

KAJIAN UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS G4 PT INDONESIA POWER UNIT BISNIS PEMBANGKITAN BALI

Yon Eko Saputro¹⁾, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma²⁾ dan I Made Widiyarta³⁾
^{1,2,3)} Jurusan Teknik mesin, Universitas Udayana
 Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362
 e- mail : yonekosaputro@gmail.com

Abstrak: Kebutuhan listrik rata-rata pulau Bali adalah sebesar 700 MW. Terdiri atas kapasitas pembangkit di Bali sebesar 427,59 MW, dan suplai daya dari Jawa melalui jaringan kabel laut sebesar 200 MW. Mengingat sangat pentingnya pemenuhan kebutuhan listrik dan mahalnya biaya investasi pembangunan pembangkit baru maka pembangkit-pembangkit yang sudah ada harus dimanfaatkan dengan maksimal, begitu juga dengan PLTG Pesanggaran. Salah satu cara untuk menjaga kehandalan sistem pembangkit adalah dengan melakukan *over haul* setelah pembangkit dioperasikan dalam satuan waktu tertentu. Dari Hasil pengujian yang dilakukan oleh PT PLN Jasa Sertifikasi diketahui bahwa setelah *over haul* pembangkit justru mengalami penurunan daya dan pemborosan bahan bakar, permasalahan inilah yang kemudian menjadi dasar dalam melakukan penelitian ini. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa penyebab penurunan performa dan pemborosan bahan bakar dikarenakan adanya kenaikan entalpi setelah proses kompresi secara rerata sebesar 2,69 kJ/kg yang memicu pemborosan bahan bakar. Besar penurunan performa pembangkit adalah 678,75 kW secara aktual dan 703,72 kW secara teoritis. Sedangkan pemborosan bahan bakar ditunjukkan dengan peningkatan *Spesifik fuel Consumption* pembangkit dari sebelum dan sesudah *over haul* yaitu 0,3271 menjadi 0,3480 secara aktual dan 0,3259 menjadi 0,3469 secara teoritis. Akibat adanya penurunan performa dan pemborosan bahan bakar potensi kerugian perusahaan mencapai Rp. 137.803.325 / hari.

Kata kunci : pembangkit, bahan bakar, *over haul*

PERFORMANCE STUDY OF GAS POWER PLANT G4 PT INDONESIA POWER GENERATION BUSINESS UNIT OF BALI

Abstract: The average needs on electric power in Bali reaches 700 MW. The amount consists of generating capacity of 427,59 MW in Bali, and the supply of power from Java through submarine cable network of 200 MW. Considering the importance of fulfilling electric power demand and the high costs of a new electric plant investment, the existing plants shall be empowered optimal, one of which is Pesanggaran power plant. One of the ways to maintain power plant is by doing *over haul* after its certain period length of use. The test results showed by PT PLN Jasa Sertifikas, it was recognized that *over haul* resulted in a decrease of plant performance and fuel in efficiency. The research result showed that decrease of performance and efficient use of fuel was resulted by the increase of enthalpy after compression process was about 2,69 kJ/kg which trigger waste fuel. The decrease amount performance was 678,75 kW factually and 703,72 kW actually theoretically. Fuel in efficiency was showed by the increase in Specific fuel consumption of the Plants prior to or upon the *over haul*, i.e. from 0,3271 to 0,3480 factually and 0,3259 to 0,3469 theoretically. The decrease in performance and in efficiency of fuel resulted in company lost of IDR. 137.803.325 / day.

Keywords: plant, fuel, *over haul*

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik rata-rata pulau Bali adalah sebesar 700 MW. Kebutuhan tersebut dipenuhi dari pembangkitan pembangkit listrik di Bali yang ada saat ini sebesar 427,59 MW, dan dari suplai daya dari jaringan interkoneksi Jawa-Bali melalui kabel laut sebesar 200 MW. Mengingat sangat pentingnya pemenuhan kebutuhan listrik dan mahalnya biaya investasi pembangunan pembangkit baru maka pembangkit-pembangkit yang sudah ada harus dimanfaatkan dengan maksimal, begitu juga dengan PLTG G4 Pesanggaran. Salah satu usaha untuk

menjaga kehandalan sistem adalah dengan melakukan perawatan berkala dan *over haul* (OH) setelah pembangkit diporesikan dalam satuan waktu tertentu.

Untuk mengetahui kehandalan dan keadaan terkini pembangkit yang ada, hal pertama yang akan dilakukan adalah audit energi. Audit energi adalah kegiatan penelitian pemanfaatan energi untuk mengetahui keseimbangan energi dan mengidentifikasi peluang-peluang penghematan energi. Audit itu dilakukan untuk memperoleh kepastian tentang kondisi masing-masing pembangkit dan kapasitasnya. Dari hasil audit itu, akan diketahui kapasitas terpasang dan terbangkitkan yang

sebenarnya pada kondisi sekarang. Selama ini data yang dimiliki pemerintah adalah kapasitas terpasang berdasarkan hitungan pada kondisi dulu. Padahal ada sejumlah faktor yang bisa mempengaruhi perubahan hitungan itu.

PT. Indonesia Power Unit Bisnis Pembangkit Bali pada tahun 2013 melakukan *over haul* terhadap pembangkit listrik tenaga gas G4 dan G3. Dari hasil *tes running* dan *comisioning* terhadap kedua pembangkit yang dilakukan oleh PT PLN Jasa Sertifikasi diketahui adanya masalah penurunan performa pembangkit dan pemborosan bahan bakar. Dalam penelitian ini akan dicari penyebab penurunan performa dan pemborosan bahan bakar serta solusi yang bisa dilakukan untuk menyelesaikan kedua masalah tersebut.

II. KAJIAN PUSTAKA

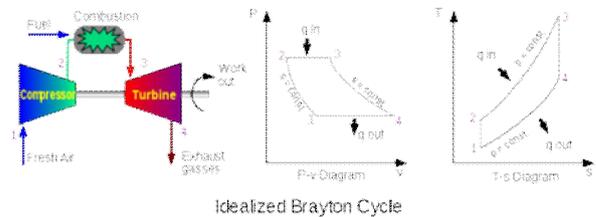
2.1 Siklus Ideal Turbin Gas

Pada siklus ideal gas berlaku asumsi-asumsi sebagai berikut :

- a. Fluida kerja dianggap gal ideal dengan panas spesifik yang konstan.
- b. Laju aliran massa adalah konstan sepanjang siklus berlangsung, dan tidak berlaku komposisi dan sifat kimianya.
- c. Proses siklus berlangsung adiabatik, selisih energi potensial antara fluida masuk dan keluar setiap komponen dan sistem turbin gas, diabaikan karena relatif sangat kecil.
- d. Proses kompresi di dalam kompresor dan diffuser dan proses ekspansi di dalam turbin dan nozel dianggap isentropis.
- e. Proses pembakaran berlangsung kontinu pada tekanan konstan dan adiabatik. Proses pembakaran dapat pula dianggap sebagai proses kenaikan temperatur yang terjadi oleh pemanasan fluida kerja dengan sejumlah panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar.
- f. Tidak ada kerugian tekanan tekanan pada pada aliran gas dalam saluran hisap, ruang bakar, penukar panas, saluran buang dan dalam saluran antara setiap kompresor.
- g. Perpindahan panas dalam penukar panas (regenerator) belangsung sempurna, sehingga panas yang dikeluarkan oleh fluida panas sama dengan panas yang dihisap oleh fluida dingin, atau penurunan fluida panas sama dengan kenaikan temperatur fluida dingain. Aliran fluida dalam prnukar panas tidak mengalami penurunan tekanan.

Berdasarkan asumsi-asumsi tersebut di atas maka siklus turbin ideal (Siklus Brayton) dapat di gambarkan dengan diagram entalpi versus entropi seperti tersebut pada gambar 2.1. Persamaan energi yang umum untuk proses aliran tunak akan digunakan dalam analisis setiap komponen turbin gas. Pada gambar 2.1, menyatakan tingkat keadaan fluida kerja masuk kompresor K, titik 2, tingkat keadaan fluida kerja keluar kompresor atau masuk

ruang bakar RB, titik 3, tingkat keadaan fluida kerja keluar ruang bakar atau masuk turbin T, titik 4, tingkat keadaan fluida kerja keluar turbin. Sedangkan tambahan huruf 's' di belakang angka menunjukkan tingkat keadaan yang dicapai melalui proses isentropik (ideal).



Gambar 2.1 Siklus Turbin Gas Sederhana, T-s dan P-v Diagramnya

Kompresor membutuhkan kerja W_K , dan turbin menghasilkan kerja W_T , dimana :

$$W_{Ks} = \frac{k}{k-1} \frac{\bar{R}}{M} T_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \dots\dots (2.1)$$

$$W_{Ts} = \frac{k}{k-1} \frac{\bar{R}}{M} T_3 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \dots\dots\dots(2.2)$$

Sehingga kerja yang dihasilkan turbin gas adalah

$$W_{nett} = \frac{k}{k-1} \frac{\bar{R}}{M} (T_1 - T_{2s}) \left[\frac{\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}} \right] (2.3)$$

Dengan demikian efisiensi siklus turbin gas sederhana ideal dapat ditentukan dengan persamaan

$$\eta = \frac{w}{\text{energi_masuk}} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Persamaan 2.2 tersebut menunjukkan besarnya kerja per satuan berat fluida kerja yang dihasilkan oleh sistem turbin gas yang sepenuhnya menghasilkan daya poros, yaitu bahwa semua energi yang tersedia diubah menjadi energi mekanis dengan mengekspansikan gas dari $P_3 = P_2$ ke $P_{4s} = P_1 =$ tekanan udara sekitar (atmosfer). Maka daya yang dihasilkan turbin gas adalah

$$N = \dot{m} w = \dot{m} \frac{k}{k-1} \frac{\bar{R}}{M} (T_3 - T_{2s}) \left[\frac{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}} \right] \dots\dots\dots(2.6)$$

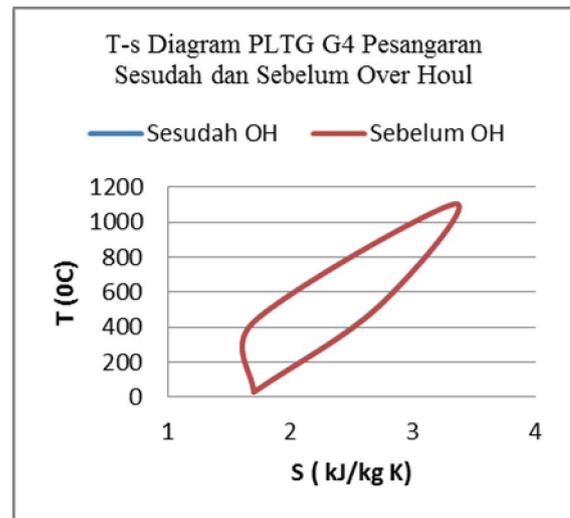
III. METODELOGI PENELITIAN

Penelitian ini akan dikerjakan dengan melakukan observasi lapangan dan studi literatur. Dengan observasi lapangan akan mendapatkan data tekanan, temperatur pada titik-titik pengukuran yang telah ditetapkan, data mesin pembangkit, data lingkungan dan data-data lain yang dibutuhkan. Data-data lapangan itulah yang akan digunakan untuk menghitung nilai-nilai parameter yang akan digunakan untuk melakukan analisa energi secara termodinamika. Dari hasil perhitungan akan didapatkan parameter-parameter termodinamika yang bisa digunakan sebagai dasar untuk menyelesaikan masalah penurunan performa dan pemborosan bahan bakar.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

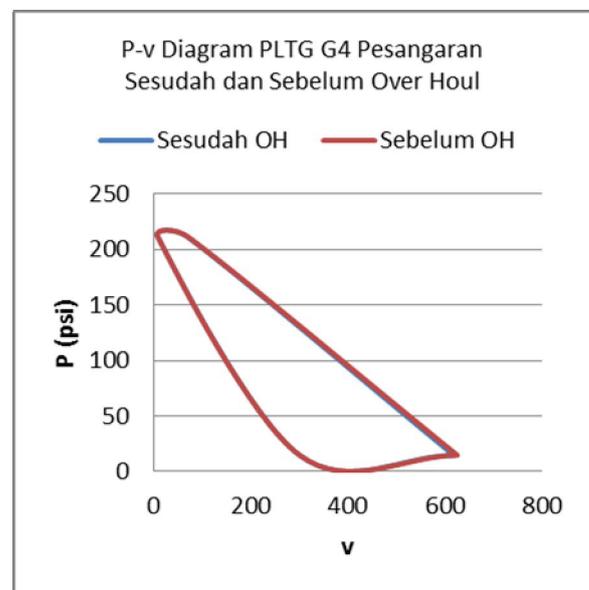
4.1 Analisis Termodinamika.

Hasil perhitungan secara termodinamika meliputi parameter temperatur dan tekanan. Dari dua parameter tersebut dibuat grafik sebagai mana dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2



Gambar 4.1 Gambar T-s Diagram PLTG G4 Pesangaran Sesudah dan sebelum Over Houll

Pada titik pengukuran 1, diukur nilai tekanan dan temperature, yang diukur adalah kondisi lingkungan. Temperatur dan tekanan ini dipengaruhi oleh waktu, cuaca, musim, posisi matahari, kecepatan angin dan hal-hal lain. gambar 4.1 dan 4.2 di atas dapat dilihat bahwa secara rata-rata ada perbedaan temperatur yang dimaksud pada dua data hasil pengamatan sebelum dan sesudah *over houll* yaitu sebesar 1,46 °C yang secara liner juga meningkatkan entalphi pada titik pengukuran yang dimaksud. Besar kenaikan entalphi adalah sebesar 1,45 kJ/kg.



Gambar 4.1 Gambar P-v Diagram PLTG G4 Pesangaran Sesudah dan sebelum Over Houll

Pada titik pengukuran 2 diukur nilai temperatur dan tekanan. Jika dilihat pada titik

pengukuran 2 temperatur keluaran kompresor sesudah OH menjadi lebih tinggi yaitu sebesar 431,10 °C dibandingkan dengan nilai sebelum OH yaitu 428,40 °C terjadi selisih temperatur sebesar 2,69 °C. Secara langsung juga menyebabkan adanya selisih entalpi yaitu sebesar 2,69 kJ/kg. Adanya kenaikan entalpi setelah proses kompresi memicu kenaikan konsumsi bahan bakar. Hal ini terjadi sebagai konsekuensi agar pembakaran dalam ruang bakar sempurna sesuai dengan kesetimbangan reaksi kimia pembakaran. Besar kenaikan konsumsi bahan bakar adalah sebesar 9,72 liter per menit atau 0,14 kg/s.

Pada titik pengukuran 3 teramati bahwa tidak ada kenaikan temperatur yang signifikan yaitu 1105,46 °C dan 1105,35°C. Adanya kenaikan konsumsi bahan bakar tidak diimbangi dengan

naiknya temperatur fluida kerja setelah proses pembakaran. Entalpi yang dibawa dari kelebihan bahan bakar tidak mampu diubah menjadi kerja berguna yang bisa dimanfaatkan turbin. Hal ini karena adanya batas maksimal temperatur yang diijinkan pada ruang bakar. Temperatur kerja diruang bakar harus dibatasi karena bekerja dalam tekanan dan temperatur sangat tinggi.

Pada titik pengukuran 4 teramati adanya kenaikan temperatur jika di bandingkan konsisi sebelum dan sesudah OH. Selisih kenaikan temperatur yang dimaksud adalah sebesar 5,73°C. Kenaikan temperatur pada titik pengukuran 4 adalah sebagai akibat dari adanya kelebihan konsumsi bahan bakar yang gagal diubah menjadi kerja berguna.

4.2 Analisa Teknik dan Analisa Ekonomi

Parameter termodinamika tersebut di atas kemudian digunakan sebagai dasar penentuan nilai-nilai yang bisa digunakan sebagai dasar perhitungan secara teknik dan ekonomi. Hasil-hasil perhitungan tersebut ditampilkan dalam tabel 5.1 di bawah ini.

Tabel 5.1 Perbandingan parameter hasil perhitungan

No	Uraian	Setelah <i>Over haul</i>		Sebelum <i>Over haul</i>	
		Teoritis	Aktual	Teoritis	Aktual
1	LHV HSD (kJ/kg)	45.564,34			
2	h_1 (kJ/kg)	300,84		299,38	
3	h_2 (kJ/kg)	717,69		714,78	
4	h_3 (kJ/kg)	1489,60		1489,46	
5	h_4 (kJ/kg)	816,83		812,82	
6	w_K (kJ/kg)	356,86		355,63	
7	w_T (kJ/kg)	604,61		608,10	
8	q_{in} (kJ/kg)	771,91		774,68	
9	w_{nett} (kJ/kg)	247,75		252,47	
10	η_{Th} (%)	32,10		32,59	
11	Laju Aliran BB (lpm)	223,53		213,69	
12	Laju Aliran udara (kg/det)	165,2			
13	Daya (kW)	38.596,38	38.470,00	39.300,10	39.148,75
14	SFC (lt/kWh)	0,3469	0,3480	0,3259	0,3271
15	Penyusutan (kW)	3473,62	3600,00	2921,25	2.769,90
16	Pemborosan (kW)	703,72	678,75		
17	Produksi Listrik (kWh/Hari)	926.313	923.280	943.202	939.570
18	Biaya Pembangkitan (Rp/kWh)	3.401	3.410	3.194	3.206
19	Produksi Listrik (kWh/Hari)	926.313	923.280	943.202	939.570
20	Biaya Pembangkitan (Rp/hari)	3.150.390.513	3.148.384.800	3.012.587.188	3.012.261.420
21	Pemborosan (Rp/hari)	137.803.325	136.123.380		

Penurunan performa pembangkit disebabkan adanya kenaikan kerja kompresor dan penurunan kerja turbin setelah dilakukan *over haul*. Adanya peningkatan kerja kompresor yang ditunjukkan dengan adanya peningkatan temperatur fluida kerja setelah proses kompresi memicu kenaikan konsumsi bahan bakar. Kenaikan konsumsi bahan bakar tidak diimbangi dengan kenaikan pemanfaatan kerja berguna pada ruang bakar. Hal ini ditunjukkan dengan relatif samanya temperatur tertinggi (T_3) antara sebelum dan sesudah OH. Kelebihan konsumsi bahan bakar tidak berdampak pada naiknya temperatur tertinggi, sebagai akibatnya temperatur keluaran dari turbin mengalami kenaikan yang secara linier mengurangi kerja turbin secara keseluruhan. Kerja turbin mengalami penurunan sedangkan kerja kompresor mengalami kenaikan, akibatnya terjadi penurunan performa pembangkit secara keseluruhan.

Daya Pembangkit diketahui dari alat ukur yang terpasang pada sistem. Daya ini adalah daya riil yang dihasilkan sistem. Daya yang dihasilkan secara aktual setelah *over haul* adalah 38.470 kW lebih kecil dari sebelum *over haul* yaitu sebesar 39.148,75 kW. Penurunan daya pembangkit yang terjadi adalah sebesar 678,25 kW. Koreksi daya ini bisa dilakukan dengan menghitung daya yang seharusnya dihasilkan sistem dengan pendekatan properties fluida kerja pada titik-titik pengukuran yang telah ditetapkan. Besar daya teoritis setelah *over haul* adalah 38.596,38 kW, lebih kecil dari daya sebelum *over haul* yaitu 39.300,10 kW. Ada pemborosan pembangkit 703,72 kW. Sedangkan pemborosan bahan bakar ditunjukkan dengan peningkatan *Spesifik fuel Consumption* pembangkit dari sebelum dan sesudah *over haul* yaitu 0,3271 menjadi 0,3480 secara aktual dan 0,3259 menjadi 0,3469 secara teoritis. Akibat adanya penurunan performa dan pemborosan bahan bakar potensi kerugian perusahaan mencapai Rp. 137.803.325 / hari.

V. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penurunan performa pembangkit terjadi karena adanya peningkatan temperatur pada fluida kerja keluar dari kompresor (T_2) secara rerata sebesar 2,69 °C dan temperatur keluar turbin (T_4) secara rerata sebesar 3,66 °C. Hal ini menyebabkan adanya penurunan kerja netto sebesar 4,72 kJ/kg, penurunan kerja netto menyebabkan penurunan daya pembangkit secara aktual sebesar 678,75 kW secara aktual dan secara teoritis 703,72 kW.
2. Peningkatan konsumsi bahan bakar dipicu oleh adanya peningkatan temperatur setelah proses kompresi. agar terjadi rasio udara-bahan bakar yang tepat di ruang bakar maka penambahan laju aliran bahan bakar harus ditambahkan agar terjadi pembakaran yang sempurna. Sebagai akibatnya terjadi peningkatan laju konsumsi bahan bakar sebesar 0,1388 kg/s atau setara dengan 0.165 liter/s.

3. Penyusunan daya pembangkit dan peningkatan konsumsi bahan bakar menyebabkan adanya potensi pemborosan perusahaan hingga Rp. 137.803.325/hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Anonim, (2012), *Laporan Tahunan PT Indonesia Power 2012*
- [2.] Arismunandar, W. (2002), *Pengantar Turbin Gas dan Motor Propulsi*, Penerbit ITB, Bandung
- [3.] Astra, I Made dkk., (2010). Hasil Perhitungan Efisiensi Termal PLTGU dan Peluangnya Sebagai Penyumbang Pemanasan Udara (Studi pada PLTGU Priok dengan Pola Operasi 2-2-1 Menggunakan Metode Newton-Raphson). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika Volume 11 Nomor 1 Tahun 2010* : pp. 58 – 65
- [4.] Cahyanto, Yosef Agung : *Termodinamika I* diakses dari <http://termodinamika1.files.wordpress.com/2008/07/termo1bab1.pdf> tanggal 10 September 2013
- [5.] Dietzel, Fritz Prof. Dipl. Ing. Alih Bahasa Ir. Dakso Sriyono (1980), *Seri Paket Buku Pelajaran Teknik-Kamprath, Turbin, pompa dan Kompresor*, Penerbit Eralangga, Jakarta
- [6.] Kenneth Wark, (1983) *Thermodynamics*, 4th ed. pp. 785–86. McGraw-Hill, New York
- [7.] Reynolds, William C. dan Perkins, Henry C. Alih Bahasa DR. Ir. Filino Harahap, M.Sc (1986), *Termodinamika Teknik Edisi Ke Dua*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- [8.] Rumabutar, Elfraim Dunov. (2006), *Kajian Penambahan Regenerator pada Sistem Tyrbin Gas Terhadap Efisiensi Siklus* (Studi Kasus : PT Indonesia Power UPB Bali), Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana, Denpasar.
- [9.] Santoso, Dyos dan Basri, Hasan. 2011. Analisis Eksergi Siklus Kombinasi Turbin Gas-Uap Unit PLTGU Inderalaya. *Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3*. Palembang, 26-27 Oktober 2011
- [10.] Sudjito, Ir., PhD. dkk, *Diktat Termodinamika Dasar, Program Semi Que IV Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya* diakses dari http://www.mesin.brawijaya.ac.id/diktatajar/data/02_c_bab1n2_termo1.pdf
- [11.] www.indonesiapower.co.id diakses tanggal 12 September 2013
- [12.] www.pln.go.id diakses tanggal 10 Agustus 2013