

ANALISIS AKTUAL EFISIENSI TURBIN GAS TYPE MS5001PA

Herman Iswanto¹, Asral²

Laboratorium konstruksi mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12.5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

¹hermaniswanto@yahoo.com, ²asral_2008@yahoo.com

Abstract

Minas Gas Turbine (MGT) is one of the main assets owned by the Department of Power Generation and Transmission (PG&T) operated by Chevron Indonesia Company (CPI). PG&T has the duty to guarantee the distribution of electricity to all assets and offices operated by Chevron Indonesia Company (CPI). Minas Gas Turbine has a Power Output of 200 - 400 MW. MGT has 11 turbines that are driven by gas fuel which are processed through the Gas Power Cycle. Gas which is used as fuel is distributed by PT. Conoco Philips in Grisik located in Jambi and gas from a well owned by CPI. PLTG is a generator that has a fast response to changes in load. Therefore, changes in the burden on PLTG often occur. To maintain the performance of the PLTG, the existing equipment in the PLTG must be maintained so that it can work optimally. In this Final Project an actual analysis of the efficiency of the gas turbine will be carried out on the operation load of the Gas Turbine unit # 6 type MS5001PA, by analyzing the efficiency produced by a natural gas-fired gas turbine. From the results of this study it was found that the thermal efficiency of the Turbine Gas Turbine unit # 6 type MS5001PA in the Minas Gas Turbine area at a load of 20 MW is 19.06%

Keyword: Gas Turbine, Thermal efficiency, compressor, turbine

1. Pendahuluan

Gas turbine sering mengalami perubahan beban untuk memenuhi kebutuhan daya listrik yang berubah-ubah sewaktu-waktu, tergantung dari system operasi dan beban yang terjadi di lapangan [1].

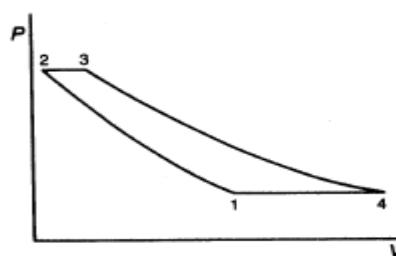
Beban PLTG yang berubah-ubah akan berpengaruh terhadap kinerja dari tiap-tiap komponennya pembangkit gas.

Dalam merespon perubahan beban yang terjadi, maka secara otomatis suplai bahan bakar, udara pembakaran, serta gas buang. Dengan mengetahui efisiensi pada tiap beban maka dapat diketahui grafik efisiensi pada Turbin gas sehingga dapat diketahui pada beban dan pengaruh dari temperatur lingkungan sehingga berapakah efisiensi PLTG yang paling tinggi. Pembangkit Listrik Tenaga Gas yang berbahan Bakar Gas memerlukan sedikit perawatan karena hampir semua bahan bakarnya terbakar sempurna [2].

Siklus Brayton merupakan siklus daya termodinamika ideal untuk turbin gas, hingga saat ini siklus brayton merupakan yang sangat populer digunakan oleh pembuat mesin turbine atau manufaktur dalam analisa untuk upgrading performance. Turbin gas merupakan

mesin dengan aliran langsung yang di nyatakan dengan hukum ke satu termodinamika [3].

Turbine merubah energi kinetik yang berupa kecepatan aliran gas/udara panas menjadi energi mekanik yang berupa putaran rotor. Siklus Brayton seperti terlihat pada diagram P-V [4].



Gambar 1. Siklus brayton standar [4].

2. Metodologi

Terlampir dibawah diagram alur untuk metodologi pengambilan data di lapangan,



2.1 Pengambilan data

Pada bagian ini akan dilakukan perhitungan efisiensi turbin gas unit MGT#6, dengan pengambilan data tiap jam dan dilakukan selama 1 minggu dari tanggal 1 Desember 2019 sampai dengan 7 Desember 2019,

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Perhitungan efisiensi Turbin gas

Dalam pembahasan ini perhitungan efisiensi turbin gas dilakukan, dengan data tersebut diharapkan dapat diketahui efisiensi panas, *heat rate*, *heat consumption* dan *fuel consumption*, dengan variable waktu, temperature kamar, *flow rate* bahan bakar dan daya keluaran generator yang dilakukan per jam,

3.1.1 Perhitungan Fuel Consumption (MSCF)

Fuel Consumption menyatakan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi (dipakai) untuk menghasilkan daya listrik dalam 1 jam. Adapun rumus untuk mencari adapun rumus untuk mencari *Fuel Consumption* adalah sebagai berikut [3]:

$$Fuel\ Cons = \dot{m} * T$$

Keterangan :

1. *Fuel Cons* = Fuel Consumption (MSCF)
2. $\dot{m}$ = Flow Rate (MSCFH)
3. T = Waktu (1 jam)

3.1.2 Perhitungan Heat Consumption (MBTU)

Heat Consumption merupakan salah satu variabel yang digunakan untuk mencari *Thermal Efficiency*. *Heat Consumption* menyatakan jumlah energi yang dikonsumsi (dipakai) untuk menghasilkan daya listrik dalam 1 jam. Adapun rumus untuk mencari *Heat Consumption* adalah sebagai berikut[3] :

$$Heat\ Cons = Fuel\ Cons * FHV$$

Keterangan :

1. *Heat Cons* = Heat Consumption (MBTU)
2. *Fuel Cons* = Fuel Consumption (MSCF)
3. FHV = Fuel Heat Value (BTU/SCF)

3.1.3 Perhitungan Heat Rate (BTU/Kw.h)

Heat Rate menyatakan laju penggunaan energi untuk setiap daya listrik yang dihasilkan dalam 1 jam. Adapun rumus untuk mencari *Heat rate* adalah sebagai berikut[3] :

$$Q = \frac{Heat\ Cons}{P}$$

Keterangan :

1. Q = Heat Rate (BTU/Kw.h)
2. *Heat Cons* = Heat Consumption (MBTU)
3. P = Power Output (Mw.h)

3.1.4 Perhitungan Thermal Efficiency (%)

Thermal Efficiency merupakan variabel yang akan dicari dalam pengamatan ini. Setelah mengetahui nilai *Heat Rate*, kita dapat mengetahui nilai dari *Thermal Efficiency* dengan menggunakan persamaan [3]:

$$\eta_{th} = \left(\frac{3413}{Q} \right) * 100$$

Keterangan :

1. η_{th} = Thermal Efficiency (%)
2. Q = Heat Rate (BTU/Kw.h)

3.2 Data perhitungan

Berikut dibawah ini contoh data hasil perhitungan,

ditampilkan pada gambar 2.

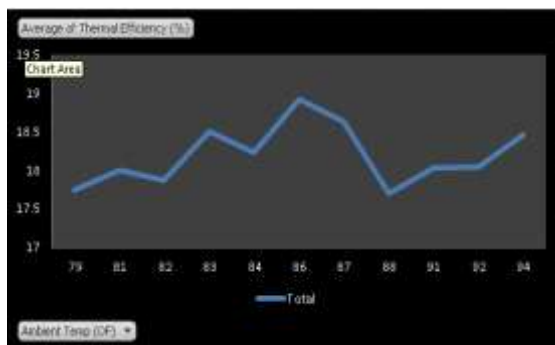
Tabel 1. Data hasil perhitungan

DATE (DD/MM/YYYY)	TIME (H:M)	Hours	Flow rate (M3CH)	Power Output in 1 hours (Mw.h)	Ambient Temp (°F)	Fuel Consumption (in 1 hours) (M3CF)	Fuel Heat Value (BTU/SCF)	Heat Consumption (MBTU)	Heat Rate (BTU/Kwh)	Net Heat Rate (BTU/Kwh)	Thermal Efficiency (%)
12/1/2019	0:00	1	362.9	19	83	362.9	1000	362,900	19,100	17,364	17.87
12/1/2019	1:00	2	364	18.8	81	364	1000	364,000	19,362	17,602	17.63
12/1/2019	2:00	3	361.8	18.7	81	361.8	1000	361,800	19,348	17,589	17.64
12/1/2019	3:00	4	361.3	18.4	81	361.3	1000	361,300	19,636	17,851	17.38
12/1/2019	4:00	5	352.7	18.3	81	352.7	1000	352,700	19,273	17,521	17.71
12/1/2019	5:00	6	343	18.6	79	343	1000	343,000	18,441	16,764	18.51
12/1/2019	6:00	7	355.3	18.6	81	355.3	1000	355,300	19,102	17,366	17.87
12/1/2019	7:00	8	330	17.9	79	330	1000	330,000	18,436	16,760	18.51
12/1/2019	8:00	9	375.4	18.7	81	375.4	1000	375,400	20,075	18,250	17.00
12/1/2019	9:00	10	337.2	18.7	82	337.2	1000	337,200	18,032	16,393	18.93
12/1/2019	10:00	11	382.5	19	84	382.5	1000	382,500	20,132	18,301	16.95
12/1/2019	11:00	12	394.2	19.9	88	394.2	1000	394,200	19,809	18,008	17.23
12/1/2019	12:00	13	396.8	20	91	396.8	1000	396,800	19,840	18,036	17.20
12/1/2019	13:00	14	385.8	20.8	92	385.8	1000	385,800	18,548	16,862	18.40
12/1/2019	14:00	15	361.9	20	92	361.9	1000	361,900	18,095	16,450	18.86
12/1/2019	15:00	16	394	21.7	94	394	1000	394,000	18,157	16,506	18.80
12/1/2019	16:00	17	385	21.8	94	385	1000	385,000	17,661	16,055	19.33
12/1/2019	17:00	18	364	20.3	91	364	1000	364,000	17,931	16,301	19.03
12/1/2019	18:00	19	355	19.6	91	355	1000	355,000	18,112	16,466	18.84
12/1/2019	19:00	20	353	19.9	87	353	1000	353,000	17,739	16,126	19.24
12/1/2019	20:00	21	366.3	19.4	86	366.3	1000	366,300	18,881	17,165	18.08
12/1/2019	21:00	22	352.4	19.4	84	352.4	1000	352,400	18,165	16,514	18.79
12/1/2019	22:00	23	351.7	19.7	83	351.7	1000	351,700	17,853	16,230	19.12
12/1/2019	23:00	24	366	19.8	83	366	1000	366,000	18,485	16,804	18.46

3.3 Pembahasan

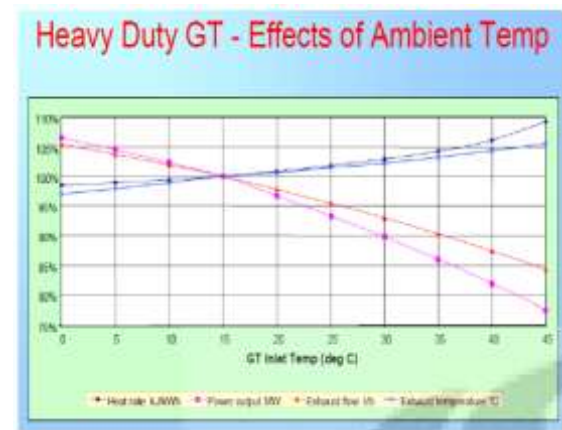
3.3.1 Pengaruh Ambient Temperature Terhadap Thermal Efficiency (η_{th})

Temperatur lingkungan merupakan salah satu variabel yang mempengaruhi nilai dari *Thermal Efficiency*. Hal dikarenakan temperature lingkungan akan berpengaruh terhadap kerja yang dilakukan oleh compressor [5].



Gambar 2. Grafik perbandingan antara Ambient Temp dan Thermal

Berdasarkan gambar diatas, dapat diketahui bahwa gas turbin unity #6 memiliki karakteristik yaitu yang sangat bervariasi dan dari data tersebut kondisi *thermal efficiency* paling tinggi didapatkan pada temperature 86°F. hal ini terjadi kemungkinan ada beberapa keadaan dari variasi flow rate bahan bakar, dan daya output generator yang berubah sesuai dengan kebutuhan operasi, Seperti

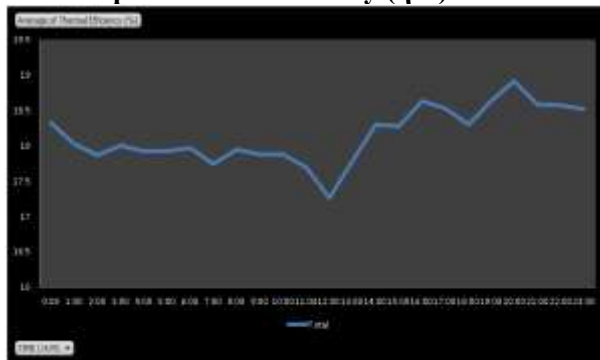


Gambar 3. efek temperature ambient terhadap kinerja gas turbine[6]

Dari gambar diatas Analisis temperature udara berpengaruh terhadap densitas nilai densitas udara, sesuai dengan persamaan gas ideal $pV/T = \text{konstan}$, dimana p : tekanan, v : volume, T : suhu, $v=1/p$ dimana ρ ; density (Kg/m3), Apabila gas udara mempunyai ρ : konstan maka persamaannya menjadi: $1/\rho_1 T_1 = 1/\rho_2 T_2$ atau $\rho_1/\rho_2 = T_2/T_1$ sehingga terlihat, bahwa apabila suhunya turun $T_2 < T_1$, maka $\rho_2 > \rho_1$, artinya semakin rendah temperature udara maka semakin besar nilai densitasnya atau kerapatannya, semakin besar nilai densitasnya maka semakin besar nilai m udaranya, nilai m udara yang masuk mempengaruhi nilai power output turbin tersebut. Seperti ditampilkan pada gambar 3 [6].

Hal ini dikarenakan daya output turbine merupakan perkalian antara laju aliran massa udara masuk dengan entalpi gas keluar/masuk turbin gas. Oleh karena itu salah satu meningkatkan efisiensi turbin gas yaitu dengan menurunkan temperatue udara masuk. Penurunan temperature ini dapat dilakukan dengan pemasangan pendingin pada saluran udara masuk (*inlet duct*) [7].

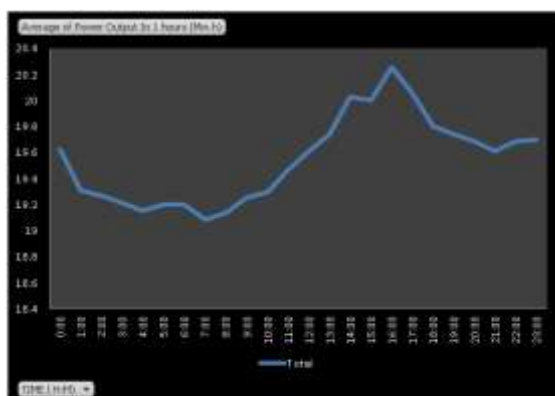
3.3.2 Pengaruh Waktu Operasi (Time) Terhadap Thermal Efficiency (η_{th})



Gambar 4. Grafik perbandingan waktu operasi dan *Thermal Efficiency*

Dari grafik diatas menunjukkan karakteristik *thermal efficiency* dari gas turbin unit#6 pada waktu operasi yang berbeda. Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui bahwa *thermal efficiency* pada malam hari rata-rata nilainya lebih tinggi dibandingkan pada saat siang hari. Hal ini dikarenakan suhu lingkungan pada malam hari lebih rendah dan berbanding lurus dengan kondisi ambient temperature. Adapun nilai *thermal efficiency* maksimum yang dihasilkan yaitu pada pukul 19:00 dengan *thermal efisiensi* 18.83%, dan yang paling rendah *thermal efisiensi* pada pukul 11:00 dengan *thermal efisiensi* 17.46%. Dari data tersebut diatas lebih membuktikan tentang nilai dari perbandingan temperature udara terhadap nilai densitas udara yang mempengaruhi power output turbine tersebut, seperti ditampilkan pada gambar 4.

3.3.3 Pengaruh Waktu Operasi (Time) Terhadap Power Output (P)

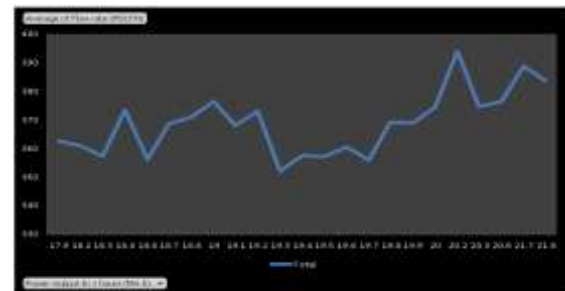


Gambar 5. Grafik perbandingan waktu operasi dan *Power Output*

Dari gambar grafik diatas menunjukkan tentang kebutuhan power yang

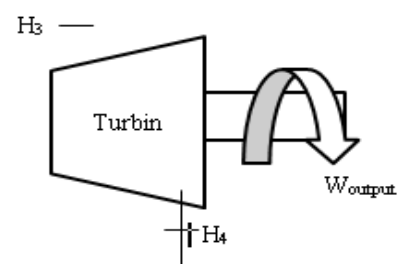
terjadi di wilayah operasi Sumatra, hal ini berkaitan dengan beban yang ada meliputi perkantoran, perumahan, *Gas station*, motor2 dan pompa produksi, dimana beban paling tinggi terjadi pada pukul 15:00 dengan *power output* 19.93 MW, hal ini juga tentang pembagian beban yang diatur oleh system SCADA, da berkaitan dengan unit2 yang lain denga jumlah 17 unit dan kebutuhan frekuensi 60 Hz, seperti ditampilkan pada ganbar 5.

3.3.4 Pengaruh Flow Rate ($\dot{m}$) Terhadap Power Output (P) Yang Dihasilkan



Gambar 6. grafik perbandingan *Flow Rate* ($\dot{m}$) Terhadap *Power Output* (P)

Selain dapat mempengaruhi nilai dari *thermal efficiency*, laju aliran gas yang mengalir juga mempengaruhi nilai power output (P) yang dihasilkan oleh turbin. Dalam ilmu Termodinamika, nilai dari daya yang dihasilkan turbin dapat ditentukan dengan menggunakan seperti ditampilkan pada persamaan 1[8].



Gambar 7 skema gas turbine[8]

$$P = \dot{m} (H_3 - H_4) \quad (1)$$

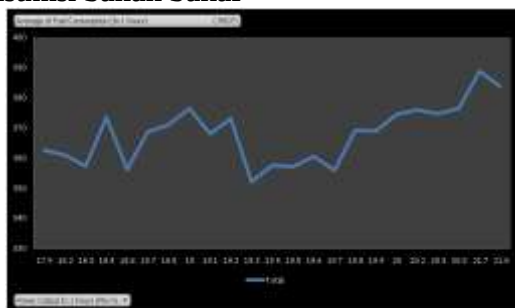
Keterangan :

1. P = *Power Output* (Mw.h)
 2. $\dot{m}$ = *Gas Flow Rate* (MSCFH)
 3. H_3 = *Input Enthalphy Of Gas* (BTU/lb)
 4. H_4 = *Output Enthalphy Of Gas* (BTU/lb)
- Berdasarkan rumus diatas, dapat

diketahui bahwa semakin besar laju aliran gas maka akan semakin besar pula daya yang dihasilkan. Seperti ditampilkan Pada gambar 7 secara linier menunjukkan bahwa semakin besar laju aliran gas maka akan semakin besar pula daya yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan persamaan 1 yang menyatakan hal yang sama. Tapi ada beberapa titik (power output) yang mengalami anomaly yaitu adanya puncak dan lembah yang dapat diartikan puncak banyak bahan bakar dan lembah sedikit bahan bakar, hal ini kemungkinan terjadi karena adanya aliran dari bahan bakar yang masuk terganggu datanya terganggu, dan disebabkan oleh beberapa hal:

1. laju alir bahan bakar dari tim terkait tidak konsisten karena gas kompresor bermasalah atau ada pekerjaan pigging (pembersihan pipa gas) yang mengakibatkan terganggunya laju aliran gas, perlu konfirmasi dari tim terkait,
2. alat gas flow meter yang ada di unit MGT mengalami ketidaknormalan pembacaan perlu dilakukan kalibrasi alat,
3. Pada Gas control valve (governor) mengalami kebocoran dalam (internal leak) yang mengakibatkan terjadi ketidaknormalan laju alir bahan bakar dan mempengaruhi daya output yang keluar[9].

3.3.5 Pengaruh Power Output (P) Terhadap konsumsi bahan bakar



Gambar 8. grafik perbandingan poweroutput terhadap konsumsi bahan bakar

Berdasarkan gambar grafik diatas dapat diketahui bahwa semakin besar daya yang dihasilkan maka akan semakin tinggi konsumsi bahan bakar atau berbanding lurus dengan konsumsi bahan bakar. Hal ini dikarenakan jumlah konsumsi bahan bakar

sebanding dengan laju aliran gas (dapat dilihat berdasarkan persamaan 1).

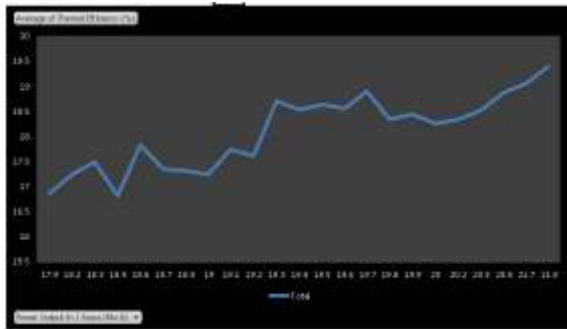
Telah diketahui berdasarkan seperti ditampilkan pada gambar 8, bahwa daya yang dihsailkan sebanding dengan laju aliran gas. Secara linier hubungan antara daya yang dihasilkan dan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi maka akan berbanding lurus.

Tapi ada beberapa titik (power output) yang mengalami anomaly yaitu adanya puncak dan lembah yang dapat diartikan puncak banyak bahan bakar dan lembah sedikit bahan bakar, hal ini kemungkinan terjadi karena adanya aliran dari bahan bakar yang masuk terganggu datanya terganggu, dan disebabkan oleh beberapa hal:

1. laju alir bahan bakar dari tim terkait tidak konsisten karena gas kompresor bermasalah atau ada pekerjaan pigging (pembersihan pipa gas) yang mengakibatkan terganggunya laju aliran gas, perlu konfirmasi dari tim terkait,
2. alat gas flow meter yang ada di unit#6 MGT mengalami ketidaknormalan pembacaan perlu dilakukan kalibrasi alat,
4. Pada Gas control valve (governor) mengalami kebocoran dalam (internal leak) yang mengakibatkan terjadi ketidaknormalan laju alir bahan bakar dan mempengaruhi daya output yang keluar[9].

3.3.6 Pengaruh Power Output (P) Terhadap Thermal Efficiency (η_{th})

Telah diketahui bahwa hubungan antara laju aliran gas dan daya yang dihasilkan sebanding. Hal ini dapat menyatakan pengaruh daya yang dihasilkan terhadap efisiensi. Seperti ditampilkan pada gambar 6. telah diketahui bahwa semakin tinggi laju aliran gas, maka akan semakin tinggi pula efisiensinya. Begitu pula dengan hubungan antara daya yang dihasilkan dan efisiensi yang dihasilkan. Karena daya dan laju aliran gas sebanding, maka semakin tinggi daya yang dihasilkan akan semakin tinggi pula efisiensinya. Hal ini dapat dilihat seperti ditampilkan pada gambar 9, dimana pada grafik tersebut ditunjukkan bahwa semakin besar daya yang dihasilkan maka akan semakin besar thermal effisiensinya,



Gambar 9. perbandingan Power Output (P)
Terhadap Thermal Efficiency (η_{th})

4.Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, pembahasan dan pengambilan data di lapangan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin tinggi suplai laju aliran gas, maka akan semakin tinggi *power output* yang dihasilkan oleh turbin.
2. Semakin besar *power output* yang dihasilkan, maka akan semakin tinggi *thermal efficiency* dari siklus *gas power plant* dari gas turbine unit#6.
3. Semakin besar *power output* yang dihasilkan, maka akan semakin tinggi *thermal efficiency* dari siklus *gas power plant* dari turbin yang ditinjau.
4. Semakin besar *power output* yang dihasilkan, maka akan semakin tinggi jumlah bahan bakar yang dikonsumsi.
5. Karena *power output* yang dihasilkan sebanding dengan jumlah penggunaan bahan bakar, maka hubungan antara daya yang dihasilkan dengan jumlah energi yang dikonsumsi (*heat consumption*) akan sebanding.
6. Pengaruh waktu operasi terhadap nilai dari *thermal efficiency* menunjukkan pada malam hari lebih efektif dari pada saat siang hari, dan ini berbanding lurus dengan pengaruh dari *temperature ambient* dan ini sesuai dengan *siklus brayton*,
7. Dari data2 tersebut bahwa aktual *effisiensi* sesuai dengan siklus *brayton*, yang mempengaruhi *thermal efficiency* yaitu *temperature ambient*, laju aliran gas, dan waktu pengoperasian.
8. Apabila akan dilakukan

pengoptimalan *thermal efficiency* pada gas turbine tersebut dapat dilakukan dengan menambah system pendingin pada inlet house filter, dengan tujuan untuk memaksimalkan *temperature ambient* dan menjaga laju alir bahan bakar,

9. Perlu dilakukan kordinasi dengan tim lain, melakukan perbaikan pada alat gas flow meter dan equipment gas control valve (governor) untuk mendapatkan data flow rate yang konstan, sehingga mendapatkan hasil penelitian yang maksimal,
10. Agar dilakukan penelitian lagi pada kondisi beban output yang tetap sehingga didapatkan data yang lebih akurat,

Daftar pustaka

- [1]. Wijaya, Aditya Ristanu. "Analisa Perbandingan Performa Turbin Gas Sebelum Dan Sesudah Turbine Inspection Dengan Variasi Beban Di PLTGU Blok GT 3.2 Dan GT 3.3 PT. PJB UP GRESIK.", Diss. Institut Technology Sepuluh Nopember, 2015
- [2]. Naryono, Naryono, and Lukman Budiono. "Analisis Efisiensi Turbin Gas Terhadap Beban Operasi PLTGU Muara Tawar Blok 1." Jurnal Mesin Teknologi 7.2 (2013).
- [3]. Meherwan P.Boyce ; "Theoritical and actual cycle analysis" Gas Turbine hand book 2nd edition. 58 – 60, Gulf Professional Publishing, United States of America.
- [4]. Manual Book Gas Turbine, GE gas turbine MS5001PA. Volume 1 operation and maintenance, performance characteristic, general and functional description (09/1992), 10 – 20.
- [5]. Ashley D. S., Sarim Al Zubaidy(2011), "Gas turbine performance at varying ambient temperature", Applied Thermal Engineering
- [6]. Indra syifai "Kajian system pendingin udara masuk Turbin Gas untuk menaikkan daya output Turbin Gas pada PLTG Gilimanuk yang beroperasi 24 jam" Kajian system Departemen Teknik Mesin, FT UI 2014.
- [7]. Ainley D. G. (1957), "Internal air cooling

- for turbine blades, A general design study”, Aeronautical Research Council Reports and Memorandum 3013
- [8]. M. J. Moran, and H.N. Shapiro (2008), “Fundamentals of Engineering Thermodynamics,” New York: John Wiley & Sons, INC
- [9]. Weedy, B.M. 1979. Electric Power Systems. “the turbine governor system” John Wiley & Sons Ltd, (205 – 220)