

# Jurnal Ilmiah

## ENERGI & KELISTRIKAN



SEKOLAH TINGGI TEKNIK - PLN

INTERFERENSI JARINGAN SENSOR NIKABEL DENGAN JARINGAN WIFI  
*Hendrianto Husada*

PENGARUH POLA OPERASI LOAD LIMIT DAN FREE GOVERNOR TERHADAP KINERJA TURBIN GAS PLTGU MUARAKARANG  
*Erlina; Oki Aditya*

PERANCANGAN DAN SIMULASI SISTEM OFFGRID PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) UNTUK TOWER BTS 1500 WATT.  
*Kukuh Aris Santoso*

PROSES LISTRIK DALAM TUBUH MANUSIA  
*Iswara Pujatomo*

OPTIMASI PRODUKSI ENERGI SURYA DARI DESAIN PEMBANGKIT TENAGA SURYA DI ATAP STT-PLN  
*Retno Aita Diantari*

MENGATASI RUGI-RUGI EKSTERNAL DALAM PERENCANAAN TRANSMISI KABEL BAWAH LAUT  
*Tri Joko Pramono*

ANALISA DCS (DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM) PADA PROSES POLIMERISASI  
*Syarif Hidayat; Irsyadi Akbar Jay*

GANGGUAN PADA GARDU DISTRIBUSI TIPE PORTAL  
*Novi Gusti Pahiyanti; Nurmiati Pasra*

RANCANGAN SISTEM KEAMANAN LOKER PADA ALAT PENGISI BATERAI GADGET UNTUK FASILITAS UMUM: E-LOCKER  
*Tasdik Darmana; Jumiaty; Titi Ratnasari*

KAJIAN KELAYAKAN RELE DIFERENSIAL TRANSFORMATOR MICOM P645 MENGGUNAKAN RTDS  
*Christine Widyastuti*

KINERJA RELAY JARAK DI TRANSMISI BERDASARKAN PENGARUH STATCOM  
*Sigit Sukmajati*



# PENGARUH POLA OPERASI LOAD LIMIT DAN FREE GOVERNOR TERHADAP KINERJA TURBIN GAS PLTGU MUARAKARANG

Erlina<sup>1</sup>, Oki Aditya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>erlina\_st@yahoo.com

Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik PLN

## ABSTRACT

*Of electricity demand is very high, so as to reduce the impact of interference on the network system, the power plants are required to operate Free governor mode. But the pattern of the operation has external and internal impact plants. External impacts PLN P3B generation transmission system will be more stable. Disturbances in the system will be normalized by power plants operating in Free governor mode. In internal impact plant operation pattern Free governor mode will cause the load pattern to follow PLN P3B. Expenses continue to change may affect the efficiency and life of plant equipment. The performance of gas turbines at the plant commonly called the heat rate. The higher the heat rate indicates that the efficiency of the turbines is lower. The results of the analysis of the performance of gas turbines 2.2 with patterns limit load operation mode and free mode governor Muara Karang Blok 2 concluded that the pattern of the governor PLTGU free operation causes the fuel gas consumption increases so that the efficiency of gas turbines declined. In this study, the test results after maintenance heat rate (Turbine Inspection) is used as the value of the performance comparison of the performance of gas turbine during operation with a load limit and free patterns governor.*

**Keywords:** load limit, free governor, gas turbine

## ABSTRAK

*Kebutuhan tenaga listrik sangat tinggi, sehingga untuk mengurangi dampak gangguan pada sistem jaringan maka pembangkit listrik diminta untuk mengoperasikan Free governor mode. Namun pola operasi tersebut memiliki dampak eksternal dan internal pembangkit. Dampak eksternal pembangkit sistem transmisi PLN P3B akan lebih stabil. Gangguan pada sistem akan dinormalkan oleh pembangkit yang beroperasi secara Free governor mode. Dampak internal pembangkit yaitu pola operasi Free governor mode akan menyebabkan pola beban mengikuti PLN P3B. Beban yang terus berubah-ubah dapat mempengaruhi efisiensi dan umur pemakaian peralatan pembangkit. Kinerja turbin gas di pembangkit biasa disebut dengan heat rate. Makin tinggi heat rate menunjukkan bahwa nilai efisiensi turbin pembangkit makin rendah. Hasil analisis kinerja turbin gas 2.2 dengan pola operasi load limit mode dan free governor mode PLTGU Muara Karang Blok 2 disimpulkan bahwa pola operasi free governor PLTGU menyebabkan konsumsi bahan bakar gas meningkat sehingga efisiensi turbin gas menurun. Dalam penelitian ini, hasil pengujian heat rate sesudah pemeliharaan (Turbine Inspection) digunakan sebagai nilai kinerja pembandingan terhadap kinerja turbin gas saat beroperasi dengan pola load limit dan free governor.*

**Kata kunci :** load limit, free governor, turbin gas

## I. PENDAHULUAN

Kebutuhan tenaga listrik PLN P3B (Perusahaan Listrik Negara Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban) sangat tinggi. Sehingga bila terjadi perubahan pada sisi beban (konsumen), akan menyebabkan sistem PLN P3B terganggu. Gangguan pada sistem PLN P3B dapat berimbas pada pemadaman sisi beban (konsumen). Untuk mengurangi dampak gangguan sistem, Pembangkit listrik yang beroperasi diminta untuk beroperasi dengan pola *Free governor mode* (batas bebas beban). Namun pola operasi *Free governor mode* (batas bebas beban) memiliki dampak *eksternal* (diluar) dan *internal* (didalam) pembangkit.

Dampak *eksternal* (diluar) pembangkit: Sistem transmisi PLN P3B akan lebih stabil. Gangguan pada sistem akan dinormalkan oleh pembangkit yang beroperasi secara *Free governor mode* (batas bebas beban). Dampak *internal*

(didalam) pembangkit: Pola operasi *Free governor mode* (batas bebas beban) akan menyebabkan pola beban mengikuti PLN P3B. Beban yang terus berubah-ubah dapat mempengaruhi efisiensi dan umur pemakaian peralatan pembangkit. Selain dari pada itu, dari segi niaga belum adanya penghargaan (*reward*) dan hukuman (*punishment*) dari PLN P3B terhadap unit pembangkit dalam pengoperasian mode operasi *Load limit* (batas beban) maupun *free governor* (batas bebas beban).

Bahan bakar gas untuk turbin gas PLTGU Muara Karang Blok 2 disupply dari Pertamina Hulu Energi ONWJ (*On North West Java*) sebagai penggerak turbin gas, sedangkan energi yang dihasilkan oleh turbin gas adalah energi listrik. Dengan kapasitas terpasang total pembangkitan Muara Karang adalah 1.570 MW. Terdiri dari : PLTGU Muara Karang Blok 1 adalah 445 MW (3 Unit turbin gas dengan daya terpasang masing-masing 100 MW dan 1 Unit steam turbin dengan

daya terpasang 145 MW), PLTGU Muara Karang Blok 2 adalah 725 MW (2 Unit turbin gas dengan daya terpasang masing-masing 250 MW dan 3 Unit steam turbin dengan daya terpasang masing-masing 75 MW), PLTU Unit 4&5 adalah 400 MW. Diharapkan mampu memenuhi kebutuhan energi listrik di Jakarta dan sekitarnya.

## II. KAJIAN LITERATUR

### 2.1 Fuel Gas Supply

Bahan bakar gas supply oleh gas PHE Pertamina Hulu Energi ONWJ (On North West Java) kemudian melalui pengolah bahan bakar gas sebelum dipakai untuk operasi turbin gas. Bahan bakar masuk ke system pengolah, partikel padat dan kandungan air akan dibuang dari bahan bakar gas sesuai dengan desain operasi bahan bakarnya. Pengolahan bahan bakar gas ini melalui *flow meter* dan pemanas. Pada saat normal operasi, bahan bakar ini dipanaskan yang mana lokasinya diatas pendingin turbin (*turbin cooling air*). Udara panas ini diambil dari *discharge compressor* turbin gas yang akan didinginkan di *turbin cooling air Cooler* dengan kipas tekan paksa. Kipas penekan udara mengambil panas dari *turbin cooling air cooler* untuk dipindahkan ke pemanas bahan bakar gas. Bahan bakar yang dipanaskan akan digunakan untuk bahan bakar operasi turbin gas. *Filter* bahan bakar gas dipasang setelah pemanas bahan bakar gas untuk menangkap partikel/ benda asing yang masuk ke turbin gas dan juga mencegah bahaya pada komponen *valve* dan *nozzle*.

#### 2.1.1 Nilai Kalor Gas

Dalam kegiatan transmisi dan distribusi gas, nilai kalori (*heating value*) cukup berperan penting, karena besaran gas yang diukur dalam satuan energi (bbtu) sedangkan meter yang digunakan sebagai *custody transfer* hanya mengukur volume (*scf/standard cubic feet*) yang mengalir. Biasanya kontrak yang disepakati dalam satuan energi. Nilai kalori merupakan nilai panas yang dihasilkan dari pembakaran sempurna suatu zat pada suhu tertentu. Secara matematis, jumlah energi diperoleh dengan mengalikan jumlah volume dengan nilai kalorinya.

$$\text{Energi (bbtu)} = \text{Volume (scf)} \times \text{Nilai Kalor (bbtu/scf)} \quad (2.1)$$

$$\text{Volume gas (scf)} = \frac{\sum \text{volume Air rate + komposisi volume gas}}{\text{jumlah data} \times 1000000} \quad (2.2)$$

### 2.2 Prinsip Kerja Generator

Prinsip kerja generator merupakan aplikasi dari hukum Faraday yang menyatakan bahwa: *Jika sebuah penghantar memotong garis-garis gaya dari suatu medan magnetik (flux), maka pada penghantar tersebut akan timbul tegangan induksi.*

Apabila kumparan medan magnet dari rotor berputar mengakibatkan timbulnya GGL bolak-balik pada kumparan stator, karena pada stator dipasang 3 buah kumparan yang masing-masing pada sumbu kumparan yang ditempatkan mempunyai jarak  $120^\circ$ , maka pada stator akan timbul GGL bolak-balik 3 fasa.

Medan magnet pada rotor ditimbulkan dengan mengalirkan arus searah (DC) pada kumparan rotor yang bertujuan untuk mendapatkan kutub magnet yang tetap dan besar medan magnetnya dapat diatur, yaitu dengan mengatur arus dan tegangan dc-nya. Generator memiliki 2 bagian utama, yaitu:

1. Rotor adalah bagian yang bergerak (tempat lilitan medan)
2. Stator adalah bagian yang diam (tempat lilitan jangkar)

Yang dimaksud dari lilitan medan adalah lilitan tempat generator menerima injeksi eksitasi dari sumber tegangan DC. Sedangkan untuk lilitan jangkar adalah lilitan tempat dibangkitkannya tegangan induksi. Lilitan jangkar mempunyai terminal sebagai keluaran generator.

### 2.3 Governor

Pada unit pembangkit tenaga listrik terdapat pengaturan frekuensi yang dilakukan oleh unit *Governor*, pengaturan dilakukan dengan cara mengatur penggerak utama atau *prime mover* dari generator. Karena pengaturan frekuensi dilakukan dengan mengatur daya aktif yang dibangkitkan generator, maka governor harus mengatur kopel mekanis yang dihasilkan mesin penggerak generator atau *prime mover* tersebut. Pengaturan kopel mekanis dilakukan dengan cara:

1. Mengatur pemberian uap penggerak turbin pada PLTU dan PLTP.
2. Mengatur pemberian air penggerak turbin pada PLTA.
3. Mengatur pemberian bahan bakar ke ruang bakar pada PLTG dan PLTD.

#### 2.3.1 Prinsip Kerja Governor

Ada kolerasi yang kuat antara putaran generator dengan besarnya beban yang dipikul generator. Putaran generator akan menurun jika beban di tambah, sebaliknya putaran akan naik jika beban generator dikurangi. Governor memanfaatkan naik atau turunnya putaran generator untuk menambah atau mengurangi pembukaan (mengontrol) katub ke *prime mover* generator. Mengatur kecepatan generator identik dengan mengatur frekuensi.

Kecepatan generator diatur sedemikian rupa sehingga tetap konstan pada saat generator dibebani. Pada saat ada kenaikan beban yang berarti kecepatan generator turun, maka governor akan menambah bahan bakar atau uap ataupun air yang masuk ke *prime mover*. Sedangkan bila ada penurunan beban yang berarti putaran generator akan naik, maka governor akan mengurangi bahan bakar atau uap ataupun air ke masuk ke *prime mover*.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

Pengambilan data pola operasi turbin gas PLTGU Muara Karang Blok 2 adalah *load limit* dan *free governor* pada pukul 03:30 WIB dengan pertimbangan kondisi beban relative stabil sehingga tidak terjadi perubahan setting beban pada turbin gas. Data diambil dengan range selama satu jam dan dengan interval satu menit. Diharapkan data

yang diambil sudah dapat mewakili kondisi operasi turbin gas dengan pola operasi yang ditentukan. Pengambilan data operasi turbin gas dilakukan di Control Room PLTGU Muara Karang Blok 2 dengan memanfaatkan media komputer PC (Personal Komputer).

### 3.1. Pengolahan data

Data yang berhasil dikonversi dan disimpan, selanjutnya akan digunakan untuk melakukan perhitungan manual. Perhitungan manual dilakukan untuk mendapatkan:

1. Total produksi turbin gas dalam satu jam  
Total produksi turbin gas dalam satu jam adalah nilai energi listrik yang dihasilkan oleh turbin gas dalam satuan MWh (*Mega Watt hour*). Energi ini dihasilkan dari hasil pembakaran bahan bakar gas di ruang bakar. Nilai MWh didapatkan dengan mencari nilai rata-rata dari penjumlahan data yang telah disimpan.
2. Pemakaian Bahan Bakar Gas dalam satu jam  
Pemakaian bahan bakar dalam satu jam adalah jumlah energi bahan bakar gas PHE ONWJ (Pertamina Hulu Energi *On North west Java*) yang digunakan oleh turbin gas unit 2.2 untuk menghasilkan energi listrik. Satuan nilai kalor bahan bakar gas adalah bbtud (*billion british thermal unit per day*), selanjutnya dilakukan konversi ke dalam satuan Kcal (*Kilo calorie*).
3. Kinerja turbin gas  
Kinerja turbin gas / *Heat rate* adalah nilai perbandingan antara energi bahan bakar gas yang diperlukan untuk memutar turbin gas dengan jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh turbin gas tersebut. Nilai *Heat rate* ini menunjukkan besarnya (*kuantitas*) energi bahan bakar gas yang diperlukan untuk menghasilkan satu kWh energi listrik.
4. Perbandingan kinerja turbin gas pada mode operasi *load limit* dan *free governor* terhadap kinerja turbin gas *referensi*.  
Kinerja turbin gas *referensi* yang digunakan adalah hasil pengujian kinerja / *heat rate* turbin gas yang dilakukan setelah inspeksi terakhir. Dalam bidang operasi turbin gas PLTGU Muara Karang Blok 2, hasil pengujian *heat rate* setelah pelaksanaan *inspeksi* digunakan untuk mengukur keberhasilan program *inspeksi* dan memetakan penyebab terjadinya penurunan kinerja turbin gas.

Dalam penelitian ini, hasil pengujian *heat rate* sesudah pemeliharaan (*Turbine Inspection*) tahun 2014 digunakan sebagai nilai kinerja pembandingan terhadap kinerja turbin gas saat beroperasi dengan pola *load limit* dan *free governor*.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut data yang digunakan sebagai dasar perhitungan produksi energi listrik turbin gas. Perhitungan pemakaian bahan bakar gas dan perhitungan kinerja turbin gas unit 2.2 PLTGU Muara Karang Blok 2.

1. Nilai kalor gas Pertamina Hulu Energi ONWJ (*On North West Java*):
  - a. Pada tanggal 20 Desember 2014 mode operasi

pembangkit dengan *load limit* dengan beban 230 MW (*Mega Watt*) maka nilai kalor pemakaian bahan bakar gas dapat dihitung:

$$= \frac{mmbtu}{scf} = \frac{94325 \text{ mmbtu}}{89505 \text{ mscf}} = 1,052844124 \text{ mmbtu/scf}$$

- b. Pada tanggal 09 Januari 2015 mode operasi pembangkit dengan *free governor* dengan beban 230 MW (*Mega Watt*) dikarenakan dengan beban tersebut apabila ada perubahan frekuensi maka beban akan berubah sesuai daya mampu *speed droop*. Kemampuan maksimum bergerak naik beban sampai 242 MW (*Mega Watt*) dan minimum turun beban sampai 218 MW (*Mega Watt*) maka nilai kalor pemakaian bahan bakar gas dapat dihitung:

$$= \frac{mmbtu}{scf} = \frac{94620 \text{ mmbtu}}{88762 \text{ mscf}} = 1,066005903 \text{ mmbtu/scf}$$

Nilai kalor bahan bakar gas Pertamina Hulu Energi ONWJ (*On North West Java*) adalah perbandingan nilai kalor (*energy panas*) dalam satuan *British Thermal Unit* yang terkandung oleh satu *standart cubic foot* volume bahan bakar gas.

- c. Nilai konversi volume gas konstan (35.3146  $\text{scfm}^3$ ).  
Nilai konversi satuan volume bahan bakar gas di atas adalah nilai konstanta yang digunakan oleh Unit Pembangkit Muara Karang untuk melakukan perhitungan pemakaian bahan bakar gas harian.
- d. Nilai konversi energi gas konstan (252.000.000 kCal/bbtud).  
Nilai konversi satuan energi kalor bahan bakar gas di atas adalah nilai konstanta yang digunakan oleh Unit Pembangkit Muara Karang untuk melakukan perhitungan pemakaian bahan bakar gas harian.

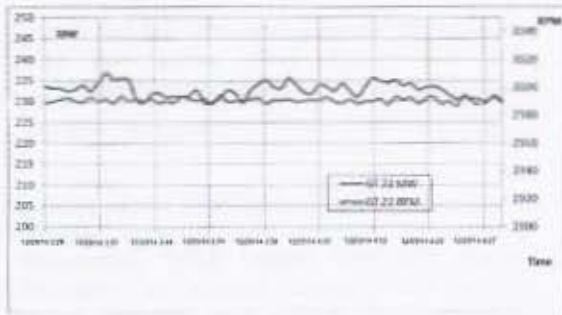
Berikut *asumsi-asumsi* yang digunakan sebagai dasar perhitungan produksi energi listrik turbin gas, perhitungan pemakaian bahan bakar gas dan perhitungan kinerja dipembangkit disebut *heat rate* turbin gas unit 2.2 PLTGU Muara Karang Blok 2.

1. Kondisi temperatur dan kelembaban udara konstan
2. Unjuk kerja (kinerja (*performance*)) kompresor tidak diperhitungkan.
3. Turbin gas beroperasi *combine cycle* dengan unjuk kerja kinerja *Heat Recovery Steam Generator* tidak diperhitungkan.
4. Tingkat kebersihan *nozzle (combustor)* tidak diperhitungkan.

*Asumsi-asumsi* tersebut digunakan untuk menyederhanakan proses perhitungan yang akan dilakukan.

### 4.1. Mode Pengoperasian *load limit* dan *free governor* Turbin Gas Unit 2.2

Parameter operasi yang akan digunakan dalam proses perhitungan ini adalah data beban (*load*), putaran turbin (*rpm*) dan aliran bahan bakar gas (*fuel gas flow*).



Grafik 4.1. Beban dan putaran turbin pada 20 Desember 2014 *load limit*



Grafik 4.2. Beban dan putaran turbin pada 09 Januari 2015 *free governor*

Dari grafik 4.1 dan 4.2 dapat dilihat bahwa pola operasi turbin gas dengan pola *load limit* lebih stabil dalam nilai produksi energi listrik dan kecepatan putaran (*Rotary Per Minute*) turbin gas dibandingkan dengan hasil operasi turbin gas dengan pola *Free governor*.

Dalam pola operasi *load limit*, turbin gas tidak akan memberikan reaksi yang besar terhadap perubahan sistem beban transmisi (sistem PLN P3B). Perubahan beban jaringan akan mempengaruhi nilai frekuensi sistem beban transmisi, hal ini akan mempengaruhi kecepatan putaran turbin gas. Pola operasi turbin gas *load limit*, perubahan frekuensi sistem beban jaringan transmisi tidak mempengaruhi kecepatan putaran turbin gas. Sebaliknya, pada pola operasi *free governor*, perubahan frekuensi sistem beban transmisi akan membuat kecepatan putaran turbin gas berubah untuk menjaga kestabilan frekuensi sistem jaringan transmisi.

#### 4.2. Produksi dan Pemakaian Gas *oad limit* GT Unit 2.2

##### 1. MWh Produksi *Load limit* Turbin Gas Unit 2.2

Total produksi turbin gas dalam satu jam adalah nilai energi listrik yang dihasilkan oleh turbin gas dalam satuan MWh (*Mega Watt hour*) atau kWh (*Kilo Watt hour*). Energi ini dihasilkan dari hasil pembakaran bahan bakar gas di ruang bakar.

Nilai MWh atau kWh didapatkan dengan mencari nilai rata-rata dari penjumlahan data yang telah disimpan. Energi yang dihasilkan oleh turbin gas dalam bentuk energi listrik. Cara perhitungannya adalah dengan menjumlahkan data MW dibagi dengan 60. Angka 60 adalah jumlah data dalam satu jam.

$$\Delta \text{MWh prod} = \frac{\sum \text{data MW}}{\sum \text{data waktu}} = \Delta \text{MWh produksi} = \frac{\text{Penjumlahan data MW}}{\text{Jumlah data}}$$

$$= \frac{13812,6}{60} = 230,210 \text{ MWh}$$

##### 2. Pemakaian Gas *load limit* Turbin Gas Unit 2.2

Pemakaian bahan bakar dalam satu jam adalah jumlah energi bahan bakar gas Pertamina Hulu Energi ONWJ (*On North West Java*) yang digunakan oleh turbin gas unit 2.2 untuk menghasilkan energi listrik. Perhitungan energi primer (gas) dilakukan dengan cara menjumlahkan data bbtum (*billion british thermal unit per minute*) kemudian dikalikan dengan angka 24 untuk mendapatkan bbtud (*billion british thermal unit per day*). Satuan *volume flow rate* adalah Nm<sup>3</sup>/h, artinya volume gas pada temp dan tekanan standart yaitu pada suhu 0 degC dan tekanan atmosfer 1013 mba (*milibar*). Berdasarkan persamaan 2.2 volume gas dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Volume gas (mmscfh)} = \frac{\sum \text{volume flow rate Nm}^3/\text{h} \times 35,3146 \text{ scf/m}^3}{60 \times 10^6}$$

$$= \frac{3720852,8 \text{ m}^3/\text{h} \times 35,3146 \text{ scf/m}^3}{60 \times 10^6} = \frac{131,4003}{60}$$

$$= 2,19007 \text{ mmscfh}$$

Energi gas (bbtuh) = Volume gas X Nilai kalor gas PHE ONWJ

$$= (\text{mmscfh} \times 1,052844124 \text{ mbtu/scf})$$

$$= 2,19007 \times 1,05284412420532$$

$$= 2,305736 \text{ bbtuh}$$

Energi gas (bbtud) = bbtuh X Jumlah jam dalam satu hari

$$= 2,305736 \times 24$$

$$= 55,33767 \text{ bbtud}$$

##### 3. Kinerja *load limit* Turbin Gas Unit 2.2

Kinerja turbin gas yang dipembangkit disebut *heat rate*. *Heat rate* adalah nilai perbandingan antara energi bahan bakar gas yang diperlukan untuk memutar turbin gas dengan jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh turbin gas tersebut. Nilai *heat rate* ini menunjukkan besarnya (*kuantitas*) energi bahan bakar gas yang diperlukan untuk menghasilkan satu kWh energi listrik.

$$\text{Kinerja turbin gas} = \frac{(\text{bbtud} \times \text{konversi energi gas})}{(\text{MWh Produksi} \times 24 \text{ jam} \times 1000)}$$

$$= \frac{55,33767 \times 252,000,000 \text{ Kcal/bbtud}}{230,21 \times 24,000} = 2,482,78 \text{ Kcal/kWh}$$

##### 4.3. Produksi dan Pemakaian Gas *free governor* Turbin Gas Unit 2.2

##### 1. MWh Produksi *free governor* Turbin Gas Unit 2.2

Total produksi turbin gas dalam satu jam adalah nilai energi listrik yang dihasilkan oleh turbin

gas dalam satuan MWh (*Mega Watt hour*) atau kWh (*Kilo Watt hour*). Energi ini dihasilkan dari hasil pembakaran bahan bakar gas di ruang bakar.

Nilai MWh atau kWh didapatkan dengan mencari nilai rata-rata dari penjumlahan data yang telah disimpan. Energi yang dihasilkan oleh turbin gas dalam bentuk energi listrik. Cara perhitungannya adalah dengan menjumlahkan data MW dibagi dengan 60. Angka 60 adalah jumlah data dalam satu jam.

$$MWh \text{ hasil} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{data MW}}{\sum_{i=1}^n \text{data waktu}} = \frac{MWh \text{ produksi}}{\text{Jumlah data}}$$

$$= \frac{13801.3}{60} = 230.022 \text{ MWh}$$

### 2. Pemakaian Gas *free governor* Turbin Gas Unit 2.2

Pemakaian bahan bakar dalam satu jam adalah jumlah energi bahan bakar gas PHE Pertamina Hulu Energi ONWJ (*On North West Java*) yang digunakan oleh turbin gas unit 2.2 untuk menghasilkan energi listrik.

Perhitungan energi primer (gas) dilakukan dengan cara menjumlahkan data bbtum (*billion british thermal unit per minute*) kemudian dikalikan dengan angka 24 untuk mendapatkan bbtud (*billion british thermal unit per day*). Satuan *volume flow rate* adalah Nm<sup>3</sup>/h, artinya volume gas pada temp dan tekanan standar yaitu pada suhu 0 degC dan tekanan atmosfer 1013 mba (*milibar*).

$$\text{Volume gas (mmscfh)} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{volume flow rate Nm}^3/\text{h} \times 35.3146 \text{ scf/m}^3}{60 \times 10^6}$$

$$= \frac{3807345.5 \text{ m}^3/\text{h} \times 35.3146 \text{ scf/m}^3}{60 \times 10^6} = \frac{134.45488}{60}$$

$$= 2.240915 \text{ mmscfh}$$

Energi gas (bbtuh) = (Volume gas X Nilai kalor gas PHE ONWJ)

$$= (\text{mmscfh} \times 1.066005903 \text{ mbtu/scf})$$

$$= 2.240915 \times 1.066005903$$

$$= 2.3888328 \text{ bbtuh}$$

Energi gas (bbtud) = bbtuh X Jumlah jam dalam satu hari

$$= 2.388828 \times 24$$

$$= 57.33188 \text{ bbtud}$$

### 3. Kinerja *free governor* Turbin Gas Unit 2.2

Kinerja turbin gas di pembangkit biasa disebut *heat rate*. *Heat rate* adalah nilai perbandingan antara energi bahan bakar gas yang diperlukan untuk memutar turbin gas dengan jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh turbin gas tersebut. Nilai *heat rate* ini menunjukkan besarnya (*kuantitas*) energi bahan bakar gas yang diperlukan untuk menghasilkan satu kWh energi listrik.

$$\text{Kinerja turbin gas} = \frac{(\text{bbtud} \times \text{konversi energi gas})}{(\text{MWh Produksi} \times 24 \text{ jam} \times 1000)}$$

$$= \frac{57.33188 \times 252.000.000 \text{ Kcal/bbtud}}{230.022 \times 24.000} = 2.617.08 \text{ Kcal/kWh}$$

### 4.3. Referensi Data Kinerja Turbin Gas Unit 2.2 (Pembanding)

Hasil uji kinerja turbin gas unit 2.2 sesudah pemeliharaan (*Turbine Inspection*) tahun 2014 digunakan sebagai data pembanding hasil perhitungan kinerja turbin gas unit 2.2 dengan pola operasi *load limit* dan *free governor*. Kinerja test turbin gas unit 2.2 sesudah pemeliharaan (*Turbine Inspection*) pada tanggal 23 Mei 2014 = 2,414.35 kCal/kWh.

### 4.4. Perbandingan Kinerja Turbin Gas Unit 2.2

#### 1. Kinerja turbin gas unit 2.2 *load limit* terhadap data pembanding

$$\text{Kinerja turbin gas 2.2} = \frac{\text{kinerja load limit} - \text{kinerja pembanding}}{\text{kinerja pembanding}}$$

$$= (2,482.78 - 2,414.35) / 2,414.35 \text{ kCal/kWh}$$

$$= (68.43) / 2,414.35 \text{ kCal/kWh}$$

$$= 2.83\%$$

#### 2. Kinerja turbin gas unit 2.2 *free governor* terhadap data pembanding

$$\text{Kinerja turbin gas 2.2} = \frac{\text{kinerja free gov} - \text{kinerja pembanding}}{\text{kinerja pembanding}}$$

$$= (2,617.08 - 2,414.35) / 2,414.35 \text{ kCal/kWh}$$

$$= (202.73) / 2,414.35 \text{ kCal/kWh}$$

$$= 8.40\%$$

#### 3. Perbandingan hasil kinerja turbin gas unit 2.2 dengan pola operasi *load limit* dan *free governor*

Dari hasil perhitungan kinerja turbin gas unit 2.2 dengan pola operasi *load limit* dan *free governor*, dapat dilihat bahwa:

- Pola operasi *load limit* menghasilkan kinerja *heat rate* 2.83% lebih tinggi terhadap hasil kinerja test sesudah pemeliharaan (*Turbine Inspection*) pada tanggal 23 Mei 2014.
- Pola operasi *free governor* (batas bebas beban) menghasilkan kinerja *heat rate* 8.40% lebih tinggi terhadap hasil kinerja test sesudah pemeliharaan (*Turbine Inspection*) pada tanggal 23 Mei 2014.

Makin tinggi *heat rate* menunjukkan bahwa nilai *efisiensi* unit pembangkit makin rendah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa operasi turbin gas unit 2.2 dengan pola *load limit* lebih *efisien* dari pada operasi turbin gas unit 2.2 dengan pola *Free governor* (batas bebas beban).

## V. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis pada bab-bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Pola operasi *Free governor* PLTGU menyebabkan konsumsi bahan bakar gas naik (2.240915 mmscfh), sehingga efisiensi turbin gas turun (2,617.08 kCal/kWh).

2. Pola operasi *Load limit* PLTGU bebannya lebih stabil di 230 MW dan putarannya 3000 rpm dibandingkan dengan hasil operasi dengan pola *free governor*. Lihat tabel dan grafik 4.1 (*Load limit*), sedangkan tabel dan grafik 4.2 (*free governor*).
3. Dalam pola operasi *load limit*, turbin gas tidak akan memberikan perubahan beban dan frekuensi di sistem beban transmisi (PLN P3B) dan perubahan frekuensi jaringan transmisi tidak mempengaruhi kecepatan putaran turbin gas.
4. Dalam pola operasi *free governor*, sistem frekuensi transmisi distribusi di PLN P3B akan lebih stabil. Gangguan pada sistem akan dinormalkan oleh pembangkit yang beroperasi secara *free governor*. Karena turbin gas merespon naik turun beban secara cepat apabila terjadi perubahan frekuensi jaringan yang cepat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, 2010, Takasago Machinery, Works *Instruction of Mitsubishi Gas Turbine*, Jakarta.
- [2] Anonim, 2010, Takasago Machinery Works, *Instruction of Mitsubishi Gas Turbine*, Jakarta.
- [3] Anonim, -, Manual book operation PLTGU blok 2 Muara Karang volume 2
- [4] <https://surianaw.wordpress.com/2013/11/21/sistem-instrumentasi-dan-kontrol-pada-pembangkitan-listrik/> diakses 11 mei 2015 jam 19:30 WIB
- [5] <http://id.scribd.com/doc/138314855/Sistem-Start-Governor#scribd> diakses 15 mei 2015 jam 10:00 WIB
- [6] <http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/09/hubungan-daya-aktif-dan-frekuensi.html> diakses 18 mei 2015 jam 13:00 WIB