

**PENGUJIAN *HEAT RATE*
DAN EFISIENSI PEMBANGKIT
PLTGU TAMBAK LOROK GT 1.1 DAN GT 2.1**

Penulis :




Tim *Heat Rate* PLN PUSLITBANG

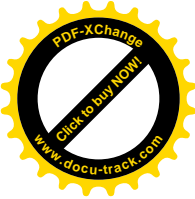


**PT PLN (PERSERO) PUSAT
PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
KETENAGALISTRIKAN**

JL. DURENTIGA JAKARTA 12760. PO BOX 6701/JKSRB, JAKARTA 12067
TELP (021) 7973774, 7980190, 7982035 (HUNTING) FAX: (021) 7991762,
7975414

WEB : www.pln-litbang.co.id

	PT PLN (PERSERO) PUSLITBANG	LAPORAN PENUGASAN	No. : 01-15.PGS.BKIT.2013 Tgl. : 26 Juli 2013 Date	 KNAPPP PLM 023-INA-2008
Judul Title PENGUJIAN HEAT RATE DAN EFISIENSI PEMBANGKIT PLTGU TAMBAK LOROK				
Kata Kunci Keyword <i>plant, heat rate, net, gross</i>		Nomor KPG Work order 01/PGS/BKIT/2013		
Peminta Jasa Client DIREKTORAT OPERASI JAWA BALI SUMATERA PT. PLN (PERSERO) Jl. Trunojoyo, Jakarta Selatan				
Penulis Authors Tim Heat Rate PLN Puslitbang		Disetujui oleh: Approved by  KEPALA PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN KETENAGA- LISTRIK PLN		
Ringkasan / Summary : Sesuai surat Direktur Operasi Jawa Bali No: 01836 / 122/DITOPJB/2010 tanggal 15 Juli 2010 tentang Pengujian <i>Heat Rate</i> dan Efisiensi Pembangkit Sistem Jawa Bali dan surat PT Indonesia Power Unit Bisnis Pembangkitan Semarang No. 116. Fac/150/UBPSMG/2013 tanggal 11 Juni 2013 mengenai Pengujian <i>Heat Rate</i> PLTGU Tambak Lorok Blok 1 dan Blok 2. PT PLN (Persero) PUSLITBANG ditugaskan untuk melaksanakan pengujian dan validasi <i>performance</i> pembangkit. Pengujian <i>heat rate</i> dilakukan hanya pada <i>Gas Turbine</i> dengan pola operasi <i>open cycle</i> , yaitu pada GT 1.1 dan GT 2.1. Pengujian <i>heat rate</i> menggunakan metode energi input - energi output untuk keperluan transaksi niaga pembelian energi listrik dengan kondisi normal operasi. Pengujian <i>heat rate</i> dilakukan menggunakan bahan bakar HSD dengan variasi pembebanan 30 MW, 50 MW, 75 MW dan 90 MW untuk Blok 1, sedangkan Blok 2 menggunakan variasi pembebanan 30 MW, 50 MW, 75 MW dan 100 MW. <i>Gas Turbine</i> (GT) 1.1 PLTGU Tambak Lorok memiliki nilai GPHR (<i>Gross Plant Heat Rate</i>) paling rendah pada beban 88.73 MW yaitu sebesar 3,094.02 kCal/kWh, dan nilai GPHR paling tinggi didapat pada beban 29.02 MW yaitu sebesar 4,861.52 kCal/kWh. <i>Gas Turbine</i> (GT) 2.1 PLTGU Tambak Lorok memiliki nilai GPHR terendah pada beban 100.77 MW yaitu sebesar 3,423.91 kCal/kWh dan GPHR tertinggi pada beban 30.19 MW yaitu sebesar 5,358.81 kCal/kWh. Nilai NPHR (<i>Net Plant Heat Rate</i>) paling rendah GT 1.1 pada beban 88.73 MW yaitu sebesar 3,105.61 kCal/kWh, sedangkan nilai NPHR paling tinggi terdapat pada beban 29.02 MW, yaitu sebesar 4,915.95 kCal/kWh. GT 2.1 memiliki nilai <i>Net Plant Heat Rate</i> paling rendah pada beban 100.77 MW yaitu sebesar 3,435.96 kCal/kWh, sedangkan nilai NPHR paling tinggi didapat pada beban 30.19 MW yaitu sebesar 5,509.22 kCal/kWh. Turbin dan kompresor GT 1.1 memiliki efisiensi tertinggi pada beban 88.73 MW yaitu 27.79 % untuk efisiensi turbin dan 85.68 % untuk efisiensi kompresor. Sedangkan pada GT 2.1 nilai efisiensi turbin dan kompresor tertinggi pada beban 100.77 MW yaitu 25.11 % untuk efisiensi turbin dan 86.07 untuk efisiensi kompresor. <i>Gas Turbine</i> 2.1 PLTGU Tambak Lorok mengalami penurunan daya mampu sebesar 2.28 % dari 103.12 MW saat komisioning tahun 1997 menjadi 100.77 MW pada pengujian Juni 2013. Telah terjadi penurunan tekanan <i>discharge</i> kompresor sebesar 11 % dibandingkan dengan nilai komisioning. Penurunan <i>compressor outlet air pressure</i> dapat menjadi indikasi terjadi pengotoran (<i>fouling</i>) di sudu kompresor.				

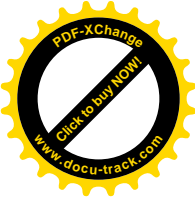


DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	1
1. PENDAHULUAN	3
2. KAJIAN LITERATUR	4
3. METODE PENGUJIAN	6
4. HASIL PENGUJIAN DAN VALIDASI	8
5. KESIMPULAN	13
6. SARAN	14
7. REFERENSI	14

DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN 1 : BERITA ACARA *PERFORMANCE TEST*
- LAMPIRAN 2 : GRAFIK *PLANT HEAT RATE* PLTGU TAMBAK LOROK BLOK 1 DAN BLOK 2
- LAMPIRAN 3 : HASIL PERHITUNGAN *HEAT RATE* PLTGU TAMBAK LOROK BLOK 1 DAN BLOK 2
- LAMPIRAN 4 : DATA HASIL PENGUKURAN NILAI KALOR BAHAN BAKAR
- LAMPIRAN 5 : DATA KOMISIONING
- LAMPIRAN 6 : SURAT *FACSIMILE* PT INDONESIA POWER UBP SEMARANG
- LAMPIRAN 7 : SURAT PENUGASAN PT PLN (PERSERO) KANTOR PUSAT



PENGUJIAN *HEAT RATE* DAN EFISIENSI PEMBANGKIT PLTGU TAMBAK LOROK

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sesuai surat Direktur Operasi Jawa Bali No: 01836/122/DITOPJB/2010 tanggal 15 Juli 2010 tentang Pengujian *Heat Rate* dan Efisiensi Pembangkit Sistem Jawa Bali dan surat PT Indonesia Power Unit Bisnis Pembangkitan Semarang No : 166.FAC/150/UBPSMG/2013 tanggal 11 Juni 2013 mengenai *performance test* PLTGU Tambak Lorok, PT PLN (Persero) PUSLITBANG ditugaskan untuk melaksanakan pengujian *performance test* PLTGU Tambak Lorok Blok 1 dan Blok 2.

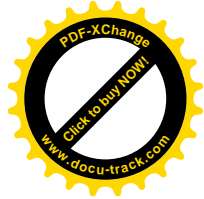
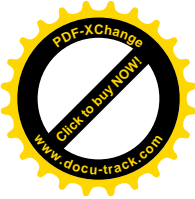
1.2. Tujuan

Mengetahui *heat rate* dan efisiensi pembangkit PLTGU Tambak Lorok Blok 1 dan Blok 2.

1.3. Ruang Lingkup

Ruang lingkup pengujian dan validasi *heat rate* PLTGU Tambak Lorok Blok 1 dan Blok 2 antara lain:

- Pengujian *heat rate* dilakukan hanya pada *Gas Turbine* dengan pola operasi *open cycle*, yaitu GT 1.1 dan GT 2.1.
- Pengujian *heat rate* menggunakan metode energi *input* - energi *output* untuk keperluan transaksi niaga pembelian energi listrik dengan kondisi normal operasi.
- Pengujian *heat rate* PLTGU Tambak Lorok Blok 1 dan Blok 2 dilakukan menggunakan bahan bakar HSD dengan variasi pembebanan 30 MW, 50 MW, 75 MW dan 90 MW untuk Blok 1, sedangkan Blok 2 menggunakan variasi pembebanan 30 MW, 50 MW, 75 MW dan 100 MW.



2. KAJIAN LITERATUR

2.1. Hukum Kekekalan Massa

Aliran berbagai massa masuk dan keluar sistem harus mengikuti hukum kekekalan massa atau kontinuitas. Hukum tersebut dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{dm}{dt} = \sum_i \dot{m}_i - \sum_o \dot{m}_o \quad \dots\dots\dots (1)$$

Pernyataan di atas menunjukkan bahwa laju perubahan massa dalam suatu sistem sama dengan jumlah aliran massa masuk ke dalam sistem dikurangi dengan jumlah aliran massa keluar sistem tersebut.

2.2. Hukum I Termodinamika

Dalam proses pemodelan, sebenarnya semua perhitungan dilandaskan pada Hukum I Termodinamika, yang untuk sistem terbuka (*control volume*, CV) didefinisikan sebagai berikut :

$$\frac{dE_{CV}}{dt} = \dot{Q}_{CV} - \dot{W}_{CV} + \sum_i \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) - \sum_o \dot{m}_o \left(h_o + \frac{V_o^2}{2} + gz_o \right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

dengan

- E_{CV} = Laju perubahan energi di dalam sistem
- t = waktu
- \dot{Q}_{CV} = Laju aliran energi dalam bentuk panas
- \dot{W}_{CV} = Laju aliran energi dalam bentuk kerja
- \dot{m} = Laju aliran massa
- h = Entalpi spesifik
- V = kecepatan
- Z = ketinggian
- g = Percepatan gravitasi
- i = *inlet*
- o = *outlet*



2.3. Efisiensi Isentropik

Sesuai dengan Hukum II Termodinamika bahwa semua proses akan menghasilkan pertambahan entropi, maka semua proses isentropik juga tidak akan terjadi di dunia. Energi yang dapat dibangkitkan atau diperlukan dari suatu proses akan lebih kecil atau lebih besar daripada energi proses yang sama tetapi isentropik, dan perbandingan besarnya energi dapat didefinisikan sebagai efisiensi isentropik.

2.4. Keseimbangan Energi

Keseimbangan energi pada komponen-komponen yang digunakan pada PLTG secara umum dapat dihitung menggunakan persamaan-persamaan di bawah ini.

a. Turbin dan Pompa

Untuk turbin dan pompa stasioner yang adiabatik serta perubahan energi kinetik dan potensial yang dapat diabaikan, persamaan keseimbangan energinya dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$\dot{W}_T = \sum_i \dot{m}_i h_i - \sum_o \dot{m}_o h_o \dots\dots\dots (3)$$

b. Generator

Persamaan keseimbangan energi generator hanya dipengaruhi oleh efisiensi mekanis dan elektris generator, berupa :

$$\dot{W}_G = \eta \dot{W}_T \dots\dots\dots (4)$$

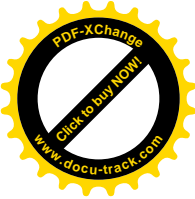
dengan η adalah efisiensi generator.

2.5. *Heat Rate* Metode Energi *Input* – Energi *Output*

Untuk keperluan transaksi niaga pembelian Energi Listrik dengan kondisi normal operasi, *heat rate* dapat dihitung menggunakan rumusan berikut :

$$Gross\ Plant\ Heat\ Rate = \frac{Jumlah\ Bahan\ Bakar \times HHV}{Generator\ Power\ Output}$$

$$Net\ Plant\ Heat\ Rate = \frac{Jumlah\ Bahan\ Bakar \times HHV}{Power\ Terkirim}$$



Dimana :

- Jumlah bahan bakar diambil dari flowmeter bahan bakar.
- HHV (*High Heating Value*) merupakan nilai kalor bahan bakar yang didapat dari analisa laboratorium.
- Generator *power output* merupakan energi listrik yang keluar dari generator.
- *Power* terkirim merupakan energi listrik yang diukur setelah trafo yang dikirim ke sistem Jawa Bali.

3. METODE PENGUJIAN

3.1. Prosedur Pengujian

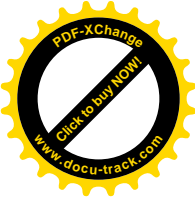
- Untuk memperoleh kurva *heat rate* pengujian dilakukan dengan pola *open cycle* pada beban 30 MW, 50 MW, 75 MW dan 90 MW untuk GT 1.1, sedangkan untuk GT 2.1 dilakukan pada beban 30 MW, 50 MW, 75 MW dan 100 MW.
- Waktu pengambilan data pengujian *heat rate* pada masing masing beban selama 60 menit (stabilisasi tergantung kondisi unit).
- Pengambilan data untuk seluruh parameter operasi dilakukan setiap 15 menit.
- Pengambilan sampel bahan bakar HSD dilakukan sebanyak 1 (satu) kali, untuk GT 1.1 titik pengambilan sampel pada *strainer forwarding pump*, sedangkan untuk GT 2.1 titik pengambilan sampel pada *flow divider*.
- Peralatan ukur yang digunakan untuk pengujian adalah peralatan ukur yang terpasang.
- Pada setiap beban, dilakukan pemantauan parameter operasi.
- Sebagai data untuk mendapatkan energi *input* adalah pemakaian bahan bakar, data untuk mendapatkan energi *output* adalah kWh yang dihasilkan oleh generator berupa generator *power output* dan kWh transaksi setelah trafo utama berupa *power* terkirim.
- Nilai *heat rate* diperoleh dari perbandingan energi *input* dengan energi *output*.

3.2. Data Teknis

Turbin Gas PLTGU Tambak Lorok Blok 1 dan Blok 2

Turbin dan Kompresor

Pabrik Pembuat	: General Electric (GE), Co., USA
Nomor	: 295972



Tipe	: PG – 9171 E
Daya Rating	: 109.65 MW
Tingkat	: 3 (untuk turbin), 17 (untuk kompresor)
Speed	: 3000 rpm
Temperatur udara masuk	: 86 °F
Temperatur Exhaust	: 1024 °F
Tekanan udara keluar	: 14.67 psia
Bahan bakar	: HSD
Sistem Kontrol	: Mark V
Tahun Pembuatan	: 1984

Generator

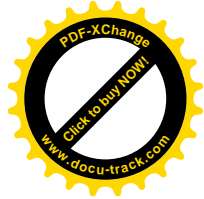
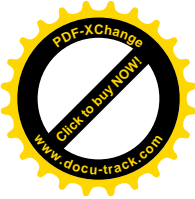
Pabrik Pembuat	: General Electric (GE), Co., USA
Nomor	: 335 x 939
Produksi Tahun	: BS 2513, 1957
Tipe	: ATB-2 WYE Cometian
Tegangan	: 11,500 volt
Arus / Volt Armature	: 7,199 A / 11,500 volt
Daya	: 143,400 KVA
Faktor daya	: 0.8
Phase	: 3
Frekuensi	: 50 Hz
Speed	: 3,000 rpm
Pendinginan	: Hidrogen

3.3. Pelaksanaan**3.3.1. Tempat dan waktu :**

Tempat : PLTGU Tambak Lorok Blok 1 dan Blok 2
Waktu : 27 s/d 28 Juni 2013

GT 1.1 pola *open cycle* dengan bahan bakar HSD (27 Juni 2013)

Beban 30 MW	: jam 21.35 s/d 22.35 WIB.
Beban 50 MW	: jam 20.05 s/d 21.05 WIB.
Beban 75 MW	: jam 17.00 s/d 18.00 WIB.
Beban 90 MW	: jam 18.15 s/d 19.15 WIB.

GT 2.1 pola *open cycle* dengan bahan bakar HSD (28 Juni 2013)

Beban 30 MW	: jam 21.15 s/d 22.15 WIB.
Beban 50 MW	: jam 17.25 s/d 18.25 WIB.
Beban 75 MW	: jam 20.00 s/d 21.00 WIB.
Beban 100 MW	: jam 18.45 s/d 19.45 WIB.

3.3.2. Pelaksana :

PT PLN (Persero) Puslitbang Ketenagalistrikan :

- Eko Supriyanto
- Hendra Budiono
- Nur Cahyo
- Sumedi
- Winda Fitriah Astono

PT Indonesia Power UBP Semarang :

- Deddy Prisetiono (Staf Operasi PLTGU Tambak Lorok)

4. HASIL PENGUJIAN DAN VALIDASI

PLN Puslitbang telah melakukan perhitungan sebagai berikut :

1. *Net plant heat rate*
2. *Gross plant heat rate*
3. Efisiensi kompresor
4. Efisiensi *gas turbine plant*

Kerja *gas turbine* dapat dilihat dari nilai *heat rate* yang didapat, dalam pengujian ini dihitung melalui dua cara, yaitu *net plant heat rate* dan *gross plant heat rate*. Perhitungan *net plant heat rate* menggunakan metode *input-output* didapatkan dari perbandingan antara energi yang terkandung dalam bahan bakar dengan energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit setelah dikurangi pemakaian sendiri dan rugi-rugi trafo. Sedangkan *gross plant heat rate* menggunakan perbandingan antara energi yang terkandung dalam bahan bakar dengan energi listrik yang dihasilkan oleh generator. Berikut merupakan tabel *heat rate* masing-masing beban :