

# Analisa Kinerja Mesin Pembangkit Listrik Tenaga Gas Unit 1 Blok 1 di PT. Indonesia Power Grati POMU

A.A.N. Putra Damara A.W., I.G.B. Wijaya Kusuma, A.A.I.A. Sri Komaladewi  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

PLTG PT. Indonesia Power Grati POMU merupakan salah satu pembangkit listrik yang tersambung dengan sistem interkoneksi Jawa-Bali. Mesin pembangkit Blok 1 Unit 1 menggunakan turbin gas yang diproduksi oleh Mitsubishi Heavy Industries Jepang pada tahun 1995 dan mulai dioperasikan pada tahun 1997. Mesin pembangkit tersebut beroperasi menggunakan bahan bakar berupa gas alam. Berdasarkan kondisi tersebut, pada penelitian ini akan dilakukan analisa perbandingan kapasitas terpasang dengan kapasitas aktual serta penyusutan daya pembangkit setelah 23 tahun beroperasi. Analisa dilaksanakan dengan melakukan perhitungan terhadap parameter-parameter kinerja mesin pembangkit. Parameter yang dimaksud adalah kerja kompresor, kerja turbin, kerja netto, kalor masuk, efisiensi termal, daya netto, specific fuel consumption, harga pembangkitan, serta penyusutan daya yang terjadi. Setelah 23 tahun beroperasi terjadi kenaikan kerja kompresor sebesar 237,16 kJ/kg, kenaikan kerja turbin sebesar 103,13 kJ/kg, penurunan kerja netto sebesar 20,36 kJ/kg, kenaikan kalor masuk sebesar 30,99 kJ/kg, penurunan efisiensi sebesar 3,74 %, dan kenaikan specific fuel consumption sebesar 0,0093 kg/kWh. Sedangkan penyusutan daya yang terjadi sebesar 2.592,28 kW atau sebesar 2,87 %. Akibat dari penyusutan daya terbangkitkan tersebut perusahaan mengalami kerugian sebesar Rp. 32.799.901.053,57 /tahun. Salah satu penyebab terjadinya penurunan kinerja mesin pembangkit adalah degradasi material.

Kata Kunci : Analisa, Kinerja, Turbin Gas

## Abstract

PLTG PT. Indonesia Power Grati POMU is a power plant connected to the Java-Bali interconnection system. The Block 1 Unit 1 power plant engine uses a gas turbine produced by Mitsubishi Heavy Industries Japan in 1995 and began operation in 1997. The power plant engine operates using fuel in the form of natural gas. Based on these conditions, this research will analyze the comparison of installed capacity with actual capacity as well as shrinkage of power generation after 23 years of operation. The analysis is carried out by calculating the performance parameters of the power plant engine. The parameters referred to are compressor work, turbine work, net work, heat intake, thermal efficiency, net power, specific fuel consumption, generation price, and the resulting power depreciation. After 23 years of operation there was an increase in compressor work of 237.16 kJ/kg, an increase in turbine work of 103.13 kJ/kg, a decrease in net work of 20.36 kJ/kg, an increase in heat intake of 30.99 kJ/kg, a decrease in efficiency of 3.74 %, and an increase in specific fuel consumption by 0.0093 kg/kWh. While the power depreciation that occurred was 2,592.28 kW or 2.87 %. As a result of the reduced power generated, the company suffered a loss of Rp. 32.799.901.053,57 /year. One of the causes of the decrease in the performance of the power plant engine is material degradation.

Keywords : Analysis, Performance, Gas Turbines

## 1. Pendahuluan

Peningkatan permintaan energi listrik setiap tahunnya selalu lebih tinggi dibandingkan dengan jenis energi yang lain. Kebutuhan energi listrik meningkat rata-rata 7% per tahun, hingga pada tahun 2050 dibutuhkan produksi listrik 9 kali lipat lebih besar dibandingkan tahun 2018, yaitu sebesar 2.562 TWh [1]. Kondisi tersebut mendorong berbagai upaya untuk meningkatkan atau mempertahankan kinerja dari setiap unit pembangkit mengingat bahan bakar yang digunakan masih menggunakan bahan bakar fosil yang suatu saat nanti akan mengalami kondisi krisis.

PT. Indonesia Power Grati Power Generation O&M and Maintenance Unit (POMU) merupakan salah satu unit pembangkit listrik yang tersambung dengan sistem interkoneksi Jawa-Bali. PT. Indonesia Power Grati POMU mengoperasikan 9 unit mesin Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) serta 2 unit mesin Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan

akan ada penambahan mesin pembangkit listrik tenaga uap sebanyak 1 unit. Total kapasitas daya terpasang dari PT. Indonesia Power Grati POMU sebesar 1.314,2 MW.

PT. Indonesia Power Grati POMU pada unit 1 blok 1 menggunakan mesin PLTG yang di produksi oleh Mitsubishi Heavy Industries Jepang pada tahun 1995 dan mulai dioperasikan pada tahun 1997. Hingga pada tahun 2020 mesin pembangkit tersebut sudah beroperasi selama 23 tahun. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan dilapangan, mesin pembangkit yang sudah dioperasikan selama puluhan tahun akan mengalami penyusutan daya terbangkitkan.

Mengingat semakin meningkatnya permintaan energi listrik di Indonesia setiap tahunnya, semakin berkurangnya cadangan bahan bakar fosil untuk pengoperasian mesin pembangkit, serta penyusutan daya yang terjadi pada mesin pembangkit, maka unit pembangkit listrik yang sudah ada harus dioperasikan

secara optimal. Untuk mengoptimalkan pengoperasian pembangkit listrik, hal pertama yang harus dilakukan adalah analisa mengenai kinerja mesin pembangkit listrik tersebut. Analisa mesin pembangkit listrik merupakan kegiatan penelitian pemanfaatan energi guna mengidentifikasi peluang-peluang penghematan energi untuk meningkatkan efisiensi perusahaan [2].

Oleh karena itu dalam penelitian ini penulis akan melakukan analisa mesin Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Unit 1 Blok 1 di PT. Indonesia Power Grati POMU. Sehingga dapat diketahui performa dan perbandingan kapasitas pada desain dengan kapasitas aktual dari mesin pembangkit, serta pemborosan yang terjadi pada Unit 1 Blok 1 setelah 23 tahun beroperasi yang nantinya hasil dari analisa ini dapat dijadikan acuan dalam melakukan upaya-upaya penghematan energi.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Heat and Mass Balance Pembangkit

*Heat and mass balance* pada pembangkit listrik merupakan suatu data perancangan berbentuk diagram dari sistem pembangkit tersebut yang merupakan hasil perhitungan secara teoritis yang mendasari perancangan dan pembangunan suatu pembangkit listrik. *Heat and mass balance* diterbitkan oleh manufaktur pembuat mesin pembangkit dalam bentuk *manual design* dan diterbitkan pada beberapa kondisi operasi.

### 2.2 Pengertian Turbin Gas

Turbin gas merupakan mesin penggerak mula yang menggunakan fluida kerja berupa flue gas. Prinsip dasar pengoperasian turbin gas adalah merubah energi kinetis berupa aliran gas panas berkecepatan tinggi menjadi energi mekanis berupa putaran poros yang digunakan menggerakkan generator.

### 2.3 Komponen Utama PLTG

Untuk menjalankan suatu siklus PLTG diperlukan komponen-komponen utama yang digabungkan menjadi satu kesatuan. PLTG memiliki beberapa komponen utama atau *main engine* yang terdiri dari:

1. Kompresor berfungsi sebagai tempat terjadinya kompresi udara lingkungan.
2. Ruang bakar berfungsi sebagai tempat terjadinya pencampuran dan pembakaran antara udara dengan bahan bakar.
3. Turbin berfungsi sebagai tempat terjadinya proses ekspansi fluida kerja hasil pembakaran.
4. Generator yang berfungsi untuk merubah energi mekanis berupa putaran poros menjadi energi listrik.

### 2.4 Gas Alam

Gas alam yang digunakan sebagai bahan bakar pada PLTG Grati merupakan gas alam yang disimpan dalam bentuk *Compressed Natural Gas* (CNG) pada tekanan 250 bar [3]. Gas alam yang digunakan memiliki kandungan berupa Metana ( $\text{CH}_4$ ) sekitar 95,21% sedangkan sisanya berupa campuran gas

Propana 1,354%, Etana 0,97%, Butana 0,44%,  $\text{CO}_2$  0,909%, dan N 0,367%.

### 2.5 PLTG Grati

PT Indonesia Power Grati POMU merupakan salah satu unit pembangkit yang dimiliki PT Indonesia Power yang dulunya bernama PT Indonesia Power UPJP Perak Grati. Daya yang dihasilkan oleh PLTGU Grati disalurkan ke jaringan interkoneksi Jawa – Bali melalui SUTT 150 KV dan SUTET 500 KV. PLTGU Grati memiliki tiga konfigurasi blok dengan total daya terpasang 1.314,42 MW [4].

Blok 1 beroperasi sejak tahun 1997, sedangkan blok 2 mulai beroperasi tahun 2000, dan blok 3 baru diresmikan tahun 2019, PLTGU Grati dibangun oleh tiga kontraktor, antara lain:

1. Turbin Gas dan Turbin Uap oleh Mitsubishi Heavy Industries, Jepang.
2. *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) oleh Cockeril Mechanical Industries (CMI), Belgia.
3. Generator dan perlengkapan listrik oleh Siemens, Jerman.

### 2.6 Spesifikasi Mesin Pembangkit

Mesin pembangkit listrik tenaga gas yang digunakan di PT. Indonesia Power Grati POMU memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Kompresor
 

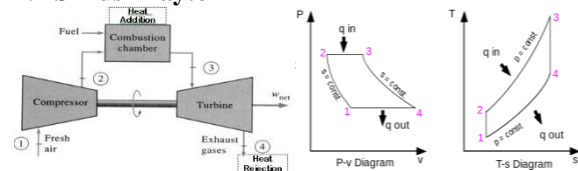
Tipe	: Aliran Aksial
Jumlah tingkat	: 19 tingkat
2. Ruang bakar
 

Tipe	: Can Annular
Jumlah pembakar	: 18 pembakar
3. Turbin
 

Tipe	: Turbin Reaksi
Jumlah tingkat	: 4 tingkat
4. Mesin pembangkit
 

Merk	: Mitsubishi Heavy
Tipe	: MW-701D
Daya	: 134.1 MW
Putaran	: 3000 rpm
Tahun produksi	: 1995
Tahun operasional	: 1997

### 2.7 Siklus Brayton



Gambar 1. Siklus Brayton Ideal [5]

Siklus Brayton merupakan teori yang mendasari dari pengoperasian mesin PLTG. Siklus Brayton menjelaskan setiap proses yang terjadi secara termodinamika pada setiap tingkat keadaan. Siklus Brayton terdiri dari 2 proses isentropik dan 2 proses isobarik. Proses isentropik terjadi pada proses kompresi (1-2) dan proses ekspansi (3-4), sedangkan proses isobarik terjadi pada proses pembakaran (2-3) dan proses resirkulasi gas buang (4-1) [6].

## 2.8 Parameter Kinerja Mesin Pembangkit

### 1. Entalpi (h)

$$\frac{T_X - T_B}{T_A - T_B} = \frac{h_X - h_B}{h_A - h_B} \quad (1)$$

Keterangan:

$T_X$  = temperatur yang telah ditentukan

$T_A$  = temperatur  $T_X$

$T_B$  = temperatur dibawah  $T_X$

$h_x$  = entalpi yang dicari

$h_A$  = entalpi pada temperatur  $T_A$

$h_B$  = entalpi pada temperatur  $T_B$

### 2. Kerja kompresor ( $W_k$ )

$$W_k = (h_2 - h_1) \quad (2)$$

Keterangan:

$h_2$  = entalpi udara keluar kompresor

$h_1$  = entalpi udara masuk kompresor

### 3. Kerja turbin ( $W_t$ )

$$W_t = (h_3 - h_4) \quad (3)$$

Keterangan:

$h_4$  = entalpi udara keluar turbin

$h_3$  = entalpi udara masuk turbin

### 4. Kerja netto ( $W_{net}$ )

$$W_{net} = W_t - W_k \quad (4)$$

### 5. Kalor masuk ( $q_{in}$ )

$$q_{in} = h_3 - h_2 \quad (5)$$

Keterangan:

$h_3$  = entalpi udara keluar ruang bakar

$h_2$  = entalpi udara masuk ruang bakar

### 6. Efisiensi termal ( $\eta_{th}$ )

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_{in}} \times 100\% \quad (6)$$

### 7. Daya netto ( $N_{net}$ )

$$N_{net} = (\dot{m}_{ud} + \dot{m}_{bb}) W_{net} \quad (7)$$

Keterangan:

$\dot{m}_{ud}$  = laju aliran massa udara

$\dot{m}_{bb}$  = laju aliran massa bahan bakar

### 8. Specific fuel consumption (SFC)

$$SFC = \frac{\dot{m}_{bb}}{N_{teoritis}} \quad (8)$$

### 9. Harga pembangkitan (BPP)

$$\text{Harga listrik per kWh} = SFC \times \text{harga BBM} \quad (9)$$

### 10. Penyusutan daya pembangkit

$$\text{Penyusutan} = N_{perencanaan} - N_{aktual} \quad (10)$$

### 11. Pemborosan mesin pembangkit

$$\text{Pemborosan} = 1 - \frac{N_{aktual}}{N_{desain}} \quad (11)$$

## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Deskripsi Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa mengenai kinerja mesin pembangkit PT. Indonesia Power Grati POMU. Analisa dilaksanakan dengan melakukan perhitungan terhadap parameter-parameter kinerja mesin pembangkit.

### 3.2 Variabel Penelitian

#### 1. Variabel bebas

Terdiri dari temperatur fluida kerja turbin gas ( $T_1, T_2, T_3, T_4$ ) serta laju aliran massa bahan bakar dan udara ( $\dot{m}_{bb} + \dot{m}_{ud}$ ).

#### 2. Variabel terikat

Terdiri dari kerja turbin ( $W_t$ ), kerja kompresor ( $W_k$ ), efisiensi termal ( $\eta_{th}$ ), dan kalor masuk ( $q_{in}$ ).

### 3.3 Data Penelitian

#### 1. Data Primer

Data primer yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari Central Control Room (CCR) PLTGU Grati dan dokumen *heat balance* PLTGU Grati.

#### 2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan kumpulan data teoritis yang diperoleh berdasarkan studi literatur, jurnal ilmiah, artikel, maupun laporan yang berkaitan dengan materi penelitian.

### 3.4 Prosedur Penelitian

1. Pengambilan data lapangan
2. Proses perhitungan
3. Analisa hasil perhitungan
4. Rekomendasi dan kesimpulan

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Data Hasil Pengamatan

**Tabel 1. Hasil Pengamatan Data Desain**

Temperatur (K)				Tekanan (kPa)		Laju Aliran Massa (Kg/s)	
T1	T2	T3	T4	P1 = P4	P2 = P3	$\dot{m}_{ud}$	$\dot{m}_{bb}$
305.15	538.25	1397.15	752.35	100.8124	990.4717	173.9539	4.6574

**Tabel 2. Hasil Pengamatan Data Operasi**

Jam (WIB)	Temperature (K)			Tekanan (kPa)		$\dot{m}_{bb}$ (kg/s)
	T1	T2	T4	P1=P4	P2=P3	
0:00	299.65	636.15	795.38	101.303	894.366	4.2656
1:00	299.55	636.15	800.07	101.303	899.270	4.3125
2:00	299.45	636.05	800.59	101.303	897.308	4.3069
3:00	299.75	636.65	801.45	101.303	897.308	4.3031
4:00	299.25	635.85	800.77	101.303	898.289	4.3350
5:00	299.25	635.85	800.72	101.303	897.308	4.3256
6:00	299.45	636.55	802.21	101.303	900.250	4.3444
7:00	300.85	639.05	804.86	101.303	897.308	4.3350
8:00	303.45	642.65	808.41	101.303	896.328	4.3163
9:00	303.95	643.25	810.49	101.303	895.347	4.3631
10:00	304.95	645.15	809.60	101.303	900.250	4.3650
11:00	305.25	646.75	806.32	101.303	910.057	4.4063
12:00	305.65	645.35	798.36	101.303	885.540	4.1850
13:00	306.65	645.25	799.43	101.303	881.618	4.1775
14:00	307.25	647.05	801.17	101.303	882.599	4.1831
15:00	307.35	646.95	801.30	101.303	882.599	4.1644
16:00	306.45	679.05	758.73	101.303	1147.378	4.9575
17:00	305.95	678.55	756.09	101.303	1149.339	5.0269
18:00	304.95	689.75	798.28	101.303	1221.909	5.8406
19:00	303.75	688.15	795.65	101.303	1231.715	5.8688
20:00	304.65	689.65	796.85	101.303	1233.677	5.8875
21:00	304.05	688.45	796.18	101.303	1231.715	5.8744
22:00	303.95	684.75	784.96	101.303	1197.392	5.2556
23:00	303.55	643.25	810.62	101.303	900.250	4.4044

### Data spesifikasi bahan bakar

Jenis bahan bakar: Gas Alam / CNG

LHV : 9.660 kcal/Nm<sup>3</sup>

SG : 0,657 kg/m<sup>3</sup>

Harga : US\$ 6 per MMBTU

: Rp. 4.772,289 /kg

### 4.2 Perhitungan Parameter-Parameter Kinerja Mesin Pembangkit

Contoh perhitungan menggunakan data pada jam 00.00 WIB dan yang lainnya akan disajikan pada tabel hasil perhitungan.

#### 1. Mencari temperatur fluida hasil pembakaran ( $T_3$ )

$$T_3 = T_4 \times \left( \frac{P_3}{P_4} \right)^{\left( \frac{k-1}{k} \right)}$$

$$T_3 = 795,38 \text{ K} \times \left( \frac{894,3665 \text{ kPa}}{101,3027 \text{ kPa}} \right)^{\frac{(1,4-1)}{1,4}}$$

$$T_3 = 1481,893 \text{ K}$$

2. Mencari laju aliran massa udara aktual ( $\dot{m}_{ud}$ )

$$A/F = \frac{\dot{m}_{udara}}{\dot{m}_{bb}}$$

$$\dot{m}_{udara} = (A/F) \times \dot{m}_{bb}$$

$$\dot{m}_{udara} = 37,35 \times 4,265625 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{udara} = 159,3211 \text{ kg/s}$$

Tabel 3. Hasil Perhitungan T3 dan  $\dot{m}_{ud}$

Jam (WIB)	T3 (K)	A/F	Laju aliran massa (kg/s)	
			$\dot{m}_{ud}$	$\dot{m}_{bb}$
0:00	1481.893	37.35	159.3211	4.2656
1:00	1492.961	37.35	161.0719	4.3125
2:00	1493.000	37.35	160.8618	4.3069
3:00	1494.603	37.35	160.7217	4.3031
4:00	1493.801	37.35	161.9123	4.3350
5:00	1493.242	37.35	161.5621	4.3256
6:00	1497.420	37.35	162.2624	4.3444
7:00	1500.963	37.35	161.9123	4.3350
8:00	1507.112	37.35	161.2119	4.3163
9:00	1510.517	37.35	162.9627	4.3631
10:00	1511.215	37.35	163.0328	4.3650
11:00	1509.758	37.35	164.5734	4.4063
12:00	1483.236	37.35	156.3098	4.1850
13:00	1483.341	37.35	156.0296	4.1775
14:00	1487.042	37.35	156.2397	4.1831
15:00	1487.284	37.35	155.5394	4.1644
16:00	1517.887	37.35	185.1626	4.9575
17:00	1513.344	37.35	187.7538	5.0269
18:00	1625.984	37.35	218.1473	5.8406
19:00	1624.333	37.35	219.1978	5.8688
20:00	1627.522	37.35	219.8981	5.8875
21:00	1625.415	37.35	219.4079	5.8744
22:00	1589.622	37.35	196.2976	5.2556
23:00	1513.119	37.35	164.5034	4.4044

3. Menghitung entalpi (h)

Perhitungan entalpi menggunakan contoh perhitungan entalpi 1 ( $h_1$ ). Dari tabel Properties A-17 (*Ideal Gas Properties of Air*) didapat:

$$h_B = 298,18 \text{ kJ/kg}$$

$$h_A = 300,19 \text{ kJ/kg}$$

$$T_B = 298 \text{ K}$$

$$T_A = 300 \text{ K}$$

$$\frac{T_1 - T_B}{T_A - T_B} = \frac{h_1 - h_B}{h_A - h_B}$$

$$h_1 = \left( \frac{(T_1 - T_B) \times (h_A - h_B)}{(T_A - T_B)} \right) + h_B$$

$$h_1 = \left( \frac{(299,65 \text{ K} - 298 \text{ K}) \times (300,19 \text{ kJ/kg} - 298,18 \text{ kJ/kg})}{(300 \text{ K} - 298 \text{ K})} \right) + 298,18 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = 299,8383 \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4. Hasil Perhitungan Entalpi

Data Desain GT1.1				
	$h_1$ (kJ/kg)	$h_2$ (kJ/kg)	$h_3$ (kJ/kg)	$h_4$ (kJ/kg)
	305.37	542.54	1512.00	769.85
Data Operasi GT1.1				
Jam (WIB)	$h_1$ (kJ/kg)	$h_2$ (kJ/kg)	$h_3$ (kJ/kg)	$h_4$ (kJ/kg)
0:00	299.84	645.14	1614.08	816.89
1:00	299.74	645.14	1627.46	822.03
2:00	299.64	645.04	1627.51	822.60
3:00	299.94	645.67	1629.45	823.55
4:00	299.44	644.83	1628.48	822.80
5:00	299.44	644.83	1627.80	822.74
6:00	299.64	645.57	1632.85	824.38
7:00	301.05	648.21	1637.14	827.30
8:00	303.66	652.04	1644.60	831.21
9:00	304.16	652.68	1648.73	833.50
10:00	305.17	654.70	1649.57	832.52

11:00	305.47	656.40	1647.81	828.91
12:00	305.87	654.91	1615.70	820.15
13:00	306.88	654.81	1615.83	821.33
14:00	307.48	656.72	1620.30	823.24
15:00	307.58	656.61	1620.60	823.38
16:00	306.68	690.81	1657.67	776.80
17:00	306.17	690.27	1652.16	778.12
18:00	305.17	702.25	1789.32	820.06
19:00	303.96	700.54	1787.30	817.18
20:00	304.87	702.15	1791.20	818.50
21:00	304.26	700.86	1788.62	817.76
22:00	304.16	696.90	1744.91	805.47
23:00	303.76	652.68	1651.88	833.65

4. Menghitung kerja kompresor ( $W_k$ )

$$W_k = h_2 - h_1$$

$$W_k = 645,1429 \text{ kJ/kg} - 299,8383 \text{ kJ/kg}$$

$$W_k = 345,3046 \text{ kJ/kg}$$

5. Menghitung kerja turbin ( $W_t$ )

$$W_t = h_3 - h_4$$

$$W_t = 1614,078 \text{ kJ/kg} - 816,8865 \text{ kJ/kg}$$

$$W_t = 797,1917 \text{ kJ/kg}$$

6. Menghitung kerja netto ( $W_{net}$ )

$$W_{net} = W_t - W_k$$

$$W_{net} = 797,1917 \text{ kJ/kg} - 345,3046 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{net} = 451,8871 \text{ kJ/kg}$$

7. Menghitung kalor masuk ( $q_{in}$ )

$$q_{in} = h_3 - h_2$$

$$q_{in} = 1614,078 \text{ kJ/kg} - 645,1429 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{in} = 968,9353 \text{ kJ/kg}$$

8. Menghitung efisiensi termal ( $\eta_{th}$ )

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = \frac{451,8871 \text{ kJ/kg}}{968,9353 \text{ kJ/kg}} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = 46,63749 \%$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan  $W$ ,  $q_{in}$ , dan  $\eta_{th}$

Data Desain GT1.1					
Kerja (kJ/kg)			$q_{in}$	$\eta_{th}$	
$W_k$	$W_t$	$W_{net}$	(kJ/kg)	(%)	
237.16	742.15	504.99	969.47	52.09	
Data Operasi GT1.1					
Jam (WIB)	Kerja (kJ/kg)			$q_{in}$	$\eta_{th}$
	$W_k$	$W_t$	$W_{net}$	(kJ/kg)	(%)
0:00	345.30	797.19	451.89	968.94	46.64
1:00	345.41	805.43	460.03	982.32	46.83
2:00	345.40	804.91	459.51	982.47	46.77
3:00	345.73	805.90	460.16	983.77	46.78
4:00	345.39	805.68	460.29	983.65	46.79
5:00	345.39	805.06	459.67	982.97	46.76
6:00	345.93	808.47	462.54	987.28	46.85
7:00	347.17	809.83	462.67	988.92	46.78
8:00	348.38	813.38	465.00	992.56	46.85
9:00	348.51	815.22	466.71	996.05	46.86
10:00	349.53	817.05	467.52	994.87	46.99
11:00	350.93	818.90	467.96	991.40	47.20
12:00	349.04	795.55	446.51	960.79	46.47
13:00	347.93	794.50	446.58	961.02	46.47
14:00	349.24	797.07	447.82	963.58	46.47
15:00	349.04	797.21	448.18	963.98	46.49
16:00	384.13	880.87	496.74	966.86	51.38
17:00	384.10	874.03	489.93	961.88	50.93
18:00	397.08	969.25	572.17	1087.07	52.63
19:00	396.58	970.12	573.54	1086.76	52.78
20:00	397.28	972.70	575.42	1089.05	52.84
21:00	396.60	970.86	574.26	1087.76	52.79
22:00	392.74	939.44	546.70	1048.01	52.17
23:00	348.92	818.24	469.32	999.21	46.97

9. Menghitung daya netto ( $N_{net}$ )

$$N_{net} = (\dot{m}_{ud} + \dot{m}_{gas}) \times W_{net}$$

$$N_{\text{net}} = (159.3211 \text{ kg/s} + 4,265625 \text{ kg/s}) \times 451,8871 \text{ kJ/kg}$$

$$N_{\text{net}} = 73.922,72 \text{ kW}$$

10. Menghitung *specific fuel consumption* (SFC)

$$SFC = \frac{\dot{m}_{\text{gas}}}{N_{\text{net}}} = \frac{4,265625 \text{ kg/s} \times 3600 \text{ s}}{73.922,72 \text{ kW}}$$

$$SFC = 0,207734 \text{ kg/kWh}$$

11. Menghitung harga pembangkitan (BPP)

$$BPP = SFC \times \text{harga BBG}$$

$$BPP = 0,207734 \text{ kg/kWh} \times \text{Rp. } 4.722,289 / \text{kg}$$

$$BPP = \text{Rp. } 911,3658 / \text{kWh}$$

**Tabel 6. Hasil Perhitungan  $N_{\text{net}}$ , SFC, dan BPP**

Data Desain GT1.1				
	$N_{\text{net}}$ (kW)	SFC (kg/kWh)	Harga bb (Rp/kg)	BPP (Rp/kWh)
	90,196,7451	0,1859	4772,2890	887,1191
Data Operasi GT1.1				
Jam (WIB)	$N_{\text{net}}$ (kW)	SFC (kg/kWh)	Harga bb (Rp/kg)	BPP (Rp/kWh)
0:00	73,922,7239	0,2077	4772,2890	991,3658
1:00	76,081,3710	0,2041	4772,2890	973,8230
2:00	75,896,1523	0,2043	4772,2890	974,9262
3:00	75,938,6219	0,2040	4772,2890	973,5326
4:00	76,521,7585	0,2039	4772,2890	973,2701
5:00	76,253,2259	0,2042	4772,2890	974,5854
6:00	77,061,9381	0,2030	4772,2890	968,5379
7:00	76,916,8786	0,2029	4772,2890	968,2705
8:00	76,971,3366	0,2019	4772,2890	963,4004
9:00	78,092,3827	0,2011	4772,2890	959,8828
10:00	78,261,6663	0,2008	4772,2890	958,2182
11:00	79,076,4685	0,2006	4772,2890	957,3067
12:00	71,662,5316	0,2102	4772,2890	1003,3040
13:00	71,544,5124	0,2102	4772,2890	1003,1581
14:00	71,841,0552	0,2096	4772,2890	1000,3624
15:00	71,575,7893	0,2095	4772,2890	999,5693
16:00	94,440,3828	0,1890	4772,2890	901,8498
17:00	94,449,9259	0,1916	4772,2890	914,3779
18:00	128,159,3889	0,1641	4772,2890	782,9574
19:00	129,084,2935	0,1637	4772,2890	781,0907
20:00	129,922,5207	0,1631	4772,2890	778,5307
21:00	129,370,9430	0,1635	4772,2890	780,1070
22:00	110,189,8054	0,1717	4772,2890	819,4306
23:00	79,271,5276	0,2000	4772,2890	954,5448

12. Menghitung penyusutan daya pembangkit

Untuk menghitung penyusutan menggunakan data  $N_{\text{net}}$  operasi rata-rata dan  $N_{\text{net}}$  desain.

$$\text{Penyusutan} = N_{\text{desain}} - N_{\text{aktual}} \quad (23)$$

$$\text{Penyusutan} = 90,196,7451 \text{ kW} - 87,604,4667 \text{ kW}$$

$$\text{Penyusutan} = 2,592,2784 \text{ kW}$$

13. Menghitung presentase pemborosan pembangkit

$$\text{Pemborosan} = 1 - \frac{N_{\text{aktual}}}{N_{\text{desain}}} \quad (24)$$

$$\text{Pemborosan} = 1 - \frac{87,604,4667 \text{ kW}}{90,196,7451 \text{ kW}}$$

$$\text{Pemborosan} = 1 - 0,9713$$

$$\text{Pemborosan} = 0,0287$$

$$\text{Pemborosan} = 2,87 \%$$

**Tabel 7. Perbandingan Hasil Perhitungan Desain dan Operasi**

No	Parameter Kinerja Mesin	Satuan	Hasil Perhitungan	
			Data Desain	Data Operasi
1	Kerja Kompresor ( $W_k$ )	kJ/kg	237,1647	360,6558
2	Kerja Turbin ( $W_t$ )	kJ/kg	742,1537	845,2858
3	Kerja Netto ( $W_{\text{net}}$ )	kJ/kg	504,9891	484,6301
4	Kalor Masuk ( $q_{\text{in}}$ )	kJ/kg	969,4676	1.000,4662

5	Efisiensi Termal ( $\eta_{\text{th}}$ )	%	52,09	48,35
6	Daya Netto ( $N_{\text{net}}$ )	kW	90,196,7451	87,604,4667
7	<i>Specific Fuel Consumption</i>	kg/kWh	0,1859	0,1952
8	Harga Pembangkitan	Rp/kWh	887,1191	931,5168
9	Penyusutan Daya	kW		2,592,2784
10	Pemborosan Pembangkit	%		2,87

**Tabel 8. Selisih Hasil Perhitungan Desain dan Operasi**

No	Parameter Kinerja Mesin	Selisih		Ket.
		Angka	Pres.	
1	Kerja Kompresor ( $W_k$ )	123,4911 kJ/kg	52,07 %	Meningkat
2	Kerja Turbin ( $W_t$ )	103,1321 kJ/kg	13,89 %	Meningkat
3	Kerja Netto ( $W_{\text{net}}$ )	20,359 kJ/kg	4,03 %	Menurun
4	Kalor Masuk ( $q_{\text{in}}$ )	30,9986 kJ/kg	3,19 %	Meningkat
5	Efisiensi Termal ( $\eta_{\text{th}}$ )	3,73 %	7,16 %	Menurun
6	Daya Netto ( $N_{\text{net}}$ )	2,592,2784 kW	2,87 %	Menurun
7	<i>Specific Fuel Consumption</i>	0,0093 kg/kWh	5,0 %	Meningkat
8	Harga Pembangkitan	44,3995 Rp/kWh	5,0 %	Meningkat

**4.3 Analisa dan Pembahasan Kinerja Mesin Pembangkit**

- Entalpi pada setiap tingkat keadaan (h)  
Entalpi (h) dari tingkat keadaan 1 sampai 4 merupakan nilai-nilai yang didasarkan dengan mengasumsikan bahwa fluida kerja adalah gas ideal. Entalpi adalah suatu nilai yang menunjukkan total kandungan energi dalam yang terkandung pada suatu benda atau fluida kerja pada temperatur tertentu.
- Kerja kompresor ( $W_k$ )  
Terjadi peningkatan  $W_k$  sebesar 123,4911 kJ/kg atau 52,07 %. Hal tersebut dikarenakan T1 aktual lebih rendah dari T1 desain dan T2 aktual lebih tinggi dari T2 desain yang dikarenakan adanya kebocoran kalor dari ruang bakar menuju casing kompresor.  $W_k$  dapat diturunkan dengan cara menaikan T1. Menaikan T1 dapat dilakukan dengan cara pemanasan awal menggunakan gas buang turbin.
- Kerja turbin ( $W_t$ )  
 $W_t$  mengalami peningkatan 103,1321 kJ/kg atau 13,89 %. Namun peningkatan  $W_t$  tidak dapat mengimbangi peningkatan  $W_k$  sehingga berdampak pada meningkatnya BWR dan menurunnya  $W_{\text{net}}$ .  $W_t$  dapat ditingkatkan dengan cara menurunkan  $W_k$ , menaikan T3, dan menurunkan T4.
- Kerja netto ( $W_{\text{net}}$ )  
 $W_{\text{net}}$  merupakan selisih antara  $W_t$  dengan  $W_k$ . terjadi penurunan  $W_{\text{net}}$  sebesar 20,359 kJ/kg atau 4,03 %.  $W_{\text{net}}$  dapat ditingkatkan dengan cara menurunkan  $W_k$  atau dengan menaikan  $W_t$ .
- Kalor masuk ( $q_{\text{in}}$ )  
Terjadi peningkatan  $q_{\text{in}}$  sebesar 30,9986 kJ/kg atau 3,19 %.  $q_{\text{in}}$  dapat ditingkatkan tanpa meningkatkan konsumsi gas, yaitu dengan cara penambahan regenerator. Sehingga kalor gas buang turbin dapat digunakan lagi untuk meningkatkan  $q_{\text{in}}$ .
- Efisiensi termal ( $\eta_{\text{th}}$ )  
Terjadi penurunan  $\eta_{\text{th}}$  sebesar 3,73 % yang dikarenakan oleh adanya peningkatan  $q_{\text{in}}$  dan penurunan  $W_{\text{net}}$ .  $\eta_{\text{th}}$  dapat ditingkatkan dengan cara meningkatkan  $W_{\text{net}}$  atau menurunkan  $q_{\text{in}}$ .
- Daya netto ( $N_{\text{net}}$ )

Terjadi penurunan  $N_{\text{net}}$  sebesar 2.592,2784 kW yang diakibatkan dari menurunnya  $W_{\text{net}}$ .  $N_{\text{net}}$  dapat ditingkatkan dengan cara meningkatkan  $W_{\text{net}}$  atau dengan cara meningkatkan total laju aliran massa fluida kerja.

#### 8. Specific fuel consumption (SFC)

SFC menunjukkan konsumsi bahan bakar untuk menghasilkan listrik sebesar 1 kWh. Terjadi peningkatan SFC sebesar 0,0093 kg/kWh. SFC dapat diturunkan dengan penambahan regenerasi, sehingga SFC dapat dikurangi tetapi kalor yang masuk ke sistem tetap sama.

#### 9. Harga pembangkitan (BPP)

Terjadi peningkatan BPP sebesar 44,3995 Rp/kWh. BPP sebanding dengan SFC semakin besar SFC maka semakin besar juga BPP, dan begitu pula sebaliknya.

#### 10. Penyusutan daya pembangkit

Penyusutan daya pembangkit ini ditunjukkan oleh menurunnya  $N_{\text{net}}$ . Sehingga dapat dilihat bahwa terjadi penyusutan daya pembangkit sebesar 2.592,2784 kW. Penyusutan daya pembangkit ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain degradasi kekuatan material penyusun mesin pembangkit, degradasi kualitas coating pada sudu-sudu turbin dan kompresor, serta degradasi kemampuan dari isolator kalor atau glasswool sehingga terjadinya kebocoran kalor ke lingkungan.

#### 11. Presentase pemborosan pembangkit

Penyusutan daya pembangkit yang terjadi jika dinyatakan dalam bentuk presentase maka sebesar 2,87 %. Artinya terjadi penyusutan daya sebesar 2,87 % setelah 23 tahun beroperasi.

#### 12. Kerugian ekonomi perusahaan

Berdasarkan produksi listrik, perusahaan mengalami kerugian sebesar:

Penyusutan daya = 2.592,2784 kW

Selisih BPP = Rp. 44,39 /kWh

Kerugian = Penyusutan daya x Selisih BPP

Kerugian = 2.592,2784 x 44,39

Kerugian = Rp. 115.091,18 /jam

Kerugian x 24 jam = Rp. 2.762.188,37 /hari

Kerugian x 365 hari = Rp. 1.008.198.755,97 /tahun

Sedangkan berdasarkan penjualan listrik, perusahaan mengalami kerugian sebesar:

Penyusutan daya = 2.592,2784 kW

Penyusutan daya = 22.708.358,784 kWh/tahun

TDL = Rp. 1.400,00 /kWh

Kerugian = Penyusutan daya x TDL

Kerugian = 22.708.358,784 x 1.400,00

Kerugian = Rp. 31.791.702.297,60 /tahun

### 5. Kesimpulan

Setelah dilakukan perhitungan diperoleh perbandingan antara kapasitas desain dengan kapasitas aktual, dengan perbandingan sebagai berikut:

1. Kerja kompresor (Wk) mengalami peningkatan sebesar 123,4911 kJ/kg.
2. Kerja turbin (Wt) mengalami peningkatan sebesar 103,1321 kJ/kg.
3. Kerja netto (W<sub>net</sub>) mengalami penurunan sebesar 20,359 kJ/kg.
4. Kalor masuk (q<sub>in</sub>) mengalami peningkatan sebesar 30,9986 kJ/kg.
5. Efisiensi termal ( $\eta_{\text{th}}$ ) mengalami penurunan sebesar 3,73 %.
6. Daya netto (N<sub>net</sub>) mengalami penurunan sebesar 2.592,2784 kW.
7. Specific fuel consumption (SFC) mengalami peningkatan sebesar 0,0093 kg/kWh.
8. Harga pembangkitan (BPP) mengalami peningkatan sebesar Rp. 44,3995 /kWh.

Setelah dilakukan analisa secara teoritis ditemukan adanya penyusutan daya dari mesin pembangkit sebesar 2.592,2784 kW atau 2,87 % setelah 23 tahun beroperasi. Sehingga perusahaan mengalami kerugian total sebesar Rp. 32.799.901.053,57 /tahun. Penurunan kinerja dari mesin pembangkit disebabkan karena adanya degradasi kemampuan material penyusun mesin pembangkit, penurunan fungsi coating pada sudu-sudu turbin dan kompresor, menurunnya kualitas glasswool atau isolator kalor, dan karena adanya faktor perawatan mesin pembangkit itu sendiri.

### Daftar Pustaka

- [1] Kementerian ESDM, 2019, *Indonesia Energy Outlook*, Pusat Data dan Informasi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta, pp. 45-53.
- [2] Kusuma, I G. B. W., 2010, *Audit Pembangkit Listrik PT. Indonesia Power UBP Bali*, Pusat Penelitian Industri dan Energi Universitas Udayana, Bali, pp. 1-3.
- [3] Kementerian ESDM, 2011, *Mengenal Jenis-Jenis Gas Bumi*, www.migas.esdm.go.id
- [4] Sundari, P., 2014, *Efisiensi Combine Cycle PLTGU PT. Indonesia Power UP Perak-Grati Blok 1. PT Indonesia Power*, Laporan Praktek Kerja Lapangan PT. Indonesia Power Grati, Pasuruan, pp. 16-17.
- [5] Alief, R., 2013, *Sejarah Singkat Turbin Gas*, www.rakhman.net
- [6] Annur. M. N., 2017, *Pengaruh Variasi Beban Terhadap Performa Turbin Gas Di PLTGU Blok Gt 1.3 PT. Indonesia Power Grati, Pasuruan*, Skripsi Program Studi Diploma III Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, pp. 18-21.



A A Ngurah Putra Damara Artha Wijaya menyelesaikan studi sarjana Teknik Mesin di Universitas Udayana pada tahun 2017 sampai 2021. Ia menyelesaikan program studi sarjana dengan judul penelitian Analisa Kinerja Mesin Pembangkit Listrik Tenaga Gas Unit 1 Blok 1 di PT. Indonesia Power Grati POMU.

Topik penelitian yang diminati adalah bidang konversi energi khususnya termodinamika dan pembangkitan energi listrik