

STUDI PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP PERFORMA MESIN GAS 18 MW PADA PLTMG SUMBAGUT-2 PEAKER

Muhammad Azhari Fakma¹, Yassir², Zamzami³

^{1,2,3}) Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: azharydavis007@gmail.com¹, yassirasnawi@gmail.com², z4mz4mi@gmail.com³

Abstrak— Variasi beban dapat mempengaruhi performa mesin gas pembangkit seperti efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC). Kinerja dari mesin gas pembangkit dapat diketahui efektifitasnya dengan melihat kepada seberapa besar efisiensi termal yang dihasilkan dan seberapa minim bahan bakar yang dikonsumsi sesuai dengan perubahan beban yang terjadi. Dengan kondisi tersebut, dilakukanlah penelitian yang bertujuan untuk mengetahui nilai efisiensi termal dan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi mesin gas 18 MW PLTMG Sumbagut-2 Peaker berdasarkan besarnya daya serta mengetahui pengaruh dari perubahan beban yang terjadi setiap waktunya. Metode yang digunakan berupa perhitungan secara manual dengan mengumpulkan berbagai data seperti data spesifikasi dan aktual mesin gas, data pembebanan dan laju aliran bahan bakar. Hasil perhitungan yang di dapat pada data aktual 24 jam yaitu efisiensi termal terendah sebesar 44,60% pada beban 13.925 kW dan tertinggi sebesar 46,53% pada beban 17.876 kW, konsumsi bahan bakar keseluruhan (Qf) terendah berjumlah 109.113,40 scf/h pada beban 13.185 kW dan tertinggi 142.577,32 scf/h pada beban 17.876 kW serta konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) terendah berjumlah 7,976 scf/kWh pada beban 17.876 kW dan tertinggi berjumlah 8,321 scf/kWh pada beban 13.925 kW.

Kata Kunci: Efisiensi Termal, Konsumsi Bahan Bakar Spesifik, Perubahan Beban

I. PENDAHULUAN

Negara Indonesia saat ini sedang melaksanakan pembangunan dari segala aspek. Seiring dengan laju pertumbuhan dan perkembangan teknologi yang semakin ketat maka diwajibkan adanya prasarana yang mendukung yaitu ketersediaan listrik yang telah menjadi salah satu kebutuhan pokok dalam menjalani kehidupan. Hampir semua aspek kehidupan manusia memerlukan energi listrik, di perkantoran, rumah tangga, dan perindustrian. Semakin banyaknya berdiri industri-industri baru yang memerlukan energi listrik dalam pengoperasiannya sehingga menyebabkan kebutuhan akan energi listrik terus meningkat setiap tahunnya. Dalam memenuhi kebutuhan akan energi listrik, didirikanlah pembangkit-pembangkit dengan berbagai inovasi.

Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas pada PLTMG Sumbagut-2 Peaker menggunakan mesin gas merk Wärsilä tipe W18V50SG yang memiliki 18 silinder. Mesin ini merupakan mesin pembakaran dalam dengan empat langkah piston, mesin bekerja pada putaran 500 atau 514 rpm untuk frekuensi 50 atau 60 Hz dan menghasilkan output daya listrik maksimum sebesar 18,32 MW dan 18,76 MW. Total jumlah mesin yang digunakan pada PLTMG ini sebanyak 13 unit dalam kondisi *standby* dengan total kapasitas daya yang dihasilkan sebesar 250 MW [1]. PLTMG biasanya digunakan sebagai pembangkit cadangan yang digunakan pada saat beban puncak, karena untuk membangkitkan listrik Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas tidak memerlukan banyak waktu.

Permintaan perubahan beban pada PLTMG diatur oleh PT PLN (Persero) Pusat Pengaturan Beban (P2B). Dalam merespon perubahan beban yang terjadi, maka secara otomatis performa mesin ikut menyesuaikan. Tuntutan bahwa pembangkit harus mempunyai kinerja yang baik mengakibatkan faktor efisiensi merupakan hal yang sangat penting dan selalu menjadi pembahasan utama di dalam setiap pembangkit listrik. Salah satu hal yang menjadi parameter penting dalam menentukan seberapa besar efisiensi mesin yang telah dihasilkan oleh PLTMG adalah efisiensi termal [2].

Sebagaimana diketahui bahwa masing-masing unit pembangkit mempunyai efisiensi yang berbeda. Satu unit pada beban 50 - 80% bisa saja lebih efisien dari pada unit lainnya pada beban yang sama, sehingga pembebanan secara merata saja belum tentu menghasilkan efisiensi optimal [3]. Faktor perubahan beban juga akan berefek terhadap jumlah bahan bakar yang dikonsumsi mesin. Besar atau tidaknya konsumsi bahan bakar tergantung dari seberapa besar daya yang dikeluarkan oleh mesin, semakin besar daya yang dikeluarkan maka semakin banyak konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin pembangkit, tetapi dapat berbeda pula jika dilihat dengan lebih spesifik dimana dalam hal ini semakin besar daya yang dikeluarkan memungkinkan konsumsi bahan bakar yang digunakan per kWh nya dapat lebih rendah. Pemakaian bahan bakar ini juga menjadi salah satu hal yang mendapat perhatian khusus karena sekitar 60% dari total biaya operasi yang dikeluarkan merupakan bahan bakar [4].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsep perhitungan efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar spesifik mesin gas serta pengaruh dari variasi beban yang terjadi pada setiap jam terhadap efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar mesin gas pada PLTMG.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas

Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas merupakan pembangkit yang menggunakan gas sebagai bahan bakar utama pada mesin untuk memicu pembakaran didalam silinder mesin dan menggerakkan piston kemudian memutar poros mesin yang terhubung dengan poros generator sehingga akan menghasilkan tegangan.

Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) terdiri dari bagian utama (*main equipment*), yaitu mesin dan generator, sistem pendukung (*Balance of Plant/BoP*), *Auxiliary*, sistem distribusi, dan sistem kontrol. Sistem pendukung (*Balance of Plant/BoP*) terdiri atas sistem bahan bakar (*fuel system*), sistem pendingin (*cooling system*), sistem pelumas (*lube oil system*), *starting air system*, serta sistem gas buang dan pertukaran udara (*exhaust gas dan charge air system*).

Prinsip kerja dari mesin gas hampir sama dengan mesin diesel, tetapi ada perbedaan paling signifikan yaitu pada sistem bahan bakar untuk motor penggerakannya. Mesin gas bekerja dengan prinsip siklus Otto yaitu sebuah siklus ideal untuk mesin torak dengan pengapian-nyala bunga api pada mesin pembakaran. Dengan sistem pengapian-nyala ini, campuran bahan bakar dan udara di bakar dengan menggunakan percikan bunga api dari busi. Piston bergerak dalam empat langkah (disebut juga mesin dua siklus) dalam silinder mesin, sedangkan poros engkol berputar dua kali untuk setiap siklus termodinamika [5].

B. Sistem Bahan Bakar Gas

Sistem bahan bakar gas merupakan suatu proses pengoperasian gas alam sebagai sumber energi bahan bakar pada mesin. Fungsi sistem gas bahan bakar mesin yaitu untuk menginjeksikan gas kedalam silinder dengan waktu yang tepat. Gas yang digunakan mengandung sejumlah besar metana (CH_4) dan beberapa sisa zat lainnya seperti Nitrogen (N_2), Etana (C_2H_6), Propana (C_3H_8), dan Butana (C_4H_{10}).

Pada pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar gas, jenis gas alam yang sering digunakan adalah *Liquefied Natural Gas* (LNG). Besarnya jumlah dan tekanan gas yang masuk sangat menentukan terhadap daya yang dikeluarkan oleh mesin. Umumnya ada 2 jenis sistem bahan bakar gas yang digunakan yaitu *Low Pressure Gas* dan *High Pressure Gas*. Kedua sistem tersebut berbeda dari segi besar tekanan dan beberapa konfigurasi lainnya. *Low Pressure Gas* memiliki tekanan yang berkisar antara 1.5 – 5.0 psi, sedangkan *High Pressure Gas* memiliki tekanan yang berkisar

antara 25 – 30 psi. Pengaplikasian sistem *Low Pressure Gas* lebih fleksibel dan safety dibandingkan dengan sistem *High Pressure Gas* tetapi respon yang dikeluarkan tidak sebaik *High Pressure Gas* [6].

Bahan bakar gas alam umumnya didapatkan dari stasiun gas terdekat. Sebelum masuk ke area pembangkit, gas dari sumber ini dilewatkan area pembersih terlebih dahulu, atau yang lebih sering kita kenal dengan istilah Separator (*Scrubber*). Pada area ini, gas umumnya dipersiapkan baik dari sisi kebersihan, kadar air, ataupun tekannya, agar dapat/siap jika diumpangkan langsung ke unit mesin gas.

Sebelum diumpangkan langsung ke dalam mesin, gas disaring lagi menggunakan sebuah *filter*. Umumnya posisi *filter* ini akan duduk bersama beberapa instrumen lapangan (*field instrument*) yang tergabung dalam sebuah modul gas (*gas module*), yang tugas utamanya adalah untuk pengaturan volume, keamanan sistem dan untuk memastikan bahwa gas siap diumpangkan ke mesin.

C. Kualitas Bahan Bakar Gas

Kualitas bahan bakar gas berpengaruh terhadap proses pembangkitan energi listrik. Kualitas gas yang baik akan meminimalisir terjadinya berbagai persoalan yang timbul akibat zat yang terkandung di dalamnya. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas terdapat beberapa kategori penilaian yang digunakan sebagai standar untuk melihat kualitas gas yang baik, yaitu :

- 1) Nilai *Methane Number* yang menentukan potensi terjadinya detonasi. Definisi *Methane Number* memiliki makna jika nilainya adalah 100 maka pengertiannya 100 murni *methane fuel* dan 0 *hydrogen*.
- 2) Nilai *Methane Number* yang besar akan memberikan hambatan yang lebih baik terhadap detonasi.
- 3) Nilai *Methane Number* yang rendah maka bahan bakar tersebut lebih cepat terbakar sehingga berpotensi menyebabkan detonasi [6].

D. Mesin Gas Wäertsilä

Mesin gas Wäertsilä W18V50SG merupakan mesin pembangkit listrik tenaga gas yang diproduksi oleh PT. Wäertsilä Finlandia, kode *18V50SG* menandakan tipe mesin PLTMG yang berarti memiliki 18 silinder, dengan susunan silinder berbentuk V, diameter silinder 50 cm dan beroperasi dengan menggunakan bahan bakar gas alam. Mesin ini dilengkapi dengan turbocharger dan intercooler. Dalam proses pembakarannya, terdapat 4 langkah utama yang terjadi didalam ruang pembakaran dimana setiap satu kali atau satu proses usaha terjadi 4 kali langkah piston yaitu langkah hisap, langkah kompresi, langkah usaha, dan langkah buang [6].

E. Proses Pembakaran Mesin Gas

Secara umum pembakaran didefinisikan sebagai reaksi kimia atau reaksi persenyawaan bahan bakar

oksigen (O₂) sebagai oksidan dengan temperaturnya lebih besar dari titik nyala. Mekanisme pembakarannya sangat dipengaruhi oleh keadaan dari keseluruhan proses pembakaran dimana atom-atom dari komponen yang dapat bereaksi dengan oksigen yang dapat membentuk produk yang berupa gas [7]. Untuk memperoleh daya maksimum dari suatu operasi hendaknya komposisi gas pembakaran dari silinder (komposisi gas hasil pembakaran) dibuat seideal mungkin, sehingga tekanan gas hasil pembakaran bisa maksimal menekan torak dan mengurangi terjadinya detonasi. Komposisi bahan bakar dan udara dalam silinder akan menentukan kualitas pembakaran dan akan berpengaruh terhadap performance mesin dan emisi gas buang. Ada 2 (dua) kemungkinan yang terjadi pada proses pembakaran mesin, yaitu pembakaran sempurna dan tidak sempurna.

1) Pembakaran Sempurna

Pembakaran sempurna terjadi bila bahan bakar dapat terbakar seluruhnya pada saat dan keadaan yang dikehendaki. Mekanisme pembakaran sempurna pada mesin dimulai pada saat terjadinya loncatan bunga api pada busi, kemudian api membakar gas bakar yang berada di sekitarnya sehingga semua partikelnya terbakar habis. Di dalam pembakaran sempurna, pembagian nyala api terjadi merata di seluruh bagian.

Reaksi pembakaran sempurna senyawa *Liquefied Natural Gas* (LNG) pada PLTMG ditunjukkan sebagai berikut :



2) Pembakaran Tidak Sempurna

Pembakaran tidak sempurna terjadi bila bahan bakar tidak ikut terbakar atau tidak terbakar bersamaan pada saat dan keadaan yang dikehendaki. Pembakaran tidak sempurna dapat menimbulkan detonasi (*knocking*) yang memungkinkan timbulnya gangguan dan kesulitan-kesulitan pada mesin [7]. Reaksi pembakaran tidak sempurna senyawa *Liquefied Natural Gas* (LNG) pada PLTMG ditunjukkan sebagai berikut :



F. Nilai Kalor (*Heating Value*)

Nilai kalor (*HV*) adalah jumlah energi yang dilepaskan ketika suatu bahan bakar dibakar secara sempurna dalam suatu proses aliran *tunak steady* dan produk dikembalikan lagi ke keadaan reaktan. Terdapat dua jenis kalor bahan bakar yaitu :

- 1) *Higher Heating Value* (HHV), yaitu nilai kalor atas ditentukan pada saat H₂O pada produk pembakaran berbentuk cairan.

- 2) *Lower Heating Value* (LHV), yaitu nilai kalor bawah ditentukan pada saat H₂O pada produk pembakaran berbentuk gas.

G. Efisiensi Termal

Efisiensi termal adalah bentuk dasar energi. Artinya, semua bentuk efisiensi energi yang lain dapat secara sempurna dikonversi menjadi efisiensi energi termal. Sebenarnya, semua efisiensi energi akhirnya akan dikonversikan menjadi efisiensi energi termal, kecuali bila disimpan dalam bentuk lain. Pengkonversian efisiensi energi termal menjadi bentuk efisiensi energi yang lain adalah terbatas hingga suatu harga yang lebih kecil dari 100%.

Ketika ditulis dalam persentase, efisiensi termal harus berada di antara 0% dan 100%. Karena faktor inefisiensi seperti gesekan, hilangnya panas, dan faktor lainnya, efisiensi termal mesin tidak pernah mencapai 100%. Efisiensi termal nya didefinisikan dengan [8]:

$$\eta_{th} = \frac{P}{Q_{input}} \times 100\% \tag{1}$$

Dimana :

- η_{th} = Efisiensi Termal
- P = Daya (kW)
- Q_{input} = Jumlah Energi Masuk (kJ/s)

Jumlah energi masuk diketahui dengan persamaan :

$$Q_{input} = mf \times LHV \tag{2}$$

Dimana :

- mf = Jumlah Bahan Bakar (kg/h)
- LHV = Nilai Kalor (kJ/kg)

Untuk nilai jumlah bahan bakar atau aliran massa bahan bakar gas dapat dilihat dalam persamaan :

$$mf = Qf \times \rho \tag{3}$$

Dimana :

- Qf = Konsumsi Bahan Bakar Gas (Scf/h)
- ρ = Density (kg/liter)

Pembangkit berbahan bakar gas dengan kapasitas ±20 – 100 MW dikatakan memiliki efisiensi termal yang baik apabila berada diantara 30 – 46% [9].

H. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (*SFC*)

Konsumsi bahan bakar spesifik (*SFC*) yaitu suatu ukuran yang digunakan untuk mengetahui jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya dalam waktu tertentu. Pengukuran *SFC* dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut [9] :

$$SFC = \frac{Qf}{P} (scf/kWh) \tag{4}$$

Dimana :

- SFC = Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Gas (Scf/kWh)
- Q_f = Konsumsi Bahan Bakar Gas (Scf/h)
- P = Daya (kW)

III. METODOLOGI

A. Pengambilan Data Lapangan

Data penelitian yang diperoleh dari hasil observasi laporan, seperti variasi beban, nilai kalor bahan bakar, laju aliran bahan bakar, spesifikasi mesin dan spesifikasi generator pembangkit yang diteliti. Pengambilan data penelitian dilakukan pada mesin gas unit 7 hall 2 Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas Sumbagut-2 Peaker 250 MW PT. Sumberdaya Sewatama yang terletak di Jalan Pintu 1 Arun, Desa Meuriah Paloh, Kec. Muara Satu, Kota Lhokseumawe pada tanggal 28 – 29 April 2021.

TABEL I
Spesifikasi Mesin Gas Wärtsilä W18V50SG

Mesin Gas Wärtsilä	
Jenis Mesin	W18V50SG
Jumlah Silinder	18 (Konstruksi V)
Lubang Bor Silinder	500 mm
Langkah Piston	580 mm
Putaran	500 rpm (50 Hz)
Output Terpasang	4.000 – 18.434 (kW)
Efisiensi Termal	40 – 46 (%)
Generator	
Jenis Generator	ABB AMG 1600SS12 DSE
Voltase	11.000 V
Arus	1137 A
Faktor Daya	0,85

TABEL II
Data Kenaikan Beban Kelipatan 2 MW Pada Mesin Gas Unit 7

Nominal Output (MW)	Low Heat Value (MJ/kg)	Fuel Gas Mass Flow (kg/h)	Engine Speed (rpm)
4	50	820	501
6	50	1098	501
8	50	1375	500
10	50	1664	500
12	50	1937	500
14	50	2229	501
16	50	2536	501
18	50	2816	500

Tabel 3 adalah data aktual perubahan beban disertai dengan data laju aliran bahan bakar yang dipasok ke dalam mesin selama 24 jam.

TABEL III
Data Aktual Perubahan Beban dan Laju Aliran Bahan Bakar Dalam 24 Jam Pada Mesin Gas Unit 7

No	Waktu	Nominal Output (kW)	Fuel Gas Mass Flow (kg/h)
1	00:00	14.049	2249
2	01:00	14.095	2232
3	02:00	13.982	2228
4	03:00	13.888	2213
5	04:00	13.185	2117
6	05:00	13.863	2173
7	06:00	14.626	2342
8	07:00	14.310	2227
9	08:00	14.029	2202
10	09:00	15.798	2420
11	10:00	15.493	2457
12	11:00	13.949	2223
13	12:00	14.023	2240
14	13:00	13.925	2248
15	14:00	14.784	2307
16	15:00	14.113	2206
17	16:00	14.217	2248
18	17:00	13.392	2147
19	18:00	15.890	2493
20	19:00	16.273	2555
21	20:00	17.876	2766
22	21:00	16.092	2491
23	22:00	16.162	2522
24	23:00	14.062	2250
25	24:00	13.993	2230

B. Pengolahan Data

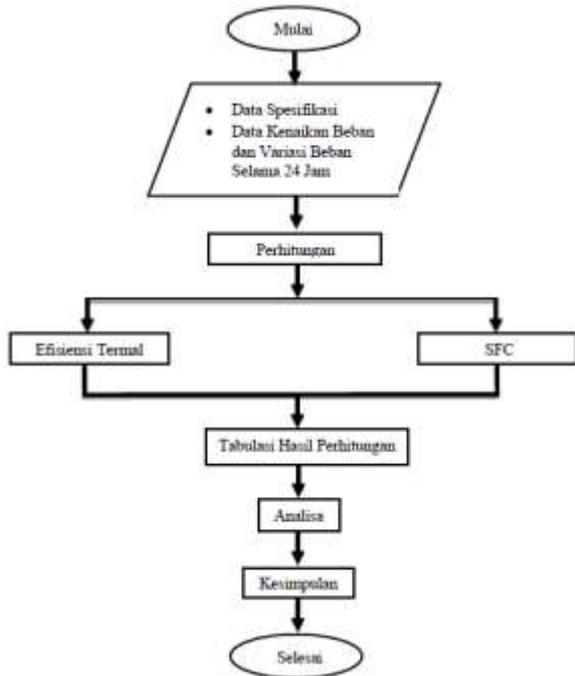
Metode ini digunakan setelah mendapatkan data yang dibutuhkan untuk melakukan analisis pada efisiensi termal mesin dan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap perubahan variasi beban yang dapat mempengaruhi kinerja mesin gas PLTMG.

C. Analisa Data

Prosedur analisa yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- 1) Menghitung efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar spesifik pembangkit.
- 2) Membandingkan data spesifikasi dan hasil perhitungan data aktual efisiensi termal.
- 3) Menganalisis pengaruh perubahan beban terhadap efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar spesifik Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas.

Untuk lebih jelasnya metode penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gbr 1. Flowchart Proses Perhitungan

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Efisiensi Termal

Berikut ini merupakan perhitungan efisiensi termal pada data aktual beban rendah dan beban puncak yang diambil tanggal 28 – 29 April 2021. Perhitungan dilakukan pada mesin unit 7 hall 2 Pembangkit Listrik tenaga Mesin Gas (PLTMG) Sumbagut-2 Peaker.

1) Efisiensi termal pada daya 4 MW (Beban Rendah)

$$\begin{aligned}
 P &= 4 \text{ MW} = 4000 \text{ kW} \\
 mf &= 820 \text{ kg/h} \\
 LHV &= 50 \text{ MJ/kg} = 50.000 \text{ kJ/kg} \\
 \eta_{th} &= \frac{P}{Q_{input}} \times 100\% \\
 Q_{input} &= mf \times LHV \\
 &= 820 \text{ kg/h} \times 50.000 \text{ kJ/kg} \\
 &= \frac{41.000.000 \text{ kJ/h}}{3600} \\
 &= 11.389 \text{ kJ/s} \\
 \eta_{th} &= \frac{4000 \text{ kW}}{11.389 \text{ kJ/s}} \times 100\% \\
 &= 35,12\%
 \end{aligned}$$

2) Efisiensi termal pada daya 18 MW (Beban Puncak)

$$\begin{aligned}
 P &= 18 \text{ MW} = 18.000 \text{ kW} \\
 mf &= 2816 \text{ kg/h} \\
 LHV &= 50 \text{ MJ/kg} = 50.000 \text{ kJ/kg} \\
 \eta_{th} &= \frac{P}{Q_{input}} \times 100\% \\
 Q_{input} &= mf \times LHV \\
 &= 2816 \text{ kg/h} \times 50.000 \text{ kJ/kg} \\
 &= \frac{140.800.000 \text{ kJ/h}}{3600} \\
 &= 39.111 \text{ kJ/s} \\
 \eta_{th} &= \frac{18.000 \text{ kW}}{39.111 \text{ kJ/s}} \times 100\% \\
 &= 46,02\%
 \end{aligned}$$

B. Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) data aktual beban rendah hingga beban puncak dilakukan pada mesin unit 7 hall 2 Pembangkit Listrik tenaga Mesin Gas (PLTMG) Sumbagut-2 Peaker.

1) Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) pada daya 4 MW (Beban Rendah)

$$\begin{aligned}
 \text{Daya (P)} &= 4 \text{ MW} = 4000 \text{ kW} \\
 \rho &= 0,0428 \text{ lbs/scf} = 0,0194 \text{ kg/scf} \\
 mf &= 820 \text{ kg/h} \\
 Qf &= \frac{mf}{\rho} \\
 &= \frac{820 \text{ kg/h}}{0,0194 \text{ kg/scf}} \\
 &= 42.268,04 \text{ scf/h} \\
 SFC &= \frac{Qf}{P} \\
 &= \frac{42.268,04 \text{ scf/h}}{4000 \text{ kW}} \\
 &= 10,567 \text{ scf/kWh}
 \end{aligned}$$

2) Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) pada daya 18 MW (Beban Puncak)

$$\begin{aligned}
 \text{Daya (P)} &= 18 \text{ MW} = 18.000 \text{ kW} \\
 \rho &= 0,0428 \text{ lbs/scf} = 0,0194 \text{ kg/scf} \\
 mf &= 2816 \text{ kg/h} \\
 Qf &= \frac{mf}{\rho} \\
 &= \frac{2816 \text{ kg/h}}{0,0194 \text{ kg/scf}} \\
 &= 145.154,64 \text{ scf/h} \\
 SFC &= \frac{Qf}{P}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{145.154,64 \text{ scf/h}}{18.000 \text{ kW}}$$

$$= 8,064 \text{ scf/kWh}$$

C. Perbandingan Data Spesifikasi dan Data Aktual

Setelah dilakukan proses analisa efisiensi termal pada data aktual maka diperoleh perbandingan antara beban rendah dan beban puncak pada data spesifikasi dan data aktual seperti pada tabel berikut :

TABEL IV
Perbandingan Data Spesifikasi dan Aktual Pada Beban Rendah

Uraian	Data Spesifikasi	Data Aktual
Nominal Output (MW)	4	4
Efisiensi Termal (%)	40	35,1

TABEL V
Perbandingan Data Spesifikasi dan Aktual Pada Beban Puncak

Uraian	Data Spesifikasi	Data Aktual
Nominal Output (MW)	18	18
Efisiensi Termal (%)	46	46

D. Analisa Perubahan Beban Terhadap Efisiensi Termal, Konsumsi Bahan Bakar Keseluruhan dan Spesifik (SFC)

Dengan menggunakan konsep perhitungan yang sama seperti pada perhitungan beban rendah dan beban puncak, maka akan diperoleh nilai efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) pembangkit pada data aktual kenaikan beban berturut-turut sebesar 2 MW saat prosedur penambahan beban yang dapat dilihat pada tabel 6.

TABEL VI
Efisiensi Termal dan SFC Pada Kenaikan Beban Kelipatan 2 MW

No	Nominal Output (MW)	Fuel Consumption (Qf) (scf/h)	Specific Fuel Consumption (SFC) (scf/kWh)	Efisiensi Termal (%)
1	4	42.268,04	10,567	35,12 %
2	6	56.597,94	9,433	39,34 %
3	8	70.876,29	8,859	41,89 %
4	10	85.773,20	8,577	43,27 %
5	12	99.845,36	8,320	44,60 %
6	14	114.896,91	8,207	45,22 %
7	16	130.721,65	8,170	45,43 %
8	18	145.154,64	8,064	46,02 %

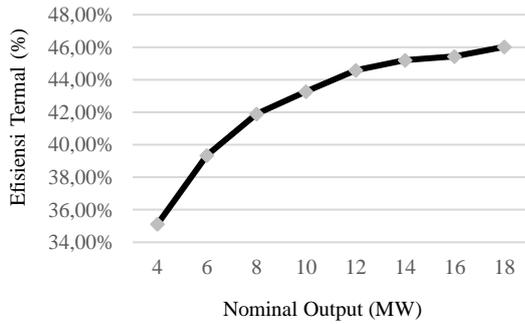
Hasil perhitungan efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) pada data aktual variasi beban selama 24 jam dapat dilihat pada tabel 7.

TABEL VII
Efisiensi Termal dan SFC Pada Posisi Perubahan Beban Selama 24 Jam

No	Waktu	Nominal Output (kW)	Fuel Consumption (Qf) (scf/h)	SFC (scf/kWh)	Efisiensi Termal (%)
1	00:00	14.049	115.932,99	8,252	44,97 %
2	01:00	14.095	115.046,39	8,162	45,47 %
3	02:00	13.982	114.850,51	8,214	45,18 %
4	03:00	13.888	114.072,16	8,214	45,18 %
5	04:00	13.185	109.113,40	8,275	44,85 %
6	05:00	13.863	112.010,31	8,080	45,93 %
7	06:00	14.626	120.721,65	8,254	44,96 %
8	07:00	14.310	114.793,81	8,022	46,26 %
9	08:00	14.029	113.505,15	8,091	45,87 %
10	09:00	15.798	127.835,05	8,092	45,86 %
11	10:00	15.493	126.649,48	8,174	45,40 %
12	11:00	13.949	114.587,63	8,214	45,18 %
13	12:00	14.023	115.463,92	8,234	45,07 %
14	13:00	13.925	115.876,29	8,321	44,60 %
15	14:00	14.784	118.917,52	8,044	46,14 %
16	15:00	14.113	113.711,34	8,057	46,06 %
17	16:00	14.217	115.876,29	8,150	45,53 %
18	17:00	13.392	110.670,10	8,264	44,91 %
19	18:00	15.890	128.505,15	8,087	45,89 %
20	19:00	16.273	131.701,03	8,093	45,86 %
21	20:00	17.876	142.577,32	7,976	46,53 %
22	21:00	16.092	128.402,06	7,979	46,51 %
23	22:00	16.162	130.000,00	8,043	46,14 %
24	23:00	14.062	115.979,38	8,247	44,99 %
25	24:00	13.993	114.948,45	8,214	45,18 %

E. Grafik Efisiensi Termal, Konsumsi Bahan Bakar Keseluruhan dan Spesifik (SFC) Terhadap Kenaikan Beban

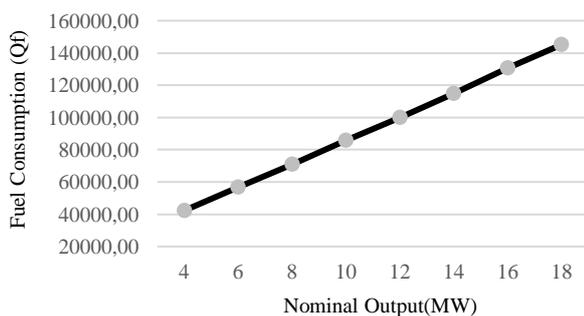
Grafik perhitungan efisiensi termal dengan pengaruh dari kenaikan beban berturut-turut sebesar 2 MW saat prosedur penambahan beban yang dapat dilihat pada gambar 2.



Gbr 2. Grafik Efisiensi Termal Pada Kenaikan Beban Kelipatan 2 MW

Dapat dilihat pada gambar 2 terjadinya peningkatan efisiensi termal selaras dengan kenaikan beban yang terjadi. Saat beban berada dalam posisi terendah yaitu sebesar 4 MW efisiensi termal yang dihasilkan terhitung sebesar 35,12%, nilai aktual ini berada sedikit dibawah standar spesifikasi tetapi masih dikategorikan baik. Sedangkan pada posisi beban puncak sebesar 18 MW efisiensi termal yang dihasilkan terhitung sebesar 46,02%, hal ini menjadikan efisiensi termal pada data aktual beban puncak sesuai dengan spesifikasi pada mesin gas. Dengan demikian diketahui bahwa kenaikan beban akan berpengaruh terhadap efisiensi termal dimana semakin besar daya yang dibangkitkan maka akan semakin efisien kinerja dari mesin tersebut.

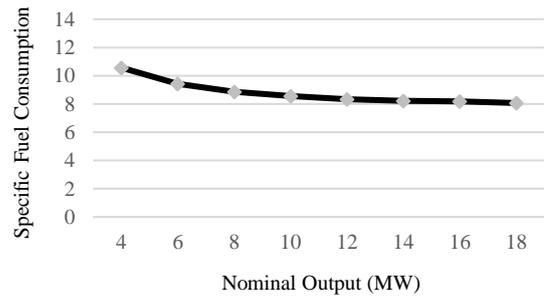
Kemudian grafik perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Keseluruhan (Qf) dengan pengaruh dari kenaikan beban berturut-turut sebesar 2 MW dapat dilihat pada gambar berikut :



Gbr 3.Grafik Qf Pada Kenaikan Beban Kelipatan 2 MW

Grafik konsumsi bahan bakar Qf memperlihatkan bahan bakar gas yang dibutuhkan mesin pembangkit akan terus meningkat sesuai dengan kenaikan daya yang dibutuhkan. Pada perhitungan data aktual, kenaikan daya dari beban rendah (*Base Load*) 4 MW secara berturut-turut hingga mencapai beban puncak (*Peak Load*) 18 MW dapat meningkatkan penggunaan bahan bakar dari 42.268,04 scf/h menjadi 145.154,64 scf/h. Maka dapat dikatakan bahwa semakin besar daya yang dibangkitkan mesin pembangkit maka akan semakin besar penggunaan bahan bakar, akan tetapi terdapat perbedaan jika melihat lebih spesifik penggunaan bahan

bakar untuk membangkitkan daya 1 kW (SFC) yang dapat dilihat pada grafik berikut ini :



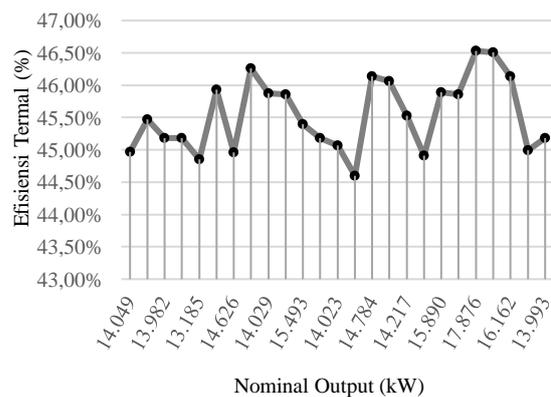
Gbr 4.Grafik SFC Pada Kenaikan Beban Kelipatan 2 MW

Pada grafik diatas terjadi penurunan nilai konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) akibat pengaruh dari kenaikan beban. Dapat dilihat pada saat beban dalam posisi terendah sebesar 4 MW, bahan bakar yang dikonsumsi untuk membangkitkan daya 1 kW akan semakin banyak yaitu sebesar 10,567 scf per-jam. Dalam posisi beban puncak 18 MW, bahan bakar yang dikonsumsi untuk membangkitkan daya 1 kW berkurang menjadi 8,064 scf per-jam. Dalam proses kenaikan beban dari rendah ke puncak, konsumsi bahan bakar spesifik terus menurun, hal ini menyebabkan semakin besar daya yang dibangkitkan maka semakin sedikit pula konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan untuk membangkitkan daya 1 kW.

Meskipun secara keseluruhan penggunaan bahan bakar terus meningkat, namun faktanya dilihat secara spesifik dari hasil perhitungan bahan bakar yang dibutuhkan per-kilowatt daya semakin sedikit seiring dengan kenaikan beban yang terjadi menyebabkan konsumsi bahan bakar secara tidak langsung menjadi lebih hemat.

F. Grafik Efisiensi Termal dan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) Terhadap Perubahan Beban 24 Jam

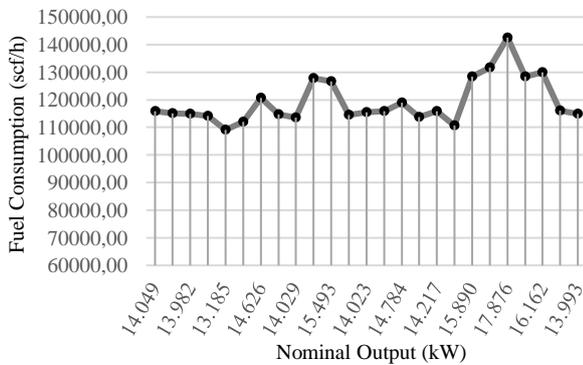
Berdasarkan perhitungan efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) pada data aktual perubahan beban selama 24 jam, maka didapatkan hasil sebagai berikut :



Gbr 5.Grafik Efisiensi Termal Pada Perubahan Beban 24 Jam

Dapat dilihat bahwa terjadinya perubahan efisiensi termal yang bervariasi mengikuti besarnya beban. Secara umum hasil efisiensi termal yang didapatkan akan meningkat seiring dengan penambahan beban yang terjadi. Efisiensi termal terendah didapatkan pada beban 13.925 kW pukul 13:00 sebesar 44,60% dan efisiensi termal terbesar didapatkan pada beban 17.876 kW pukul 20:00 sebesar 46,53%.

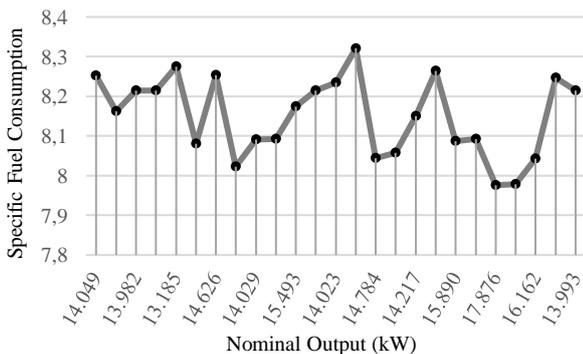
Untuk grafik konsumsi bahan bakar keseluruhan (Qf) terhadap perubahan beban 24 jam dapat dilihat pada gambar 6.



Gbr 6. Grafik Qf Pada Perubahan Beban Selama 24 Jam

Konsumsi bahan bakar mesin gas secara keseluruhan mengalami peningkatan dan penurunan mengikuti variasi beban selama 24 jam. Pada grafik diatas menunjukkan penggunaan bahan bakar terendah senilai 109.113,40 scf/h terjadi pada beban 13.185 kW pukul 04:00 dan penggunaan tertinggi senilai 142.577,32 scf/h terjadi pada beban 17.876 kW pukul 20:00.

Penggunaan bahan bakar secara keseluruhan ini berhubungan langsung dengan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) dimana dengan mengetahui seberapa besar kebutuhan bahan bakar mesin untuk dapat membangkitkan variasi daya maka dapat dihitung pula jumlah bahan bakar yang diperlukan mesin untuk membangkitkan 1 kW daya. Kemudian hasil dari perhitungan SFC selama 24 jam dapat digunakan untuk mengetahui seberapa hemat atau boros mesin dalam memasok bahan bakar. Grafik konsumsi bahan bakar spesifik mesin (SFC) dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gbr 7. Grafik SFC Pada Perubahan Beban Selama 24 Jam

Dari perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik dengan melihat laju aliran gas pada setiap variasi beban yang terjadi, didapatkanlah hasil seperti pada gambar 4.6 dimana terjadinya penurunan konsumsi bahan bakar untuk membangkitkan daya 1 kW per jam pada saat beban naik dan kenaikan konsumsi bahan bakar untuk membangkitkan daya 1 kW per jam pada saat beban turun. Akan tetapi hal tersebut tidak selalu terjadi secara teratur dikarenakan besaran variasi beban tidak terlalu signifikan oleh dampak dari besarnya nilai laju aliran gas yang masuk. Pada grafik data 24 jam, konsumsi bahan bakar spesifik tertinggi berada pada beban 13.925 kW pukul 13:00 dengan jumlah 8,321 scf/kWh sedangkan yang terendah berada pada beban 17.876 kW pukul 20:00 dengan jumlah 7,976 scf/kWh.

V. KESIMPULAN

Hasil analisa perhitungan dari data-data yang didapat, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Besaran daya sangat berpengaruh pada efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar spesifik pembangkit. Dalam kasus ini, semakin besar daya yang dibangkitkan maka akan semakin efisien kinerja dari mesin begitu pula sebaliknya. Pada data kenaikan beban dengan kelipatan 2 MW terlihat bahwa saat beban rendah yaitu 4 MW, efisiensi termal berada diangka 35,12% dibawah standar spesifikasi tetapi masih dalam nilai toleransi. Sedangkan pada posisi beban puncak sebesar 18 MW efisiensi termal yang dihasilkan terhitung sebesar 46,02% menyamai nilai spesifikasi.
2. Pada data pembebanan 24 jam, nilai efisiensi termal tertinggi berada pada daya 17.876 kW pukul 20:00 sebesar 46,53% dan terendah pada daya 13.925 kW pukul 13:00 sebesar 44,60%.
3. Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) juga sangat dipengaruhi oleh perubahan daya dimana dalam kasus ini semakin besar beban maka semakin sedikit bahan bakar yang dikonsumsi untuk membangkitkan 1 kW daya perjam dan sebaliknya. Hal ini menjelaskan bahwa dengan membangkitkan daya lebih besar maka jumlah pengeluaran bahan bakar pun tidak terlalu massif.
4. Pada data kenaikan beban kelipatan 2 MW, beban rendah 4 MW mengonsumsi bahan bakar gas secara keseluruhan sebesar 42.268,04 scf/kWh dan beban puncak 18 MW mengonsumsi bahan bakar gas secara keseluruhan sebesar 145.154,64 scf/kWh, dalam hal ini terlihat bahwa penggunaan bahan bakar secara keseluruhannya meningkat seiring kenaikan beban tetapi penggunaan per-kilowatt menurun, pada perhitungan didapatkan nilai

bahan bakar yang dibutuhkan untuk membangkitkan 1 kW daya pada beban rendah 4 MW yaitu sebesar 10,567 scf/kWh, jumlah ini lebih besar dibandingkan beban puncak 18 MW yang hanya membutuhkan 8,064 scf/kWh bahan bakar gas.

5. Pada data aktual 24 jam, SFC tertinggi terjadi pada daya 13.925 kW sebesar 8,321 scf/kWh dan terendah pada daya 17.876 kW sebesar 7,976 scf/kWh dengan konsumsi bahan bakar gas keseluruhan pada mesin unit 7 sebesar 115.876,29 scf/kWh pada beban 13.925 kW dan 142.577,32 scf/kWh pada beban 17.876 kW.

REFERENSI

- [1] Wideskog, Mikael. 2011. **Introducing The World's Largest Gas Engine**. Finlandia: Wärtsilä Power Plants Technology.
- [2] Budianto, Napianus, dkk, 2018. **Analisa Pengaruh Laju Kalor Terhadap Efisiensi Termal PLTU Sintang (3x7 MW)**. Pontianak: Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- [3] Ahmadyaningrat, Alda, dkk. **Optimasi Efisiensi PLTG Pada Kondisi Keterbatasan Bahan Bakar**. Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta. 2012.
- [4] Ibadurrahman, M. Furqon. 2019. **Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Pembangkitan (Studi Kasus Pada PLTG Sicanang)**. Medan: Departemen Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara.
- [5] Danurachmanto, Rizky. 2014. **Termodinamika**. Surakarta: Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret.
- [6] Anonim. 2020. **Buku Panduan Pengoperasian Pembangkit Listrik Sumbagut 2 Peaker Power Plant 250 MW P/1702**. PT. Sumberdaya Sewatama ID Dokumen : DBAF456130
- [7] Darmawansyah. 2015. **Pengaruh Pembebanan Dan Putaran Mesin Terhadap Torsi Dan Daya Yang Dihasilkan Mesin Matari MGX200/SL**. Pontianak: Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Pontianak.
- [8] Cengel, Yunus A., Michael A.Boles. 2002. **Thermodynamics An Engineering Approach**. New York: McGraw-Hill.
- [9] Gusnita, Novi, Bayu Prima. **Analisa Teknis dan Ekonomis Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar PLTMG terhadap PLTG di Pusat Listrik Balai Pungut**. Jurnal Sains Teknologi dan Industri Vol. 15 No. 1, pp. 15-27. 2017.