



Analisis Pengaruh Udara Ambien Terhadap Beban Turbin Generator PLTG Teluk Lembu

Abrar Tanjung¹, Haryanto Sinurat², Hamzah Eteruddin³, Arlenny⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning
Jl. Yos Sudarso Km. 8 Rumbai, Pekanbaru, Telp (0761) 52324
Correspondent author : Email abrar@unilak.ac.id

Abstrak

Perubahan pembakaran dan pendinginan dalam turbin gas mempengaruhi udara gas buang pada turbin dan daya generator, efisiensi dan rugi-rugi generator sehingga dapat menyebabkan sebuah PLTG mengalami derating. Nilai rata-rata efisiensi generator dalam satu hari menggunakan simulasi adalah 99,67 % dan perhitungan manual adalah 99,67 %, Nilai maksimum dari daya serap kompresor dalam satu hari untuk simulasi adalah 52,99 KJ/kg yaitu pada jam 04.00 dan untuk perhitungan manual adalah 52,99 KJ/kg yaitu pada jam 04.00. Nilai rata-rata dari daya serap kompresor dalam satu hari untuk simulasi adalah 51,24 KJ/kg dan perhitungan manual adalah 51,24 KJ/kg, Rugi generator tertinggi pada temperatur ambien 29,7 °C, 29,3 °C, 28,5 °C, 27,6 °C dengan daya keluaran generator 15 MW dengan rugi generator sebesar 84465,30 Watt.

Kata kunci: energi listrik, pusat pembangkit, daya listrik

Abstract

Changes in combustion and cooling in the gas turbine affect the exhaust air in the turbine and generator power, efficiency and generator losses so that it can cause a PLTG to derate. The average value of generator efficiency in one day using simulation is 99.67% and manual calculation is 99.67%. The maximum value of compressor absorption in one day for simulation is 52.99 KJ/kg at 04.00 and for calculation manual is 52.99 KJ/kg that is at 04.00. The average value of compressor absorption in one day for simulation is 51.24 KJ/kg and manual calculation is 51.24 KJ/kg. The highest generator loss is at ambient temperature 29.7 °C, 29.3 °C, 28,5 °C, 27,6 °C with a generator output power of 15MW with a generator loss of 84465.30 Watt.

Keywords: electrical energy, power plant, electric power

1. Pendahuluan

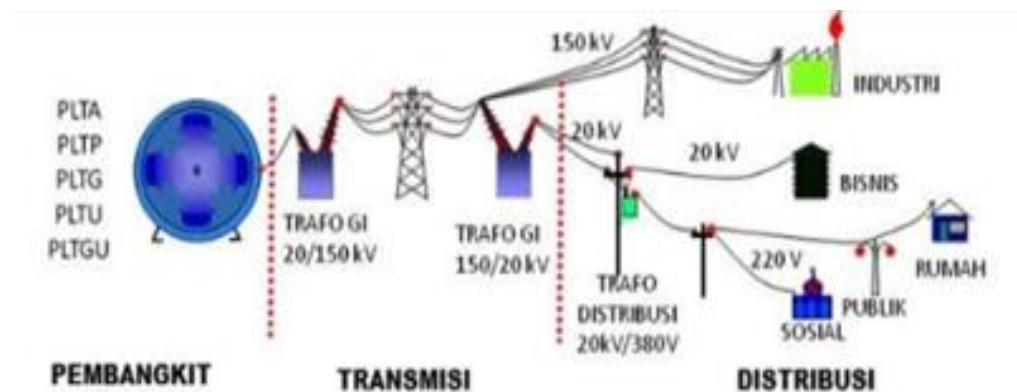
Besar energy listrik dari generator sangat bergantung dari energi yang di hasilkan turbin ke generator dan efisiensi dari generator tersebut. Oleh karena itu pengetahuan akan tingkat efisiensi dan besar daya masuk ke generator pada pusat pembangkit listrik diperlukan guna memperoleh produksi maksimal dan menghindari unit pembangkit mengalami derating. Tujuan penelitian untuk menganalisa pengaruh perubahan temperatur udara ambien kompresor terhadap daya yang dihasilkan generator dan menentukan efisiensi generator pada PLTG Teluk Lembu Pekanbaru [1].

Derating adalah kondisi pembangkit dengan daya keluaran Mega Watt (MW) unit tidak mampu mencapai 98 % dari Daya Mampu Netto (DMN) dan lebih dari 30 (tiga puluh) menit. Lingkungan sangat berpengaruh terhadap performa dari PLTG. Perubahan pembakaran dan pendinginan dalam turbin gas mempengaruhi udara gas buang pada turbin dan daya generator, efisiensi dan rugi- rugi generator sehingga dapat menyebabkan sebuah PLTG mengalami derating. Kompresor pada beban baseload. Beban base load yaitu pembebanan pada PLTG yang mana beban akan naik pada nilai maksimumnya yang dibatasi oleh temperature control turbin gas 520°C [2].

2. Tujuan Pustaka

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik dimulai dari pusat-pusat listrik yang membangkitkan tenaga listrik antara lain yaitu seperti PLTU, PLTA, PLTG dan pembangkit-pembangkit jenis lainnya yang kemudian di naikan tegangannya di transmisikan dengan menggunakan tranformator daya (*step-up*) untuk di transmisikan ke berbagai daerah yang jaraknya sangat jauh, sehingga tidak banyak daya yang hilang pada saluran.[1]



Gambar 1. Sistem Tenaga Listrik [1]

2.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gas

Di dalam ruang bakar disemprotkan bahan bakar sehingga bercampur dengan udara tadi dan menyebabkan proses pembakaran. Proses pembakaran tersebut berlangsung dalam keadaan tekanan konstan sehingga dapat dikatakan ruang bakar hanya untuk menaikkan temperatur.[3].

Perhitungan Efisiensi termal ideal siklus *brayton* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{th.s} = \frac{W_{net.s}}{Q_{in.s}} \quad (1)$$

Keterangan :

$\eta_{th.s}$: Efisiensi termal ideal siklus *braython*

$W_{net.s}$: Kerja bersih generator

Menentukan panas masuk kompressor ideal dapat dihitung dengan persamaan [4]:

$$q_{in.s} = h_3 - h_{2s} = C_p \cdot (T_3 - T_{2s}) \quad (2)$$

Keterangan :

$q_{in.s}$ = Panas masuk kompressor ideal

C_p = Panas Spesifik Gas pada Tekanan
Konstan

T_3 = Temperatur ruang bakar

T_{2s} = Temperatur udara tekan ideal

Menentukan panas masuk kompressor aktual dapat dihitung dengan persamaan :

$$q_{in} = h_3 - h_{2s} = C_p \cdot (T_3 - T_2) \quad (3)$$

Keterangan :

q_{in} = Panas masuk kompressor aktual

C_p = Panas Spesifik Gas pada Tekanan
Konstan

T_3 = Temperatur ruang bakar

T_2 = Temperatur udara tekan aktual dapat dihitung dengan persamaan:

$$W_c = h_2 - h_1 = c_p \cdot (T_2 - T_1) \quad (4)$$

Keterangan :

W_c = Kerja kompressor aktual

T_2 = Temperatur udara tekan

T_1 = Temperatur udara lingkungan

Berdasarkan perhitungan diatas, kemudian dapat dilakukan perhitungan efisiensi terhadap kompressor dengan menggunakan persamaan :

$$\eta_c = \frac{W_c}{W_{cs}} \quad (5)$$

Keterangan :

η_c = Efisiensi kompressor

W_c = Kerja kompressor aktual

W_{cs} = Kerja kompressor ideal

Combustion Chamber adalah ruangan tempat proses terjadinya pembakaran. Ada turbin gas yang mempunyai satu atau dua *Combustion Chamber* yang letaknya terpisah dari casing turbin, akan tetapi yang lebih banyak dijumpai adalah memiliki *Combustion Chamber* dengan beberapa buah *Combustion basket*, mengelilingi sisi masuk (*inlet*) turbin. [5]. Untuk mengetahui Perbandingan jumlah udara dengan jumlah bahan bakar (Temperatur ruang bakar) pada proses pembakaran dalam ruang bakar yaitu dengan menghitung temperatur ruang bakar aktual dengan persamaan [6]:

$$T_3 = T_2 + \frac{(m \times LHV)_{fuel}}{(m \times C_p)_{air}} \quad (6)$$

Keterangan :

T_3 : Temperatur ruang bakar
 T_2 : Temperatur udara tekan
 M_{fuel} : Laju aliran massa udara
 LHV : Nilai kalor bahan bakar
 M_{air} : Laju aliran massa udara
 C_p : Panas Spesifik Gas pada Tekanan Konstan

Untuk menghitung temperatur isentropik keluar pada turbin gas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$T_{4s} = T_3 \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (7)$$

Keterangan :

T_{4s} = Temperatur ideal (*isentropic*) pada gas buang. (K)
 T_3 = Temperatur ruang bakar
 P_4 = Tekanan udara lingkungan
 P_3 = Tekanan absolut udara tekan

Turbin gas bekerja berdasarkan siklus Brayton Keterangan terdapat hubungan antara P-V dan T-S skema instansi dari turbin gas tersebut dapat dituliskan dengan siklus Brayton ideal seperti rumus sebagai berikut [2]:

$$W_{TS} = h_3 - h_4 = c_p \cdot (T_3 - T_{4s}) \quad (8)$$

Keterangan :

W_{TS} = Kerja turbin ideal
 c_p = Panas Spesifik Gas pada tekanan Konstan
 T_3 = Temperatur ruang bakar
 T_{4s} = Temperatur isentropik keluar turbin

Untuk menghitung kerja turbin aktual menggunakan persamaan :

$$W_T = h_3 - h_4 = c_p \cdot (T_3 - T_4) \quad (9)$$

Keterangan :

W_T = Kerja turbin aktual
 c_p = Panas Spesifik Gas pada tekanan Konstan
 T_3 = Temperatur ruang bakar
 T_4 = Temperatur gas buang

Menghitung efisiensi turbin berdasarkan metode siklus *braython* adalah sebagai berikut :

$$\eta_T = \frac{W_T}{W_{TS}} \quad (10)$$

Keterangan :

η_T = Efisiensi turbin
 W_T = Kerja turbin aktual
 W_{TS} = Kerja turbin ideal

2.3 Generator

Generator merupakan sebuah alat yang mampu menghasilkan arus listrik. salah satu jenis generator adalah generator arus bolak balik yang akan dibahas saat ini. Generator arusbolak-balik berfungsi mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik arus bolak-balik.Sering disebut juga sebagai alternator atau generator AC (alternating current) atau jugagenerator sinkron. Generator arus bolak balik terdiri atas dua jenis yaitu generator arus 1phasa dan generator arus 3 phasa, untuk generator arus 3 phasa digunakan oleh pemmbangkittenaga listrik. [5][8]. Untuk menghitung kerja netto *output*/keluaranideal (daya yang digunakan menggerakkan generator) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut[6] :

$$W_{net-s} = W_{TS} - W_{Cs} \tag{11}$$

Keterangan :

W_{net-s} = Kerja bersih sistem ideal generator

W_{TS} = Kerja turbin ideal

W_{Cs} = Kerja kompresor ideal

Untuk menghitung kerja netto *output*/keluaran aktual menggunakan persamaan sebagai berikut

$$W_{net} = W_T - W_C \tag{12}$$

Keterangan :

W_{net} = Kerja bersih sistem aktual generator

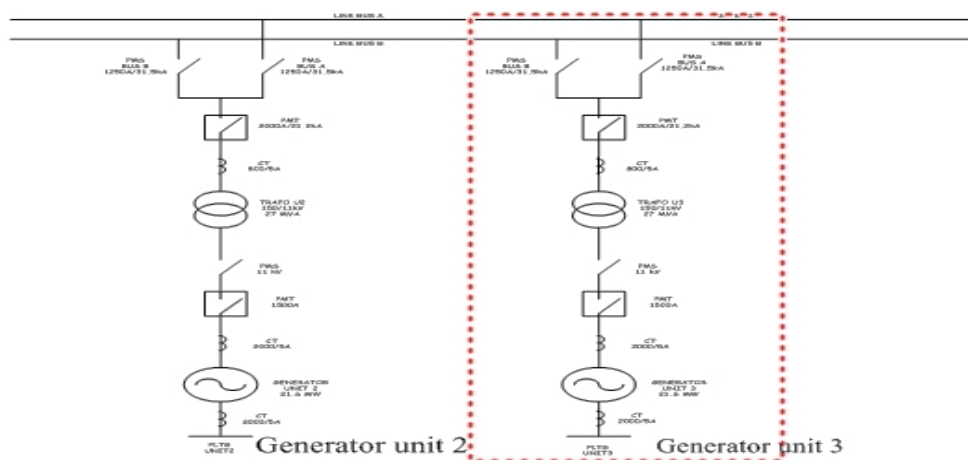
W_T = Kerja turbin aktual

W_C = Kerja kompresor aktual

3. Metode Penelitian

Penelitian ini memberikan suatu solusi untuk mengetahui perubahan temperatur udara yang masuk dan mempengaruhi faktor daya keluaran generator, tahapan pengumpulan data-data yang dibutuhkan seperti: Data komponen Utama, Data Temperatur (T), Data Tekanan (P), Data bahan bakar, Data produksi listrik (Mw).

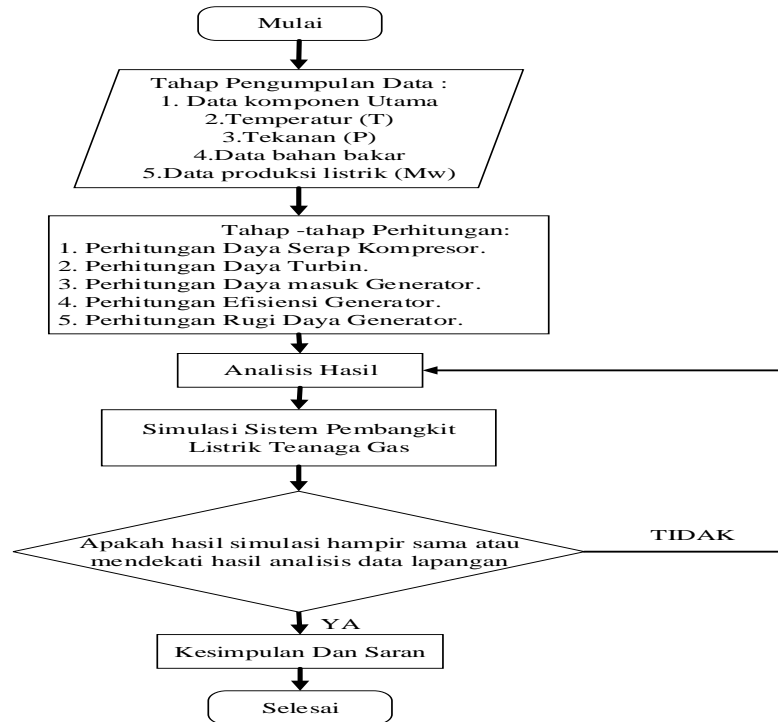
Tahap Perhitungan seperti : Perhitungan Daya Serap Kompresor, Perhitungan Daya Turbin, Perhitungan Daya masuk Generator, Perhitungan Efisiensi Generator, Perhitungan Rugi Daya Generator.



Gambar 2. Single Line Diagram PLTG Teluk Lembu Pekanbaru

3.1 Aliran Daya (Flowchart)

Penyelesaian penelitian dilakukan langkah-langkah seperti terdapat pada gambar 3 :



Gambar 3. Flowchart Langkah-langkah Pembahasan

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Perhitungan Daya Serap Kompresor

Adapun Persamaan yang diberikan untuk memperoleh Hasil Perhitungan Daya yang Diserap Kompresor adalah :

$$W_c = c_{pa}(T_2 - T_1)$$

Keterangan

W_c = Kerja Kompresor Aktual

T_2 = Temperatur Udara Tekanan

T_1 = Temperatur Udara Lingkungan Menggunakan data T_1 dan T_2 yang telah didapatkan,

Menggunakan data T_1 dan T_2 yang telah didapatkan, sebagai contoh perhitungan manual pada jam 00.00 adalah sebagai berikut:

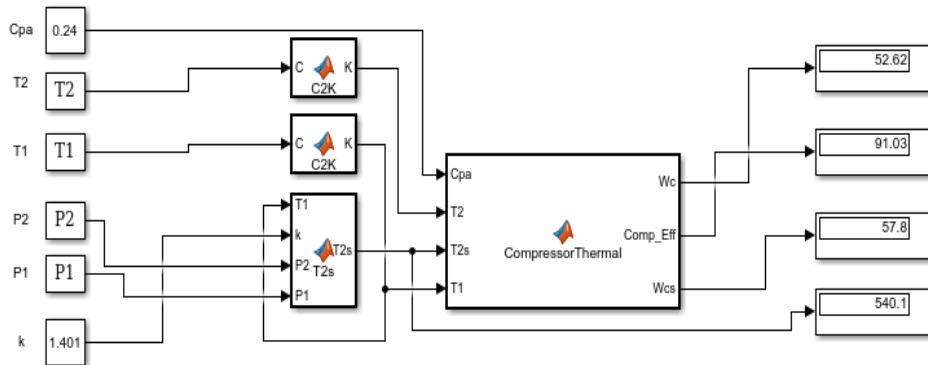
$$W_c = c_{pa}(T_2 - T_1)$$

$$W_c = 0,24 (235 - 27,40)$$

$$W_c = 0,24 (207,6)$$

$$W_c = 49,82 \text{ Kj/Kg}$$

Hasil simulasi aplikasi matlab adalah sebagai berikut :



Gambar 4. Hasil Simulasi Daya Serap Kompresor

4.2 Hasil Perhitungan Daya Turbin

Adapun Persamaan yang diberikan untuk memperoleh Hasil Perhitungan Daya yang dihasilkan Turbin adalah:

$$W_T = c_{pa}(T_3 - T_4)$$

Keterangan,

- W_T = Kerja Turbin Aktual
- c_{pa} = Panas Spesifik Gas pada Tekanan Konstan
- T_3 = Temperatur Ruang Bakar
- T_4 = Temperatur Gas Buang

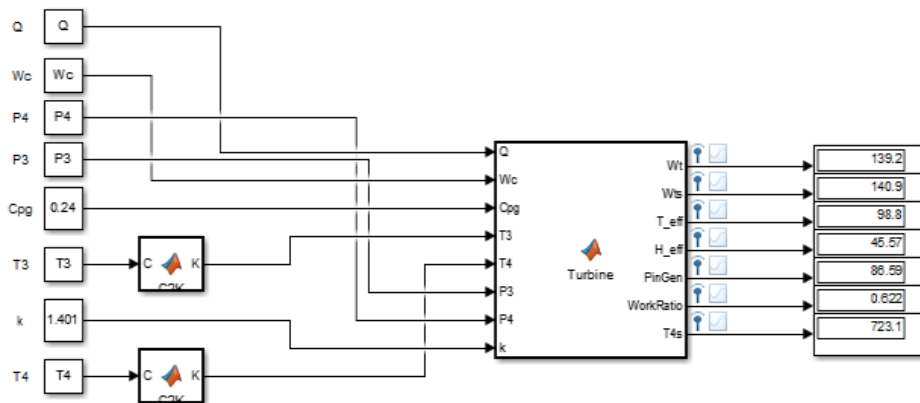
Menggunakan data c_{pa} , T_3 dan T_4 yang telah didapatkan, sebagai contoh perhitungan manual pada jam 00.00 adalah sebagai berikut:

$$W_T = c_{pa}(T_3 - T_4)$$

$$W_T = 0,24 (1097 - 470)$$

$$W_T = 150,48 \text{ KJ/kg}$$

Hasil perhitungan Daya yang di hasilkan turbin adalah sebagai berikut :



Gambar 5. Hasil Simulasi Daya Turbin

4.3 Hasil Perhitungan Daya Masuk Generator

Adapun Persamaan yang diberikan untuk memperoleh Hasil Perhitungan Daya yang masuk ke generator adalah:

$$W_{net} = W_T - W_C$$

Keterangan,

W_{net} = Kerja Bersih Sistem Aktual Generator

W_T = Kerja Turbin Aktual

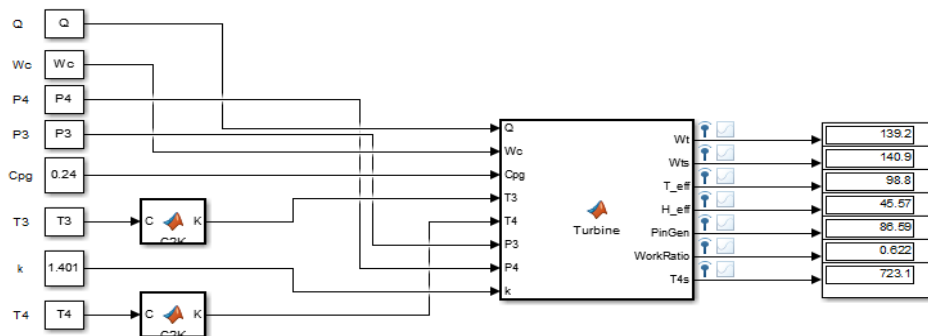
W_C = Kerja Kompresor Aktual

Menggunakan data W_T dan W_C yang telah didapatkan dari perhitungan sebelumnya, sebagai contoh perhitungan manual pada jam 00.00 adalah sebagai berikut:

$$W_{net} = W_T - W_C$$

$$W_{net} = 150,48 - 49,82$$

$$W_{net} = 100,66 \text{ kj/kg}$$



Gambar 6. Hasil perhitungan Daya Masuk Generator

4.4 Hasil Perhitungan Efisiensi Generator

Adapun Persamaan yang diberikan untuk memperoleh Hasil Perhitungan Efisiensi generator adalah:

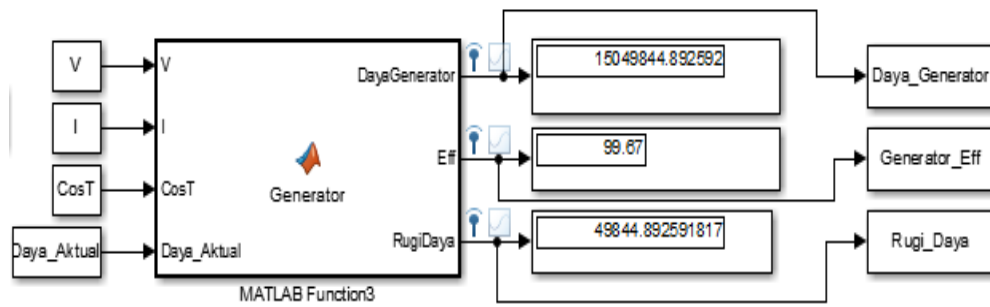
$$Efisiensi = \frac{\text{Daya Aktual}}{\text{Daya generator}} \times 100\%$$

Menggunakan data daya Aktual dan dan Daya generator yang telah didapatkan, Sebagai contoh perhitungan manual pada jam 00.00 adalah sebagai berikut:

$$Efisiensi = \frac{\text{Daya Aktual}}{\text{Daya generator}} \times 100\%$$

$$Efisiensi = \frac{15000000}{15017436,49} \times 100\%$$

$$Efisiensi = 99,8838917 \%$$



Gambar 7. Hasil Perhitungan Efisiensi Generator

4.5 Hasil Perhitungan Daya Generator

Adapun Persamaan yang diberikan untuk memperoleh Hasil Perhitungan Ruugi Daya generator adalah:

$$Rugi\ Daya = Daya\ Generator - Daya\ Aktual$$

Dengan, Daya Generator dapat diperoleh dari peramaan berikut :

$$\sqrt{3} \times V \times I \times \cos \theta$$

Keterangan,

V = Tegangan generator

I = Arus Generator

Menggunakan data tegangan (*V*) dan Arus (*I*) pada Generator, Sebagai contoh perhitungan manual pada jam 00.00 adalah sebagai berikut:

$$Daya\ Generator = \sqrt{3} * V * I \times \cos \theta$$

$$Daya\ Generator = \sqrt{3} \times 11100 \times 789 \times 0,99$$

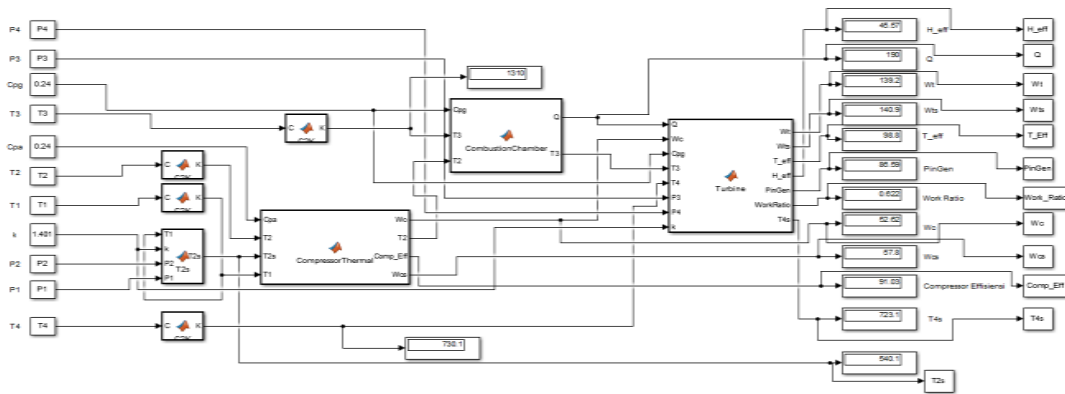
$$Daya\ Generator = 15017436,49\ Watt$$

4.6 Hasil Perhitungan Rugi Daya Generator

Kemudian, Perhitunga dilakukan untuk mencari nilai dari Rugi daya generator. Perhitungannya adalah sebagai berikut : Rugi daya pada jam 00.00

$$Rugi\ Daya = 15017436,49 - 15000000$$

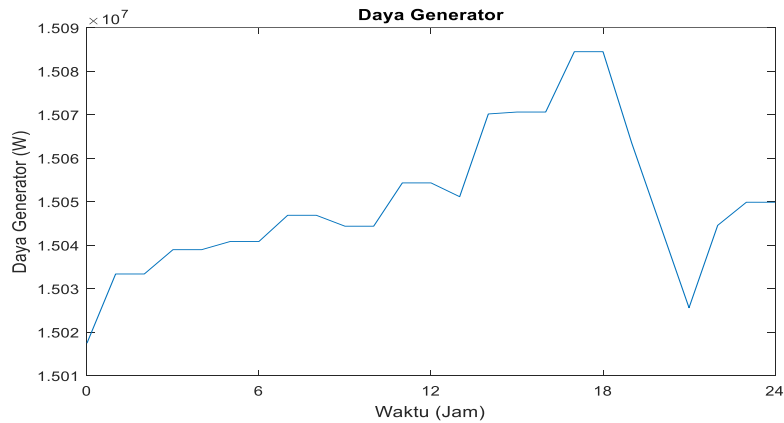
$$Rugi\ Daya = 17436,49\ Watt$$



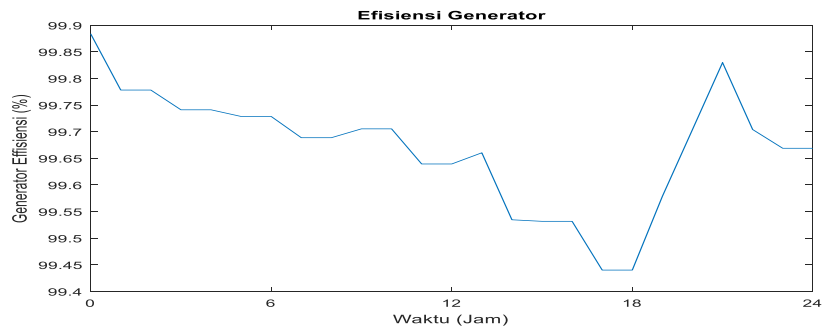
Gambar 8. Simulasi Matlab

4.7 Grafik Hasil Simulasi MATLAB

Berikut merupakan grafik daya generator, efisiensi generator dan rugi dayageerator yang didapatkan dari hasil simulasi MATLAB. Berdasarkan Gambar 9 Grafik Daya Generator menunjukkan hasil daya generator dari mulai pukul 00.00 sampai pukul 18.00 mengalami kenaikan. Dilanjutkan pukul 18-00 sampai ke pukul 24.00 mengalami penurunan.

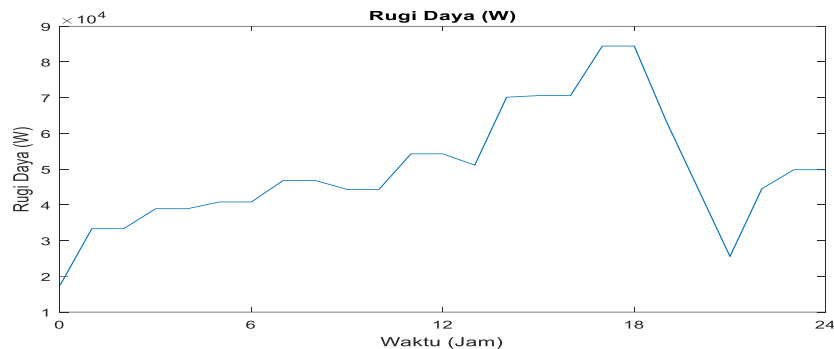


Gambar 9. Grafik Daya Generator



Gambar 10 . Grafik Efisiensi Generator

Berdasarkan Gambar 10 Grafik Efisiensi Generator menunjukkan hasil Efisiensi generator dari mulai pukul 00.00 sampai pukul 18.00 mengalami penurunan. Dilanjutkan pukul 18-00 sampai ke pukul 24.00 mengalami kenaikan.



Gambar 11 . Grafik Rugi Daya Generator

Berdasarkan Gambar 11 Grafik Rugi Daya Generator menunjukkan hasil daya generator dari mulai pukul 00.00 sampai pukul 18.00 mengalami kenaikan. Dilanjutkan pukul 18-00 sampai ke pukul 24.00 mengalami penurunan.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pada Turbin gas FT.ALT dengan seri 244351 Rugi generator tertinggi pada temperatur ambien 29,7 °C, 29,3 °C, 28,5 °C, 27,6 °C dengan daya keluaran generator 15MW dengan rugi generator sebesar 84465,30 Watt, Dari penelitian didapat nilai efisiensi siklus pada turbin gas selalu mengalami perubahan efisiensi nilai maksimum dari efisiensi generator dalam satu hari menggunakan simulasi adalah 99,44 % yaitu pada jam 17.00 dan 18.00 dan perhitungan manual adalah 99,44 % yaitu pada jam 17.00 dan 18.00, Nilai rata-rata efisiensi generator dalam satu hari menggunakan simulasi adalah 99,67 % dan perhitungan manual adalah 99,67 %, Nilai rata-rata dari daya serap kompresor dalam satu hari untuk simulasi adalah 51,24 KJ/kg dan perhitungan manual adalah 51,24 KJ/kg, Nilai rata-rata dari rugi daya generator dalam satu hari adalah 49751,50 Watt dan perhitungan manual adalah 49751,50 Watt.

6. Daftar Pustaka

- [1] Nadhifah Hidayati, 2017, "Kaji Performa Turbin Gas Sebelum Dan Setelah Overhaul Combustion Inspection Di Gtg Utilitas I Pabrik PT Petrokimia Gresik Kaji Performa Turbin Gas Sebelum Dan Setelah Overhaul Combustion Inspection Di GTG Utilitas I Pabrik PT . Petrokimia Gresik," Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [2] Lindsley, John. Grist, and David. Parker, Thermal Power Plant Control and Instrumentation: The control of boilers and HRSGs. 2018.
- [3] M. P. Boycend, GasTurbine Engineering Handbook. 2002.
- [4] J. H. Horlock and W. W. Bathie, Advanced Gas Turbine Cycles, vol. 126, no. 4. 2004.
- [5] Kusnandar, 2000, "Pengaruh Kondisi Lingkungan Terhadap Kinerja Turbin Gas Centaur T-4702 Pada Platform Off-Shore North West Java," Tugas Akhir Fakulats Teknik Universitas. Indonesia.

- [6] Muhammaid, Ibnu hajar, 2019, “Analisis Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Generator Unit 2 PLTP PT. Indonesia Power UPJP Kamojang,” vol. 8, no. 2, pp. 93–102.
- [7] Dianta Mustofa Kamal, Nadira Firbarini, 2021 , Pengaruh Temperatur Inlet Kompresor Terhadap Kinerja Peralatan Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Seminar Nasional – XX ISSN 1693-3168 Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri Kampus ITENAS
- [8] Chandra Buana, Sri Suwasti, Arman, Hafizh, 2018, Analisis Pengaruh Tekanan Dan Temperatur Udara Terhadap Kinerja Turbin Gas Pada Sistem Pltgu Pada Pt. Consolidate Electric Power Asia, Jurnal SINERGI NO.2, TAHUN 16.