % dan 85.07 %. Nilai ini lebih rendah dibandingkan dengan efisiensi boiler pada waktu komisioning pada beban 315 MW yaitu 93.82 LHV basis dan 87.98 HHV basis.



Gambar 2. Efisiensi Boiler pada beberapa Kondisi Pengetesan

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa dari 2 (dua) kali pengujian aktual pada beban maksimum terjadi penurunan efisiensi boiler (HHV basis) dibandingkan komisioning (87,98%) yaitu masing-masing sebesar 3,25% untuk pengujian 100% LRC dan 2.91 % untuk pengujian dengan komposisi bahan bakar 50% LRC) dan 50% MRC. Kehilangan panas yang mengalami peningkatan cukup signifikan adalah kehilangan panas akibat kandungan hidrogen pada batubara, kehilangan panas akibat gas buang kering dan kehilangan panas akibat kandungan air pada batubara.

Tabel 3. Efisiensi Boiler, Losses Boiler, Temperatur Gas Buang dan Excess Air

	Unit	100 % LRC	50 % LRC + 50 % MLC				Komisi oning
			165	222	276	315	
Beban	MW	294	165	222	276	315	320.21
Eff Boiler	%	84.73	81.61	83.49	84.93	85.07	87.98
L_{uc}	%	0.04	0.04	0.02	0.1	0.08	0.09
L_{fg}	%	5.82	8.8	7.19	6.26	5.95	4.79
L_{mr}	%	4.21	4.19	4.09	3.76	3.74	3.42
L_h	%	5.03	4.98	4.98	4.71	4.82	3.28
L_{mA}	%	0.17	0.27	0.2	0.17	0.18	0.15
L_{rad}	%	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
L_{un}	%	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
T Flue Gas	$^{\circ}C$	152.9	147	151.2	155.6	156.9	145
Excess Air	%	13.6	78.7	44.1	17.6	7.9	23.6

Kehilangan panas akibat gas buang kering (L_{fg}) pada pengujian aktual 100 % LRC bertambah sebesar 1,03 %, sementara pada pengujian dengan komposisi bahan bakar 50% LRC dan 50% MRC bertambah sebesar 1,16% seperti diperlihatkan pada Tabel 4. Hal ini terjadi karena temperatur keluar gas buang pada saat pengujian aktual $T_{LRC} = 152,94^{\circ}C$ dan $T_{Mixing} = 156,92^{\circ}C$ jauh lebih tinggi dibandingkan pada saat komisioning $T_{com} = 145,00^{\circ}C$. Penggunaan excess air untuk boiler tipe pulverized coal pada pengujian aktual cenderung rendah pada pengujian 100% LRC yaitu sebesar 13,60% sedangkan pada pengujian dengan komposisi bahan bakar 50% LRC dan 50% MRC menggunakan excess air sebesar 7,98 %. Temperatur keluar flue gas yang tinggi mengindikasikan penurunan kemampuan penyerapan panas pada daerah konveksi antara superheater sampai economizer. Oleh karena itu perlu dilakukan penambahan excess air hingga batasan normal, yaitu antara 15 – 20%.

Penyebab naiknya temperatur gas buang boiler diantaranya berkurangnya permukaan perpindahan panas dan fouling yang terjadi pada tubing-tubing perpindahan panas yang disebabkan oleh kerak, baik yang berasal dari bahan bakar maupun feed water. Terbentuknya slagging dan fouling pada boiler cenderung disebabkan oleh penggunaan campuran batubara yang mempunyai perbedaan nilai kalor yang cukup besar. Batubara dengan kandungan nilai kalor tinggi mempunyai titik nyala yang berbeda dengan batubara nilai kalor rendah. Penggunaan campuran batubara mengakibatkan proses pembakaran cenderung tidak sempurna. Pembakaran yang tidak sempurna menyebabkan distribusi temperatur didalam boiler juga tidak merata sehingga menimbulkan hot spot (titik-titik panas) yang mengakibatkan temperatur furnace menjadi lebih tinggi dibandingkan temperatur leleh abu (ash fusibility temperature). Temperatur furnace yang lebih tinggi dari AFT akan menyebabkan terbentuknya slagging atau fouling pada permukaan tube boiler. Oleh karena itu untuk mengurangi kemungkinan terbentuknya slagging dan fouling sebaiknya dalam pola pengoperasian menggunakan batubara yang sejenis yang memiliki nilai kalor seragam.

Naiknya temperatur gas buang juga disebabkan karena turunnya kinerja air heater. Kinerja air heater dapat dilihat dari penggunaan excess air dan besarnya kebocoran pada air heater dengan menggunakan data parameter kandungan oksigen dalam gas buang yang didapatkan dari hasil pengukuran alat dengan komposisi bahan bakar 50% LRC dan 50% MRC portable flue gas analyzer di sisi inlet dan sisi outlet air heater. Kebocoran air heater pada 2 (dua) pengujian 100 % LRC masing-masing sebesar 4,88%, 4,45% dan pada pengujian dengan komposisi bahan bakar 50% LRC dan 50% MRC sebesar 8,59%. Besarnya kebocoran air heater akan menyebabkan aliran udara pembakaran menjadi berkurang. Untuk memperbaiki kebocoran air heater perlu adanya pengecekan pada bagian radial seal untuk memperbaiki kebocoran air heater.

Kehilangan panas akibat kandungan air pada batubara (L_{mr}) pada pengujian aktual juga lebih tinggi sebesar 0,79 % dan 0,32 % dibanding komisioning. Hal ini dikarenakan batubara LRC yang digunakan pada pengujian aktual memiliki kecenderungan kandungan moisture yang lebih tinggi dibandingkan batubara MRC yang digunakan pada saat komisioning. Oleh karena itu untuk mengurangi terjadinya kehilangan panas akibat kandungan air pada batubara sebaiknya dilakukan pengeringan (coal drying) untuk mengurangi kandungan moisture atau penambahan coal shelter pada stock pile agar kualitas batubara tidak mengalami degradasi.

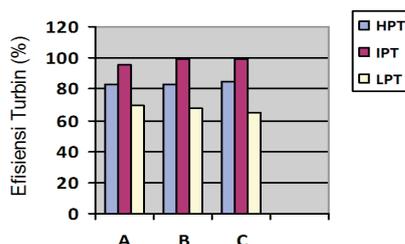
Kandungan hidrogen pada bahan bakar saat pengujian aktual juga lebih tinggi dibanding pengujian saat komisioning. Hal ini

mengakibatkan kehilangan panas akibat pembakaran hidrogen (L_h) pada pengujian aktual 100 % LRC lebih besar 1,75 % dan untuk pengujian dengan komposisi bahan bakar 50% LRC dan 50% MRC lebih besar 1,54 % dibandingkan nilai waktu komisioning.

3.2. Efisiensi Turbin

Untuk mengetahui efisiensi masing-masing turbin, dilakukan perhitungan termodinamika menggunakan data *input* parameter tekanan dan temperatur dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3. Kerugian HPT pada pengujian aktual 100% LRC bertambah sebesar 9,89 kJ/kg sedangkan pada pengujian dengan komposisi bahan bakar 50% LRC dan 50% MRC kerugian HPT bertambah sebesar 6,71 kJ/kg dibanding komisioning. Hal ini menyebabkan kerja HPT saat pengujian aktual menjadi lebih kecil dibanding komisioning sehingga efisiensi HPT mengalami penurunan masing-masing sebesar 1,99 % pengujian 100% LRC dan 1,53% untuk pengujian dengan komposisi bahan bakar 50% LRC dan 50% MRC dibandingkan komisioning. Sementara itu rugi-rugi IPT saat pengujian 100% LRC aktual lebih besar 16,37 kJ/kg sedangkan saat pengujian dengan komposisi bahan bakar 50% LRC dan 50% MRC rugi-rugi IPT lebih besar 0,14 kJ/kg dibanding komisioning.

Meningkatnya rugi-rugi turbin pada pengujian dengan komposisi bahan bakar 50% LRC dan 50% MRC dipengaruhi oleh tekanan dan temperatur keluar IPT yang lebih besar dibanding komisioning. Efisiensi LPL pada pengujian aktual 100% LRC mengalami peningkatan sebesar 6,85% sedangkan pada pengujian dengan komposisi bahan bakar 50% LRC dan 50% MRC lebih besar 3,36% dibanding komisioning. Hal ini dipengaruhi oleh nilai entalpi uap masuk LPT saat pengujian aktual lebih besar dibandingkan saat komisioning.



Gambar 3. Efisiensi Turbin dgn 100 LRC (A), 50% LRC+50% MRC (B) dan Komissioning (C).

Berdasarkan diagram T-S pengujian aktual dan komisioning terlihat bahwa kondisi HP turbine menjauhi kondisi isentropis sehingga kerja yang dihasilkan HPT menjadi lebih kecil dibanding komisioning, sedangkan kondisi IP turbine dan LPT masih mendekati dengan kondisi komisioning. Dengan demikian dapat diketahui bahwa HPT telah mengalami penurunan *performance* (degradasi) jika dibandingkan

dengan komisioning, sementara IPT dan LPT masih dalam kondisi baik.

3.3. Turbine Heat Rate

Perhitungan *turbine heat rate* dilakukan dengan menghitung total konsumsi energi panas pada turbin. Energi yang masuk pada turbin meliputi energi yang terkandung pada *main steam* dan *hot reheat steam*. Sementara energi yang keluar turbin meliputi energi yang terkandung pada *feed water*, *cold reheat steam*, *superheater spray water* dan *reheater spray water*. *Turbine heat rate* pada 2 (dua) kali pengujian aktual 100% LRC masing-masing sebesar 1.994,67 kcal/kWh dan 1.981,55 kcal/kWh sedangkan pada pengujian aktual dengan komposisi bahan bakar 50% LRC dan 50% MRC beban maksimum sebesar 1.977,52 kcal/kWh. Nilai tersebut lebih tinggi 4,47%, 3,78% untuk pengujian 100% LRC dan lebih rendah 3,45% untuk pengujian dengan komposisi bahan bakar 50% LRC dan 50% MRC dibanding komisioning (1.909,39 kcal/kWh). Peningkatan *turbine heat rate* pada pengujian aktual dibandingkan komisioning disebabkan oleh jumlah *main steam flow* yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya yang sama lebih besar. Bertambahnya *main steam flow* pada pengujian aktual disebabkan oleh temperatur *main steam* lebih rendah dibandingkan komisioning sehingga entalpi *main steam* yang dihasilkan juga lebih rendah. Disamping itu besarnya *reheater spray* saat pengujian dengan komposisi bahan bakar 50% LRC dan 50% MRC lebih tinggi jika dibandingkan dengan komisioning pada beban yang sama. Tingginya pemakaian *reheater spray* tersebut mengakibatkan konsumsi energi pada saat pengujian aktual lebih besar dibandingkan komisioning.

Tabel 4. *Turbine Heat Rate* pada beban 100 %

	Power Gross	Turbine Heat Rate
	MW	kcal/kWh
100 % Low Rank Coal TMCR 1	294	1,994.67
100 % Low Rank Coal TMCR 2	294	1,981.55
50 % LRC - 50 % MRC	315	1,977.52
100 % TMCR Commisioning	320.21	1,909.39

3.4. Plant Heat Rate

Tabel 3 dan 6 memperlihatkan hasil perhitungan Plant Heat Rate masing-masing berdasarkan Metoda *Output – Input* dan Metoda Energy Balance. Daya yang dihasilkan dari pengujian aktual beban maksimum menggunakan batubara dengan komposisi 50% LRC dan 50% MRC sebesar 315,00 MW lebih tinggi dibandingkan saat menggunakan batubara 100% LRC sebesar 292,00 MW. Hal ini disebabkan oleh nilai kalor saat menggunakan batubara dengan komposisi 50% LRC dan 50% MRC (4.692 kkal/kg) lebih tinggi dibandingkan saat menggunakan batubara 100% LRC (4.486 kkal/kg dan 4.588 kkal/kg). Nilai GPHR

dan NPHR pada metoda *Output– Input* lebih besar dibandingkan dengan nilai GPHR dan NPHR pada metoda *energy balance*, hal ini disebabkan pada metoda Output-Input perhitungan dilakukan secara global sedangkan pada metoda *heat balance* perhitungan dilakukan dengan mempertimbangkan losses-losses yang terjadi. Dari Tabel 5 dan 6 dapat dilihat pengaruh kualitas batubara terhadap *plant heat rate*, semakin tinggi HHV semakin rendah *plant heat rate* dan semakin tinggi efisiensi pembangkit. *plant heat rate* juga dipengaruhi oleh efisiensi boiler dan *auxiliary power*. Semakin rendah efisiensi boiler semakin tinggi *plant heat rate*. Begitu juga semakin besar *auxiliary power* semakin kecil *net power output* sehingga semakin besar *plant heat rate*.

Tabel 5. *Plant Heat Rate* Berdasarkan Metoda *Output-Input*

	Unit	100 % LRC	50 % LRC + 50 % MRC				Komisi oning
Beban	MW	292	160	220	270	315	315
HHV	kcal/kg	4486	4509	4571	4786	4692	4991
GPHR	kcal/kWh	2783	2762	2783	2669	2506	2485
NPHR	kcal/kWh	2953	3032	2971	2858	2692	

Tabel 6. *Plant Heat Rate* Berdasarkan Metoda *Energy Balance*

	Unit	100 % LRC	50 % LRC + 50 % MRC				Komisi oning
Beban	MW	292	160	220	270	315	315
	%	100	50	75	88	100	100
HHV	kcal/kg	4486	4509	4571	4786	4692	4991
SFC	kg/kWh	0,66	0,67	0,65	0,6	0,57	
GPHR	kcal/kWh	2357	2517	2365	2319	2327	2465
NPHR	kcal/kWh	2495	2757	2530	2479	2246	

4. KESIMPULAN

Akibat menggunakan spesifikasi batubara yang berbeda pada waktu pengujian dengan komisioning diperoleh kesimpulan bahwa efisiensi boiler (HHV basis) pada pengujian aktual 100% LRC mengalami penurunan sebesar 3,25 % dan pada pengujian dengan komposisi 50 % LRC dan 50 %MRC mengalami penurunan sebesar 2,91 % dibandingkan hasil komisioning. Kehilangan panas karena gas buang kering, kandungan air dalam bahan bakar dan pembakaran hidrogen memberikan kontribusi terbesar terhadap penurunan efisiensi boiler dibandingkan dengan hasil komisioning

Pada beban maksimum, *turbine heat rate* pada 2 (dua) pengujian aktual 100% LRC masing-masing sebesar 1.994,67 kcal/kWh dan 1.981,55 kcal/kWh sedangkan pada pengujian dengan komposisi 50 % LRC dan 50 % MRC Turbine Heat Rate adalah 1.977,52 kcal/kWh. Nilai tersebut lebih rendah 4,47 % dan 3,78 % untuk pengujian 100 % LRC dan lebih rendah 3,45 % untuk pengujian 50 % LRC dan 50 % MRC dibandingkan hasil komisioning.

Gross plant heat rate (HHV Basis) pada 2 (dua)

pengujian 100 % LRC masing- masing sebesar 2.320,60 kcal/kg dan 2.293,63 kcal/kg, sedangkan pengujian dengan 50% LRC dan 50 % MRC *Gross plant heat rate* (HHV Basis) adalah 2.290,75 kcal/kg. Nilai ini lebih besar masing-masing sebesar 3,28%, 2,08% dan 1,95% dibandingkan hasil komisioning (2.246,84 kcal/kg)

Penggunaan unit *coal drying* untuk menaikkan nilai kalor memenuhi target desain PLTU pada tingkat efisiensi dan *heat rate* yang diinginkan merupakan salah satu solusi yang paling memungkinkan

DAFTAR PUSTAKA

Anonimous (2009). *Reducing Heat Rates of Coal Fired Power Plant*. Lehigh Energy Update, Januari 2009, vol 27 No 1

Babcock & Wilcox (2005). *Steam Its Generation and Use 41th Edition*.

Black and Veath, Lawrence F. Drbal, Patricia G. Boston, Kayla L. Westra and R. Bruce Ericson,(1996). *Power Plant Engineering, Chapman & Hall*, New York, p 39-78.

Dosa Ion, (2013). *Energy Balance of a Coal-Fired Power Plant in Condensing Operation, Advances in Environment Technologies, Agriculture, Food and Animal Science*. Petrosani, jud. Hunedoara - Romania, p 187-192.

El. Wakil M.M., (1984). *Power Plant Tecnology*. Mc Graw - Hill Book Company, New York, p 30-78.

James E Staudt and Jennifer Macedonia (2014). *Evaluation of Heat Rates of Coal Fired Electric Power Boilers*. Paper was Presented at the Power Plant Pollutant Control "MEGA" Symposium August 19-21, 2014 Baltimore, MD.

Muin Syamsir, A., (1988). *Pesawat Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*. Rajawali Press, Jakarta, 1988.

Nag PK., (2002). *Power Plant Engineering 2 nd Edition*. Mc Graw Hill, New Delhi, 2002.

Neil Petchers, (2003). *Combined Heating, Cooling & Power Handbook: Technologies & Application*. The Fairmont Press, INC, Lilburn- GA, 2003 pp.

Richard J. Campbell, (2013). *Increasing the Efficiency of Existing Coal-Fired Power Plants*. Congressional Research Service, 2013, p 8-14

Sebastian Teir and Antto Kulla, (2002). *Boiler Calculations, Energy Engineering and Environmental Protection Publications Steam Boiler Technology*. eBook Espoo.

T. Srinivas, A. V. S. S. K. S. Gupta and B.V. Reddy, (2007). *Generalized Thermodynamic Analysis of Steam Power Cycles with 'n' Number of Feedwater Heaters*. Int. J. of Thermodynamics, Vol. 10 (No. 4), pp. 177-185, December 2007, p 177-185

The American Society of Mechanical Engineers, "Fired Steam Generator", Performance Test Code (PTC) 4, 2008.

The American Society of Mechanical Engineers, "Steam Turbines", Performance Test Code (PTC) 6, 2004.

Virendra Nagar, V. K. Soni and V. K. Khare, (2013). *Boiler Efficiency Improvement through Analysis of Losses. International Journal for Scientific Research & Development* Vol. 1, Issue 3, 2013.