

OPTIMASI EFISIENSI PLTG PADA KONDISI KETERBATASAN BAHAN BAKAR

Alda Ahmadyaningrat¹; Fachruddin; Arifia Ekayuliana

Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,
Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425

¹aahmadyaningrat@gmail.com

Abstrak

Pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) merupakan pembangkit listrik yang mempunyai fleksibilitas sehingga dapat menggunakan bahan bakar jenis gas dan bahan bakar minyak. Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik sering kali terjadi perubahan permintaan beban baik itu full load maupun based load, untuk memenuhi permintaan tersebut suatu pembangkit harus tetap siap dalam ketersediaan bahan bakar. Saat permintaan full load oleh P2B (Pusat Pengatur Beban) dan suplai bahan bakar gas tidak mencukupi untuk mengoperasikan PLTG, maka dibutuhkan High Speed Diesel (HSD) sebagai bahan bakar tambahan. Permasalahan yang terjadi pada PLTG tidak hanya terbatas pada efisiensi thermal saja, melainkan juga pada biaya pembangkit yang efisien. Penelitian ini bertujuan untuk meminimalkan biaya operasi pembangkit atau fuel cost yang dilakukan dengan beban yang sama pada tiap unit. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah mencari variasi pola pembebanan pada PLTG Priok blok 1 unit 1.1, 1.2 dan 1.3 yang terbaik. Selanjutnya, dari pola pembebanan tersebut dihitung nilai heat rate, specific fuel consumption (SFC) dan efisiensi thermal berdasarkan ASTM PTC-22 Tahun 2005, selanjutnya dilakukan perhitungan biaya operasi (cost/kWh). Data-data operasi dan data spesifik turbin gas untuk analisa diambil dari suatu perusahaan pembangkit tenaga listrik yang dijadikan objek penelitian. Hasil penelitian ini menunjukkan performa pembangkit yang baik. Biaya operasi yang dapat dihemat PLTG blok 1 Priok pada saat kondisi keterbatasan bahan bakar dengan penggunaan dua jenis bahan bakar (HSD dan Gas), pada beban 360 MW dengan pola beban 123 MW - 115 MW - 122 MW, 330 MW dengan pola beban 115 MW - 100 MW - 115 MW, 300 MW dengan pola beban 90 MW - 120 MW - 90 MW, dan didapatkan penghematan biaya setiap jamnya sebesar Rp. 9.149.387, Rp. 11.879.814, dan Rp 7.141.120. Sedangkan biaya operasi yang dapat dihemat dengan penggunaan bahan bakar full gas yaitu pada beban 360 MW dengan pola beban 123 MW - 115 MW - 122 MW, 330 MW dengan pola beban 110 MW - 120 MW - 100 MW, 300 MW dengan pola beban 90 MW - 100 MW - 90 MW, dan didapatkan penghematan biaya setiap jam-nya sebesar Rp. 4.045.499, Rp. 7.713.610, dan Rp. 25.132.922.

Kata kunci: bahan bakar, biaya operasi, efisiensi, pola beban, SFC

Abstract

Gas turbine power plant (PLTG) is one of the power plant that has a flexibility in used. It can use the gas fuel and/or oil fuel for operation. During operation of electric power systems, there is often a change in load demand, whether it is full load or based load. Moreover, to address this fluctuating demand the power plant have to maintain the fuel availability. When the full load demand by P2B (Load Control Center) and gas fuel supply is insufficient to operate the PLTG, it needs High Speed Diesel (HSD) as additional fuel. The problems that occur in the PLTG are not only limited to thermal efficiency, but also at the cost of efficient generators. This study aimed to minimize plant operating costs or fuel costs with the same load on each unit. The method used in this research was to find the best variation of loading pattern in PLTG Priok block 1 unit 1.1, 1.2 and 1.3. Furthermore, the heat rate value, Specific Fuel Consumption (SFC) and thermal efficiency were calculated based on ASTM PTC-22 2005, then performed the calculation of operating costs (cost / kWh). Operation data and gas turbine specific data for analysis were taken from a power generating company which was the object of research. Operation cost that can be saved by PLTG block 1 Priok with the use of two types of fuel (HSD and Gas), at 360 MW with load pattern of 123 MW - 115 MW - 122 MW, 330 MW with load pattern 115 MW - 100 MW - 115 MW, and 300 MW with a load pattern of 90 MW - 120 MW - 90 MW, were obtained cost savings per hour Rp. 9.149.387, Rp. 11.879.814, and Rp 7.141.120, respectively. Meanwhile, the operating costs that can be saved of full gas fuel at 360 MW with load pattern of 123 MW - 115 MW - 122 MW, 330 MW with load pattern of 110 MW - 120 MW - 100 MW, and 300 MW with 90 MW - 100 MW - 90 MW, were obtained cost savings per hour of Rp. 4.045.499, Rp. 7.713.610, and Rp. 25.132.922. These results indicated a good plant performance.

Keywords: fuel, operating cost, efficiency, load pattern, SFC

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit listrik gas dan uap (PLTGU) merupakan pembangkit listrik termal yang memiliki kapasitas daya besar dan dioperasikan sebagai pembangkit untuk beban dasar maupun beban puncak. PLTGU bekerja berdasarkan akumulasi dari Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), gas buang dari turbin gas digunakan sebagai sumber energi turbin uap [1]. Permintaan perubahan beban pada PLTGU sering kali terjadi dan diatur oleh PT PLN (Persero) Pusat Pengaturan Beban (P2B). Dalam merespon perubahan beban yang terjadi, maka secara otomatis suplai bahan bakar, udara pembakaran, serta gas buang yang digunakan untuk pembentukan uap ikut berubah pula. Sebagaimana kita ketahui bahwa masing-masing unit pembangkit mempunyai efisiensi yang berbeda. Satu unit pada beban 80% bisa saja lebih efisien dari pada unit lainnya pada beban yang sama, sehingga pembebanan secara merata saja belum tentu menghasilkan efisiensi optimal [2].

PLTGU Priok menggunakan dua jenis bahan bakar yaitu bahan bakar gas sebagai bahan bakar utama dan untuk bahan bakar tambahan menggunakan *High Speed Diesel* (HSD). Bahan bakar gas yang dipergunakan untuk mengoperasikan pembangkit disuplai dari PT Nusantara Regas (NR) dan PT Perusahaan Gas Negara (PGN). Saat permintaan *full load* oleh P2B dan suplai bahan bakar gas tidak mencukupi untuk mengoperasikan PLTG, maka dibutuhkan HSD sebagai bahan bakar tambahan. Untuk bisa mengoptimalkan pembebanan dari P2B, maka pembangkit harus menawarkan *Heat Rate* yang lebih baik atau efisiensi yang lebih baik. Optimasi suatu pembangkit tidak hanya dapat dilakukan dengan meminimalkan pembebanan pada pembangkitan tetapi dapat juga dilakukan meminimalisasi biaya operasi atau *fuel cost*.

Penelitian tentang optimasi pada pembangkit tenaga listrik yang dilakukan oleh Marno Siswanto yaitu dengan cara pendekatan *Least Square Parabolic Approach* dan karakteristik yang didapatnya diminimalisasi dengan metode Lagrange Multiplier [3] Risna Adit Setiawan mencari pembagian beban yang mengeluarkan biaya bahan bakar paling minimum dengan menggunakan metode *Dynamic Programming* [4] Nevy Ervinia Sari dilakukan dengan cara mengembangkan model *Fuzzy Goal Programming* untuk manajemen penggunaan bahan bakar agar beban yang diproduksi sesuai dengan target dengan biaya yang minimal [5]. Sedangkan yang dilakukan pada skripsi ini adalah melakukan perhitungan nilai *heat rate*, *Specific Fuel Consumption* (SFC) dan efisiensi *thermal* didasarkan pada ASTM PTC-22 Tahun 2005, serta melakukan analisa grafik hasil perhitungan efisiensi terhadap *cost/kWh*. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan bahan bakar dengan pembagian beban pada unit pembangkit sehingga diperoleh efisiensi pembangkitan yang maksimal dengan biaya pengoperasian unit pembangkit yang minimal.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh beban operasi terhadap konsumsi spesifik bahan bakar, *heat rate* dan efisiensi *thermal* PLTG.
2. Mengetahui variasi pola pembebanan yang efektif dan efisien pada PLTG.
3. Mengetahui prakiraan biaya penghematan bahan bakar HSD dan gas serta bahan bakar *full gas*.

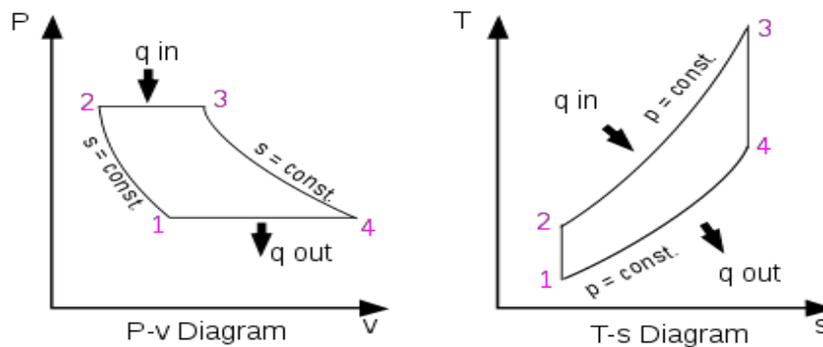
II. METODE PENELITIAN

Biaya operasi suatu pembangkit khususnya biaya bahan bakar adalah biaya yang terbesar dari suatu perusahaan listrik sehingga perlu digunakan teknik-teknik untuk menekan biaya ini. Teknik-teknik optimasi yang dilakukan antara lain, melakukan perhitungan efisiensi, *specific fuel consumption* dan *heat rate*, serta pemeliharaan yang dilakukan secara periodik. Sehingga unit pembangkit dapat beroperasi dengan efisien dan dapat memenuhi kebutuhan listrik konsumen. Sebelum melakukan perhitungan, dilakukan studi literatur permasalahan yang terjadi pada pembangkit, selanjutnya melakukan pengumpulan data pengoperasian turbin gas blok 1 UPJP Priok yaitu pada bulan Maret s/d April 2018. Setelah melakukan pengumpulan data, barulah

mencari variasi pola pembebanan pada PLTG Priok blok 1 GT 1.1, GT 1.2, GT 1.3 yang terbaik, dengan menentukan beberapa pola beban untuk setiap penggunaan bahan bakar, pada beban 360 MW digunakan 3 pola beban sedangkan pada beban 330 MW dan 360 MW digunakan 6 pola beban. Penentuan pola pembebanan ini dilakukan pada dua kondisi yaitu pada saat penggunaan dua jenis bahan bakar (HSD dan Gas) dan pada saat PLTG menggunakan bahan bakar gas saja. Selanjutnya dari pola pembebanan tersebut dihitung nilai *heat rate*, *Specific Fuel Consumption* (SFC) dan efisiensi *thermal* berdasarkan pada ASTM PTC-22 Tahun 2005, selanjutnya dilakukan perhitungan biaya operasi (cost/kWh). Data-data operasi dan data spesifik turbin gas untuk analisa diambil dari suatu perusahaan pembangkit tenaga listrik yang dijadikan objek penelitian. Berikut ini beberapa parameter yang digunakan dalam memperhitungkan performa turbin gas antara lain:

2.1 Siklus Brayton

Siklus ideal untuk kerja turbin gas adalah siklus brayton. Siklus ini terdiri atas dua proses adiabatik maupun balik menjadi isentropik dan dua proses tekanan tetap. Udara atmosfer dikompresikan oleh kompresor sehingga terjadi perubahan tekanan dari P_1 ke P_2 dan kemudian mengalirkannya ke ruang bakar dimana di dalamnya di injeksikan bahan bakar sehingga dengan adanya suhu dan tekanan ruang bakar maka terjadilah pembakaran. Pembakaran terjadi pada tekanan konstan P_2 sistem pada pembangkit turbin gas yang sesuai dengan siklus brayton dapat dilihat pada gambar dibawah ini [6].



Gambar 2.1 P-v Diagram dan T-s Diagram[7]

Rumus dibawah didapatkan dari *e-book* M. P. Boyce, 2012 [7]

Proses 1-2, Kompresi isentropik pada kompresor.

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{(k-1)}{k}} \quad [1]$$

Proses 2-3, Pembakaran isobarik,

$$h_3 = C_p \times T_3 \quad [2]$$

Persamaan untuk menghitung panas masuk ruang bakar (Q_{in})

$$Q_{in} = LHV \left[\frac{kJ}{kg}\right] \times m_{bb} \left[\frac{kg}{s}\right] \quad [3]$$

Proses 3-4, Ekspansi isentropik didalam turbin,

Persamaan untuk menghitung temperatur keluar turbin

$$T_4 = T_3 \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{(k-1)}{k}} \quad [4]$$

Persamaan untuk menghitung kerja turbin (W_t)

$$W_t = (m_u + m_{bb}) \left[\frac{kg}{s}\right] \times (h_3 - h_4) \left[\frac{kJ}{kg}\right] \quad [5]$$

2.2 Kerja Kompresor dan Kerja Turbin

Kerja kompresor persatuan massa dapat dinyatakan dengan rumus dibawah, dimana m adalah laju aliran massa [8].

$$W_k = m_u \left[\frac{kg}{s} \right] \times (h_2 - h_1) \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad [6]$$

Kerja bersih dari turbin gas tersebut merupakan selisih antara kerja turbin (persamaan 2.6) dan kerja kompresor. Dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut [8]:

$$W_{netto} = W_t - W_k \quad [7]$$

2.3 Efisiensi Termal

Efisiensi adalah usaha yang dihasilkan dibagi usaha yang diperlukan atau daya yang didapat dibagi daya yang telah dikeluarkan. Efisiensi termal pembangkit tenaga listrik, energi listrik yang dihasilkan dibagi jumlah bahan bakar yang digunakan [8].

$$\eta_{th} = \frac{W_{netto} \left[\frac{kJ}{s} \right]}{Q_{in} \left[\frac{kJ}{s} \right]} \times 100\% \quad [8]$$

2.4 Specific Fuel Consumption (SFC)

Specific Fuel Consumption (SFC) merupakan rasio perbandingan total konsumsi bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan listrik satu satuan daya dalam satu satuan waktu (kg/kWh), biasanya digunakan sebagai salah satu cara untuk mengetahui seberapa efisien sebuah pembangkit listrik untuk memprediksi nilai kalor bahan bakar yang digunakan untuk pembakaran [9].

$$SFC = \frac{m_{bb} \left[\frac{kg}{s} \right]}{W_{netto} \left[\frac{kJ}{s} \right]} \quad [9]$$

2.5 Heat Rate

Heat rate merupakan jumlah kalor bahan bakar yang dihitung berdasarkan Low Heating Value (LHV) untuk menghasilkan listrik 1 kWh. Heat rate turbin gas dapat ditentukan dengan persamaan berikut [8]:

$$HR = SFC \left[\frac{kg}{kWh} \right] \times LHV \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad [10]$$

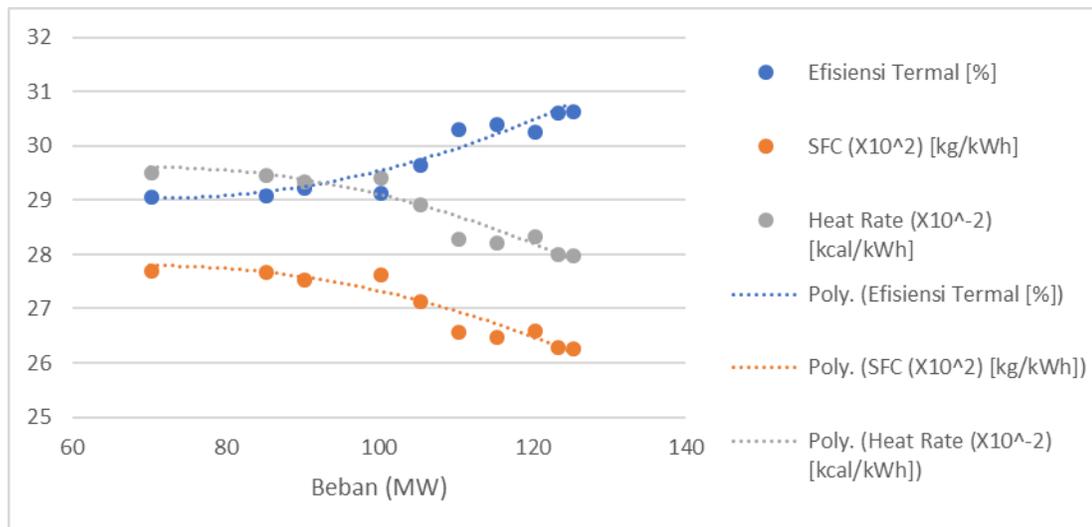
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Performa Turbin Gas

Berdasarkan hasil perhitungan data aktual PLTG Priok Blok 1 GT 1.1, didapatkan nilai efisiensi termal, *specific fuel consumption* (sfc) dan *heat rate* pada masing-masing beban.

Tabel 3.1 Efisiensi Termal, SFC dan *Heat Rate* pada masing-masing beban

Load (MW)	Efisiensi Termal (%)	SFC (kg/kWh)	Heat Rate (kcal/kWh)
70	29,09318	0,27744	2955,48747
85	29,13290	0,27707	2951,45762
90	29,26921	0,27578	2937,71281
100	29,18206	0,27660	2946,48547
105	29,69766	0,27180	2895,33011
110	30,34067	0,26604	2833,96909
115	30,43746	0,26519	2824,95757
120	30,30683	0,26633	2837,13335
123	30,66617	0,26321	2803,88845
125	30,67926	0,26310	2802,69218



Gambar 3.1 Grafik pengaruh beban terhadap Efisiensi Termal, SFC dan *Heat Rate*

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik harus selalu diusahakan agar daya yang dibangkitkan sama dengan permintaan daya pada sistem. Perubahan permintaan daya pada sistem tenaga listrik didasari oleh rutinitas dan perilaku konsumen yang umumnya selalu berulang sehingga akan berpengaruh langsung terhadap konsumsi tenaga listrik. Oleh karenanya, besar kecilnya beban serta perubahannya tergantung kepada kebutuhan para konsumen akan tenaga listrik.

Besarnya nilai efisiensi termal dipengaruhi oleh panas masuk dan panas keluar yang dilihat pada T-s *diagram* siklus brayton. Berdasarkan *trendline* grafik diatas, terlihat bahwa semakin bertambahnya beban atau daya yang dibangkitkan oleh generator sinkron maka semakin tinggi efisiensi termal. Hal tersebut

dipengaruhi oleh laju aliran massa karena pada beban yang lebih tinggi bukaan *inlet guide vane* semakin besar sehingga rasio kompresi udara juga semakin tinggi. Sesuai dengan diagram siklus brayton, semakin tinggi rasio kompresi maka nilai kerja dari turbin dan kompresor juga semakin besar. Sehingga energi input yang dibutuhkan untuk memutar turbin gas makin optimal.

Berbeda dengan efisiensi termal, konsumsi spesifik bahan bakar akan semakin rendah seiring dengan bertambahnya beban yang dibangkitkan. Terlihat pada grafik, spesifik konsumsi bahan bakar terbaik berada pada beban puncak 125 MW yaitu 0,26310 kg/kWh. Artinya, semakin tinggi beban yang dibangkitkan maka energi input yang dibutuhkan akan semakin optimal. Sehingga penggunaan bahan bakar untuk setiap kWh nya semakin sedikit.

Sama halnya dengan konsumsi spesifik bahan bakar, jumlah kalor dari bahan bakar yang ditambahkan untuk menghasilkan listrik sebesar 1 kWh akan semakin menurun setiap penambahan beban operasi. *Heat rate* bahan bakar terbaik berada pada beban puncak 125 MW yaitu 2802,69218 kcal/kWh. *Heat rate* berbanding terbalik dengan efisiensi termal, artinya semakin rendah maka akan semakin baik.

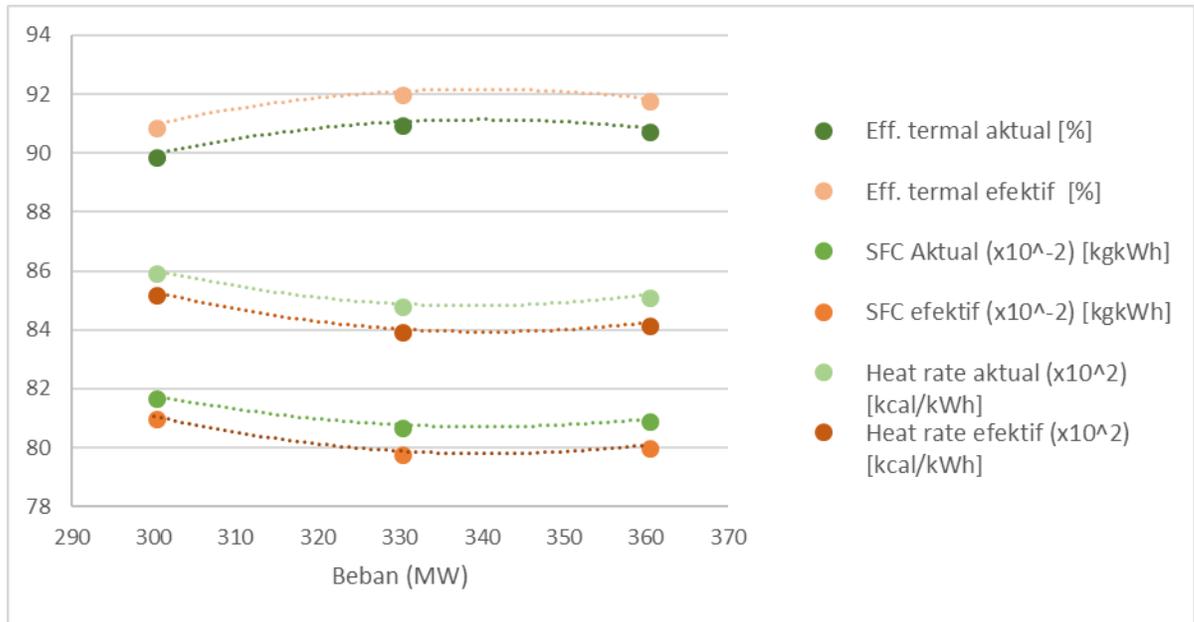
3.2 Analisis Pengaruh Penambahan Beban Operasi Terhadap Efisiensi *Thermal*, SFC dan *Heat Rate*

Tabel 3.2 Pola pembebanan efektif

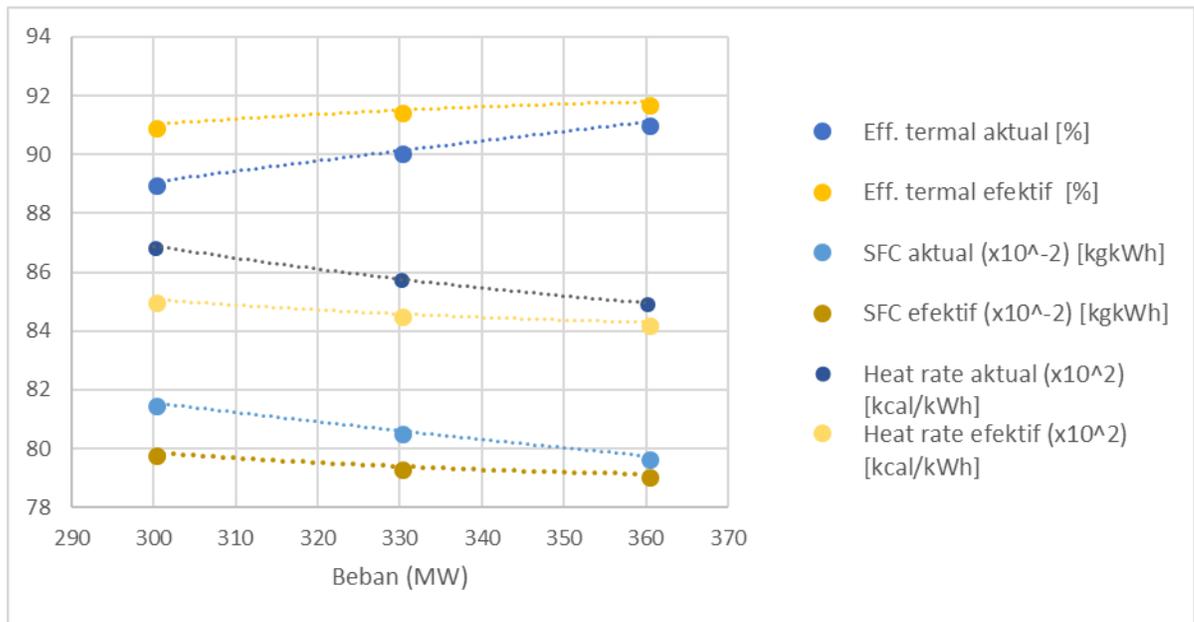
Total Pembebanan	Pola Pembebanan Efektif (HSD – Gas)			Pola Pembebanan Efektif (Full Gas)		
	GT 1.1	GT 1.2	GT 1.3	GT 1.1	GT 1.2	GT 1.3
360 MW	123	115	122	123	115	122
330 MW	115	100	115	110	120	100
300 MW	90	120	90	78	125	78

Tabel 3.3 Perbandingan keluaran aktual efisiensi *thermal*, SFC dan *heat rate* dengan hasil optimalisasi

Parameter	Unit	Bahan Bakar HSD & Gas			Bahan Bakar <i>Full Gas</i>		
		360 MW	330 MW	300 MW	360 MW	330 MW	300 MW
<i>Eff thermal</i> aktual	%	90,848	91,066	89,978	91,106	90,127	89,078
<i>Eff thermal</i> efektif		91,853	92,099	90,769	91,795	91,507	91,027
Selisih <i>eff. thermal</i>		1,0056	1,0327	0,7904	0,6889	1,3796442	1,94902084
SFC aktual	kg/kWh	0,80980	0,80780	0,81776	0,79759	0,80608	0,81568
SFC efektif		0,80092	0,79889	0,81079	0,79140	0,79399	0,79858
Selisih SFC		0,00888	0,00893	0,00696	0,00618	0,01209	0,01709
<i>Heat rate</i> aktual	kcal/kWh	8519,603	8488,487	8604,022	8496,341	8576,847	8689,063
<i>Heat rate</i> efektif		8425,146	8403,038	8530,223	8430,495	8506,959	8506,959
Selisih <i>Heat rate</i>		94,458	85,449	73,798	65,845	118,815	182,103



Gambar 3.2 Grafik Efisiensi Termal, SFC, *Heat Rate* dengan bahan bakar HSD & Gas terhadap beban sebelum dan setelah optimasi



Gambar 3.3 Grafik Efisiensi Termal, SFC, *Heat Rate* dengan bahan bakar Full Gas terhadap beban sebelum dan setelah optimasi

Berdasarkan hasil perhitungan dan penentuan pola pembebanan pada beban 360 MW digunakan 3 pola beban serta pada beban 330 MW dan 360 MW digunakan 6 pola beban, didapatkan hasil pola operasi paling efektif dan efisien (tabel 3.2) pada saat kondisi keterbatasan bahan bakar dengan penggunaan dua jenis bahan bakar (HSD dan Gas), yaitu pada beban 360 MW dengan pola beban 123 MW - 115 MW - 122 MW,

330 MW dengan pola beban 115 MW - 100 MW - 115 MW, 300 MW dengan pola beban 90 MW - 120 MW - 90 MW. Pada kondisi penggunaan bahan bakar full gas didapatkan pola beban paling efisien dan efektif yaitu pada beban 360 MW dengan pola beban 123 MW - 115 MW - 122 MW, 330 MW dengan pola beban 110 MW - 120 MW - 100 MW dan pada beban 300 MW dengan pola beban 90 MW - 100 MW - 90 MW.

Pada grafik diatas, menunjukkan nilai efektifitas dari beban operasi pembangkit yang didasarkan dari pola pembebanan pada tabel 3.2. Grafik 3.2 terlihat bahwa pada beban 360 MW dengan penggunaan dua jenis bahan bakar yaitu HSD dan Gas, efisiensi termal aktual sebesar 90,848 % setelah dilakukan optimalisasi dengan pembagian pola beban pada GT 1.1, GT 1.2 dan GT 1.3 didapatkan efisiensi termal yang lebih tinggi yaitu 91,853 %. Sehingga efisiensi termal yang ditingkatkan yaitu 1,0056 %. Dari peningkatan efisiensi termal tersebut, pembangkit dapat menurunkan jumlah spesifik konsumsi bahan bakar dari 0,80980 kg/kWh menjadi 0,80092 kg/kWh dan menurunkan jumlah *heat rate* bahan bakar dari 8519,603 kcal/kWh menjadi 8425,146 kcal/kWh.

Sedangkan *trendline* yang ditunjukkan grafik 3.3, pada beban 360 MW dengan penggunaan bahan bakar *full gas*, efisiensi termal aktual sebesar 91,106 % setelah dilakukan optimalisasi dengan pembagian pola beban pada GT 1.1, GT 1.2 dan GT 1.3 didapatkan efisiensi termal yang lebih tinggi yaitu 91,798 %. Sehingga efisiensi termal yang ditingkatkan yaitu 0,6889 %. Dari peningkatan efisiensi termal tersebut, pembangkit dapat menurunkan jumlah spesifik konsumsi bahan bakar dari 0,79759 kg/kWh menjadi 0,79140 kg/kWh dan menurunkan jumlah *heat rate* bahan bakar dari 8496,341 kcal/kWh menjadi 8430,495 kcal/kWh.

3.3 Efisiensi Biaya Operasi Pembangkit

Dengan melakukan perhitungan pada beberapa variasi pola pembebanan, hasil perhitungan biaya bahan bakar setiap jamnya pada beban puncak hingga beban rendah ditampilkan pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Efisiensi *fuel cost* pembangkit

Beban (MW)	HSD dan Gas			Full Gas		
	<i>Fuel cost</i> aktual (Rp./jam)	Penurunan <i>fuel cost</i> (Rp./jam)	Penghematan <i>fuel cost</i> (Rp./jam)	<i>Fuel cost</i> aktual (Rp./jam)	Penurunan <i>fuel cost</i> (Rp./jam)	Penghematan <i>fuel cost</i> (Rp./jam)
360	606.429.025	597.279.638	9.149.387	526.408.454	522.362.955	4.045.499
330	554.797.352	542.917.537	11.879.814	487.681.282	479.967.672	7.713.610
300	525.421.237	518.280.116	7.141.120	463.392.468	438.259.545	25.132.922
Harga		HSD = Rp. 7700		Gas = Rp. 5500		

Pada tabel diatas, dapat diketahui biaya operasi yang dapat dihemat PLTG blok 1 Priok pada saat kondisi keterbatasan bahan bakar dengan penggunaan dua jenis bahan bakar (HSD dan Gas). Pada beban 360 MW didapatkan penghematan biaya operasi setiap jam-nya sebesar Rp. 9.149.387, pada beban 330 MW penghematannya sebesar Rp. 11.879.814 dan pada 300 MW sebanyak Rp 7.141.120. Sedangkan biaya operasi yang dapat dihemat dengan penggunaan bahan bakar *full gas* yaitu pada beban 360 MW didapatkan penghematan biaya sebanyak Rp. 4.045.499, pada beban 330 MW sebanyak Rp. 7.713.610, dan pada saat beban 300 MW penghematan biaya sebanyak Rp. 25.132.922.

IV. KESIMPULAN

1. Semakin besar beban operasi yang dihasilkan pembangkit maka akan semakin tinggi pula efisiensi termal yang dihasilkan sehingga konsumsi spesifik bahan bakar dan jumlah kalor bahan bakarnya akan semakin optimal.
2. Pola operasi paling efektif dan efisien pada saat kondisi keterbatasan bahan bakar dengan penggunaan dua jenis bahan bakar (HSD dan Gas), yaitu pada beban 360 MW dengan pola beban 123 MW - 115 MW - 122 MW, 330 MW dengan pola beban 115 MW - 100 MW - 115 MW, 300 MW dengan pola beban 90 MW - 120 MW - 90 MW. Sementara pada kondisi penggunaan bahan bakar full gas didapatkan pola beban paling efisien dan efektif yaitu pada beban 360 MW dengan pola beban 123 MW - 115 MW - 122 MW, 330 MW dengan pola beban 110 MW - 120 MW - 100 MW dan pada beban 300 MW dengan pola beban 90 MW - 100 MW - 90 MW.
3. Biaya operasi yang dapat dihemat PLTG blok 1 Priok pada saat kondisi keterbatasan bahan bakar dengan penggunaan dua jenis bahan bakar (HSD dan Gas). Pada beban 360 MW didapatkan penghematan biaya operasi setiap jamnya sebesar Rp. 9.149.387, pada beban 330 MW penghematannya sebesar Rp. 11.879.814 dan pada 300 MW sebanyak Rp 7.141.120. Sedangkan biaya operasi yang dapat dihemat dengan penggunaan bahan bakar *full gas* yaitu pada beban 360 MW didapatkan penghematan biaya sebanyak Rp. 4.045.499, pada beban 330 MW sebanyak Rp. 7.713.610, dan pada saat beban 300 MW penghematan biaya sebanyak Rp. 25.132.922.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. P. Stephanie Rizka, R. Amien. "Evaluasi Operasi Pembangkitan Tenaga Listrik Pada PT. Cikarang Listrindo menggunakan Metode *Lagrange Multiplier*," Depok: Universitas Indonesia. 2013.
- [2] Nusyirwan, "Manajemen Pembangkit Tenaga Listrik.," Jakarta, 2010.
- [3] Siswanto, Marno, "Mengoptimalkan Pembagian Beban Pada Unit Pembangkit PLTGU Tambak Lorok Dengan Metode *Lagrange Multiplier*," Semarang: UNDIP, 2011.
- [4] Setiawan, Risna Adit. Analisis Optimasi Pembagian Beban Dengan Menggunakan Metode *Dynamic Programming* Pada Pembangkit Di Muara Karang. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia, 2015.
- [5] Sari, Nevy Ervinia, "Optimasi Penggunaan Bahan Bakar Unit PLTGU Dengan Menggunakan Model *Fuzzy Goal Programming* Studi Kasus Di PT PJB Gresik," Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November, 2011.
- [6] UDIKLAT PT PLN (PERSERO), "Pengoperasian PLTGU," 2007.
- [7] M. P. Boyce, "*Gas Turbine Engineering Handbook Fourth Edition*," 2012.
- [8] ASME PTC-22, "*Performance Test Code on Gas Turbine*," 2005.
- [9] M. J. Moran, "*Fundamental of Engineering Thermodynamics 5th Edition*," 2006.