

ANALISIS EFISIENSI THERMAL UNTUK MENENTUKAN BEBAN OPTIMAL PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS MENGUNAKAN METODE SIKLUS BRAYTON

Amar Syahidin¹, Sabar Setiawidayat², Faqih³

^{1,2,3}) Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Widya Gama

Email: syahidinamar@gmail.com

Abstrak

Pengoperasian PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas) blok 2 di Grati masih kurang efisien, dikarenakan sering berubahnya pembebanan pada generator. Berdasarkan laporan efisiensi pembangkit UPJP Grati tahun 2018 untuk unit 1 sebesar $\pm 27\%$, unit 2 sebesar $\pm 27\%$ dan unit 3 sebesar $\pm 26\%$. Efisiensi blok 2 harus dijaga semaksimal mungkin, yaitu dengan cara menentukan beban yang optimal pada masing-masing unit generator di blok 2. Metode siklus brayton digunakan untuk menentukan beban yang optimal dengan menghitung efisiensi thermal dari PLTG. Parameter yang dibutuhkan yaitu tekanan dan temperatur sisi inlet dan outlet dari kompressor dan turbin. Hasil dari metode ini diketahui bahwa beban yang optimal pada masing-masing unit di blok 2 yaitu dibeban maksimum (100 MW). Pada metode ini juga diketahui unit yang paling tinggi efisiensinya yaitu unit 1 sebesar 33 % sedangkan unit 2 sebesar 31.3 % dan unit 3 sebesar 31.7 %. Jika blok 2 dioperasikan dengan pembebanan 100 MW maka efisiensinya akan maksimal dibandingkan dengan pembebanan yang berubah-ubah seperti sekarang.

Kata Kunci : PLTG, Efisiensi Thermal, Brayton, Beban Optimal

Abstract

The operation of block 2 of the Gas Power Plant in Grati is still not efficient, due to frequent changes to the generator. Based on the report on UPJP Grati generator efficiency in 2018 for unit 1 is 27.5%, unit 2 is 27% and unit 3 is 26.5%. The efficiency of block 2 must be kept as much as possible, namely by determining the optimal load on each generator unit in block 2. The brayton cycle method is used to determine the optimal load by calculating the thermal efficiency of the PLTG. The parameters needed are pressure and temperature inlet and outlet sides of the compressor and turbine. The results of this method are known that the optimal load in each unit in block 2 is maximum load (100 MW). In this method, it is also known that the unit with the highest efficiency is unit 1 by 33% while unit 2 is 31.3% and unit 3 is 31.7%. If block 2 is operated with a load of 100 MW, the efficiency will be maximized compared to the changing load as it is now.

Keywords : Power Plant, Thermal Efficiency, Brayton cycle, Optimal Load

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik milik PT Indonesia Power khususnya di Grati memiliki 3 blok pembangkit yaitu blok 1 dengan Pembangkit Listrik Tenaga Gas-Uap (PLTGU) berkapasitas 450 M. Blok 2 Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) dengan kapasitas 300 MW, dan blok 3 yang sedang dalam masa proyek. Pengoperasian PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas) blok 2 di Grati masih kurang efisien, dikarenakan sering berubahnya pembebanan pada generator. Berdasarkan laporan efisiensi pembangkit UPJP Grati tahun 2018 untuk unit 1 sebesar $\pm 27\%$, unit 2 sebesar $\pm 27\%$ dan unit 3 sebesar $\pm 26\%$. Efisiensi blok 2 harus dijaga semaksimal mungkin, yaitu dengan cara menentukan beban yang optimal pada masing-masing unit generator di blok 2. Metode siklus brayton digunakan untuk menentukan beban yang optimal dengan menghitung efisiensi *thermal* dari PLTG. Parameter yang dibutuhkan yaitu tekanan dan temperatur sisi *inlet* dan *outlet* dari kompresor dan turbin.

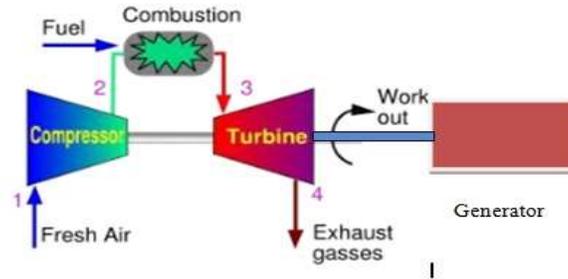
Beberapa penelitian terkait efisiensi *thermal* pada PLTG telah dilakukan yaitu oleh Novi Gusnita dan Kaudir Saputra Said [2], mereka menghitung efisiensi *thermal* pada PLTG agar dapat menggabungkan siklus brayton dengan rankine, namun untuk menggabungkan 2 siklus membutuhkan biaya yang sangat besar dikarenakan membutuhkan HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*) dan 1 set peralatan *steam turbine generator*. Penggunaan metode lagrange multipliers [3], dengan metode tersebut mereka hanya membandingkan efisiensi pembangkit listrik dengan menggunakan BBM (Bahan Bakar Minyak) dan BBG (Bahan Bakar Gas). Penelitian yang dilakukan oleh Sunarwo, Teguh Harijono M [4] yaitu hanya membandingkan efisiensi *thermal* pada PLTG sebelum dan setelah di *overhaul* sisi *combustor*.

Beban yang optimal dapat diketahui dengan mengetahui efisiensi *thermal* paling tinggi terhadap beban pada masing-masing unit PLTG blok 2, oleh karena itu dilakukan penelitian ini dengan judul “analisis efisiensi *thermal* pada pembangkit listrik tenaga gas blok 2 dengan metode siklus brayton di PT Indonesia Power Grati”. Pada penelitian ini menggunakan metode siklus brayton karena cara kerja turbin gas menggunakan metode siklus brayton sehingga sangat tepat bila menggunakan metode tersebut untuk menentukan beban paling optimal pada PLTG di blok 2 Grati.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Prinsip Kerja PLTG

Turbin gas merupakan mesin dengan proses pengoperasian dalam (*internal combustion*). Bahan bakar berupa minyak atau gas alam dibakar di dalam ruang pembakaran (*combustor*). Udara yang memasuki kompresor setelah mengalami tekanan bersama-sama dengan bahan bakar disemprotkan ke ruang pembakaran untuk melakukan proses pembakaran. Gas panas ini berfungsi sebagai fluida kerja yang memutar roda turbin bersudu yang terkopel dengan generator kemudian mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Berikut adalah skema PLTG seperti yang telah dijelaskan [5].

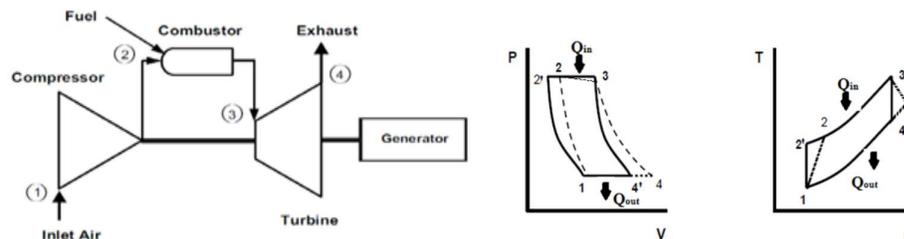


Gambar 1. Skema PLTG

Seperti yang terlihat pada gambar 1 bahwa kompresor, turbin dan generator terdapat pada satu poros atau saling terhubung sehingga bila turbin berputar maka generator akan ikut berputar untuk menghasilkan energi listrik.

2.2 Siklus Brayton

Siklus Brayton adalah siklus daya termodinamika atau sebuah konsep dasar untuk gas turbin yang ditemukan oleh George Brayton pada tahun 1870. Turbin gas secara termodinamika bekerja dengan siklus Brayton. Sistem turbin gas berdasarkan siklus brayton dapat dilihat pada P-V diagram dan T-S diagram dibawah ini [7].



Gambar 2 Urutan Siklus Brayton

Keterangan dari gambar 2 adalah seperti berikut:

1 – 2' – 3 – 4' = Proses turbin gas ideal

1 – 2 – 3 – 4 = Proses turbin gas aktual

Berikut adalah proses siklus brayton berdasarkan pada gambar 7 :

[1 – 2] Proses Kompresi

Udara luar (atmosfer) dimampatkan secara adiabatik yaitu jika silinder diisolasi secara sempurna terhadap panas, maka kompresi akan berlangsung tanpa ada panas yang keluar atau masuk kedalam gas dan menimbulkan perubahan-perubahan variabel, seperti volume mengecil ($V_1 > V_2$), tekanan membesar ($P_1 < P_2$). Pada kenyataannya proses adiabatik tidak pernah terjadi secara sempurna [7]. Jumlah kerja pada kompresor bisa dihitung dengan menggunakan tahapan rumus - rumus dibawah ini [6].

$$\left(\frac{T_2'}{T_1}\right) \times \left(\frac{P_2'}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (1)$$

Keterangan :

- T2' : Temperatur udara ideal keluaran kompresor K
- T1 : Temperatur udara luar (*Inlet* kompresor) K
- P2' : Pressure udara ideal *outlet* kompresor kg/cm²
- P1 : Pressure udara luar kg/cm²
- K : Konstanta (1,4)

$$\eta_c = \frac{h_2' - h_1}{h_2 - h_1} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan :

- h₁ : Entalpi dari T1 kJ/kg
- h₂ : Entalpi dari T2' kJ/kg

$$\dot{m}_a = \frac{Q_{in} - (\dot{m}_f \times h_3)}{(h_3 - h_2)} \quad (3)$$

Keterangan :

- \dot{m}_a : Laju aliran udara kg/s
- h₂ : Entalpi dari T2 kJ/kg
- Q_{in} : Nilai kalor yang masuk kJ/s
- h₃ : Entalpi dari T3 kJ/kg
- \dot{m}_f : Laju aliran bahan bakar kg/s

$$(W_{ca}) = \frac{\dot{m}_a \times (h_2 - h_1)}{\eta_c} \quad (4)$$

Keterangan :

- W_{ca} : Kerja kompresor kJ/s
- \dot{m}_a : Laju aliran udara kg/s
- h₁ : Entalpi dari T1 kJ/kg
- h₂ : Entalpi dari T2 kJ/kg
- η_c : Efisiensi Kompresor %

[2 – 3] Proses Pembakaran

Bahan bakar ditambahkan / dicampurkan dengan udara bertekanan yang dialirkan melalui *diffuser* menuju ruang bakar . Fungsi *diffuser* disini adalah untuk memperlambat kecepatan (*velocity*) udara sehingga udara bercampur secara sempurna dengan bahan bakar. Nilai kalor pada hasil pembakaran bisa dihitung dengan menggunakan tahapan rumus dibawah ini [6].

$$(Q_{in}) = \dot{m}_f \times LHV \quad (5)$$

Keterangan :

- Q_{in} : Nilai kalor yang masuk kJ/s
- LHV : *Heating Value* kJ/kg
- \dot{m}_f : Laju aliran bahan bakar kg/s

[3 – 4] Proses Ekspansi

Gas hasil proses pembakaran diekspansikan melalui nozzle. Bagian turbin mengubah energi kinetik gas panas hasil pembakaran dari ruang bakar menjadi tenaga putar mekanis. Pada proses ekspansi berlangsung terjadi gesekan antara gas hasil pembakaran dengan sudu-sudu turbin, sehingga temperatur gas buang yang keluar dari turbin menjadi lebih tinggi dari pada proses ideal (isentropis) [7]. Jumlah kerja dan efisiensi pada turbin dapat dihitung dengan menggunakan tahapan rumus - rumus dibawah ini [6].

$$\eta_t = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_4} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan :

- η_t : Efisiensi turbin gas %
- h_3 : Entalpi dari T3(Temperatur ruang bakar) kJ/kg
- h_4 : Entalpi dari T4'(Temperatur *exhaust* teoritis) kJ/kg
- h_4 : Entalpi dari T4(Temperatur *exhaust*) kJ/kg

$$W_{ta} = (\dot{m}_a + \dot{m}_f) \times (h_3 - h_4) \times \eta_t \quad (7)$$

Keterangan :

- W_{ta} : Kerja turbin kJ/s
- \dot{m}_f : *Flow* bahan bakar kg/s
- \dot{m}_a : Laju aliran udara kg/s
- η_t : Efisiensi turbin gas %
- h_3 : Entalpi dari T3(Temperatur ruang bakar) kJ/kg
- h_4 : Entalpi dari T4(Temperatur *exhaust*) kJ/kg

[4 – 1] Proses Pembuangan

Exhaust gas hasil pembakaran dikeluarkan menuju *regenerator* (jika ada), melalui suatu sistem *exhaust duct* (saluran pengeluaran) tetapi jika tidak ada *regenerator*, gas hasil pembakaran langsung dialirkan keudara bebas dan membuat proses *exhaust* selancar mungkin [7].

Efisiensi *thermal* adalah ukuran tanpa dimensi yang menunjukkan performa peralatan *thermal*. Berdasarkan hukum pertama termodinamika, *output* tidak bisa melebihi *input* hal tersebut dikarenakan adanya gesekan, hilangnya panas maupun faktor lain sehingga efisiensi *thermal* tidak pernah mencapai 100%. Efisiensi *thermal* pada PLTG dapat dicari dengan menggunakan rumus seperti berikut [6].

$$\eta_{th} = \frac{W_{ta} - W_{ca}}{\dot{m}_f \times LHV} \times 100\% \quad (8)$$

Keterangan :

- η_{th} : Efisiensi *thermal* %
- W_{ca} : Kerja kompressor kJ
- W_{ta} : Kerja turbin kJ/s
- LHV : *Heating Value* kJ/kg
- \dot{m}_f : *Flow* bakar kg/s

3. METODE

Penelitian ini dilakukan berdasarkan pendekatan kuantitatif dengan mengumpulkan data-data operasi PLTG Blok 2 PT Indonesia Power Grati. Selanjutnya melakukan analisis efisiensi *thermal* pada PLTG untuk menentukan beban yang optimal pada masing-masing unit. Metode yang digunakan untuk analisis efisiensi *thermal* yaitu metode siklus brayton. Setelah perhitungan menggunakan metode siklus brayton hasilnya akan dianalisa untuk menentukan beban yang optimal, nantinya bisa dijadikan rekomendasi untuk PT Indonesia Power grati dalam pengoperasian PLTG Blok 2.

Untuk pengolahan data menggunakan *software* matlab berbasis GUI (*Graphical User Interface*). Matlab merupakan sebuah aplikasi dengan bahasa pemrograman tingkat tinggi yang dikembangkan oleh MathWorks dan dikhususkan untuk komputasi numerik, visualisasi, dan pemrograman. Peneliti menggunakan matlab untuk pengolahan data yang akan dianalisa berikut adalah perancangan pengolahan data menggunakan *software* matlab.

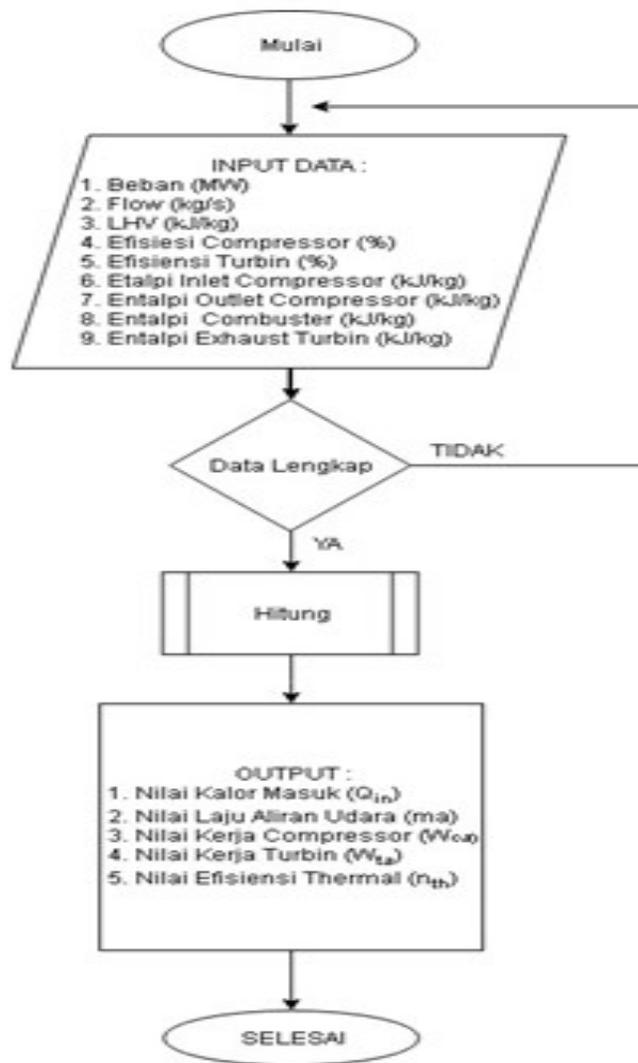
a. Pengumpulan data analisis

Data yang akan diolah oleh matlab yaitu seperti pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Pengumpulan data analisis

No	Beban (MW)	Flow Gas (kg/s)	LHV (kJ/kg)	Efisiensi Comp (%)	Efisiensi Turbin (%)	Entalpi h1 (kJ/kg)	Entalpi h2 (kJ/kg)	Entalpi h3 (kJ/kg)	Entalpi h4 (kJ/kg)
1									
2									
3									
4									

b. Flow chart program



Gambar 3. Flow Chart Program

Gambar 3 merupakan alur dari program yang akan dibuat. Data pada tabel 1 akan menjadi *input* aplikasi tersebut, ketika diberi perintah maka akan menghasilkan *output* berupa nilai kalor yang masuk (Q_{in}), nilai laju aliran udara (ma), Kerja kompressor (W_{ca}), Kerja turbin (W_{ta}) dan efisiensi *thermal* (η_{th}).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

Di bawah ini adalah tabel data sisi *input* dan *output* dari Turbin gas blok 2 Grati unit 1, 2, dan 3 dengan kapasitas maksimum masing-masing 100MW. Data aktual diambil dari logsheet blok 2 yang diisi oleh operator CCR (*Central Control Room*).

Tabel 2. Data PLTG Blok 2

Blok 2 Unit 1							
Beban (MW)	Flow Gas (kg/s)	LHV (kJ/kg)	Pressure Combustor (kg/cm ²)	Pressure Outlet Compressor (kg/cm ²)	Temperature Inlet Compressor (°C)	Temperature Outlet Compressor (°C)	Temperature Exhaust (°C)
30.9	5.12	10183	10.62	11.76	30	383.3	316.3
50	6.06	10183	11.09	11.87	28.7	393	379
75	7.96	10183	11.89	12.45	26.9	395.8	417
100.7	9.96	10183	12.48	13.04	30.06	411.7	497.56
Blok 2 unit 2							
31.5	4.97	10183	10.66	11.76	29.5	377.2	305.2
50.8	6.15	10183	11.14	11.89	31.4	389.5	379.5
74.2	7.75	10183	11.86	12.42	26.4	391.7	410.3
102.6	9.98	10183	12.5	13.06	29.5	405.3	427.7
Blok 2 Unit 3							
30	5.24	10183	10.48	11.78	30	381.1	323.95
50	6.09	10183	11.15	11.9	28.62	393	399.1
73	7.91	10183	11.66	12.25	30.3	399	421.2
100	9.79	10183	12.41	12.97	30.12	407.1	486.1

Sesuai Tabel 2 di atas bahwa blok 2 terdiri dari 3 unit PLTG dengan spesifikasi mesin yang sama dan umur mesin yang sama. Data diambil pada beban ± 30 MW, ± 50 MW, ± 70 MW dan ± 100 MW dikarenakan pada masing-masing unit blok 2 pola pembebanan tersebut yang sangat sering disetting oleh operator CCR. Mencari nilai efisiensi *thermal* pada masing-masing unit dibutuhkan nilai entalpi pada masing-masing temperatur (*inlet compressor*, *outlet compressor*, *combustor*, dan *exhaust*). Nilai entalpi didapat dari tabel gas ideal dengan menggunakan metode interpolasi linier, selain itu juga membutuhkan nilai efisiensi kompresor dan turbin yang dapat dihitung menggunakan rumus 2 dan 6.

Berikut adalah pengolahan data PLTG blok 2 unit 1 pada tabel 4.1 di beban 30.9 MW. Pengolahan data pada beban dan unit lainnya menggunakan cara perhitungan yang sama.

1. Entalpi h_1 (*Inlet Compressor*)

$$T_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C} = 303.15 \text{ K}$$

$$h_1 = 300,19 + \left(\frac{(303,15-300) \times (305,22-30,19)}{(305-300)} \right) = 303,3589 \text{ kJ/kg}$$

2. Entalpi h_2 (*Outlet Compressor*)

$$T_2 = 383.3 \text{ }^\circ\text{C} = 656.45 \text{ K}$$

$$h_2 = 659.84 + \left(\frac{(656,45-650) \times (670,47-659,84)}{(660-650)} \right) = 666,69635 \text{ kJ/kg}$$

Untuk mencari h_3 (Entalpi *Combustor*) dapat dicari dengan P_{r3} pada tabel gas ideal menggunakan interpolasi linier P_{r3} dihitung menggunakan rumus berikut.

$$P_{r3} = P_{r4} \times \left(\frac{P_3}{P_4} \right)$$

P_{r4} di dapat dari table gas ideal pada T_4 (Temperatur *Exhaust*) sehingga P_{r4} :

$$T_4 = 316.3 \text{ }^\circ\text{C} = 589,45 \text{ K}$$

$$P_{r4} = 14.48 + \left(\frac{(589,45-580) \times (15,31-0,38)}{(590-5)} \right) = 15.259$$

Maka,

$$\begin{aligned} P_{r3} &= P_{r4} \times \left(\frac{P_3}{P_4} \right) \\ &= 15.259 \times \left(\frac{10,62}{1,015} \right) = 159.654 \end{aligned}$$

P3 = *Pressure Combustor* (kg/cm²)

P4 = *Pressure Exhaust* (kg/cm²)

Sehingga h_3

3. Entalpi h_3 (*Combustor*)

$$h_3 = 1137.89 + \left(\frac{(159.654-155.2) \times (1161.07-1137.89)}{(167.1-155.2)} \right) = 1146.5663 \text{ kJ/kg}$$

$$T_3 = 1080 + \left(\frac{(1146.5663-1137.89) \times (1100-108)}{(1161.07-1137.89)} \right) = 1087.49 \text{ }^\circ\text{K}$$

T₃ = *Temperatur Combustor*

4. Entalpi h_4 (*Exhaust*)

$$T_4 = 316.3 \text{ }^\circ\text{C} = 589.45 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$h_4 = 586.04 + \left(\frac{(589.45-) \times (596.52-586.04)}{(590-580)} \right) = 595.9436 \text{ kJ/kg}$$

5. Entalpi h_2^1 (*Outlet compressor teoritis*)

$$\begin{aligned} T_2' &= T_1 \times \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} && k = \text{Konstanta (1.4)} \\ &= 303.15 \times \left(\frac{11,76}{1,015} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 610.437 \text{ }^\circ\text{K} \end{aligned}$$

Sehingga h_2^1

$$h_2^1 = 617.53 + \left(\frac{(610.437-610) \times (628.07-617.53)}{(620-6)} \right) = 617.991 \text{ kJ/kg}$$

Setelah entalpi *outlet compressor teoritis* diketahui maka dapat mencari nilai dari efisiensi kompresor menggunakan rumus berikut.

$$\begin{aligned} \eta_c &= \frac{h_2^t - h_1}{h_2 - h_1} \times 100\% \\ &= \frac{(617.991 - 303.3589) \text{ kJ/kg}}{(666.69635 - 303.3589) \text{ kJ/kg}} \times 100\% = 86,595\% \end{aligned}$$

6. Entalpi h_4^1 (*Exhaust teoritis*)

$$\begin{aligned} T_4' &= T_3 \times \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} \\ &= 1087.49 \times \left(\frac{1,015}{10,62} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 556.03 \text{ }^\circ\text{K} \end{aligned}$$

Sehingga h_4^1

$$h_4^1 = 554.740 + \left(\frac{(556.03-550) \times (565.170-554.740)}{(560-5)} \right) = 561.022 \text{ kJ/kg}$$

Setelah entalpi *exhaust* teoritis diketahui maka dapat mencari nilai dari efisiensi turbin menggunakan rumus berikut.

$$\begin{aligned}\eta_t &= \frac{h_3-h_4}{h_3-h_4'} \times 100\% \\ &= \frac{(1146.5663 - 595.9436)kJ/kg}{(1146.5663 - 561.022)kJ/kg} \times 100\% = 94.036 \%\end{aligned}$$

Setelah nilai entalpi masing-masing temperatur (*Inlet compressor, Outlet compressor, dan exhaust temperature*) serta nilai efisiensi kompresor dan turbin diketahui maka dapat dicari nilai efisiensi *thermal* dengan menggunakan aplikasi yang telah dibuat. Berikut ini adalah perhitungan efisiensi *thermal* secara manual dibeban 30.9 MW di blok 2 unit 1 untuk memastikan bahwa aplikasi yang dibuat dapat dipercaya hasilnya.

7. Menghitung Nilai kalor yang masuk (Q_{in})

$$\begin{aligned}(Q_{in}) &= \dot{m}_f \times LHV \\ &= 5.12 \text{ kg/s} \times 10183 \text{ kJ/kg} = 52136.9 \text{ kJ/s}\end{aligned}$$

8. Menghitung Laju Aliran Udara (\dot{m}_a)

$$\begin{aligned}\dot{m}_a &= \frac{Q_{in} - (\dot{m}_f \times h_3)}{(h_3 - h_2)} \\ &= \frac{52136.9 - (5.12 \times 1146.5663)}{(1146.566 - 666.696)} = 96.41 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

9. Menghitung kerja kompresor (W_{ca})

$$\begin{aligned}W_{ca} &= \frac{\dot{m}_a \times (h_2 - h_1)}{\eta_c} \\ &= \frac{96.41 \times (666.696 - 303.358)}{0.8659} = 40454.99 \text{ kJ/s}\end{aligned}$$

10. Menghitung kerja turbin (W_{ta})

$$\begin{aligned}W_{ta} &= (\dot{m}_a + \dot{m}_f) \times (h_3 - h_4) \times \eta_t \\ &= (96.41 + 5.12) \times (1146.5663 - 595.9436) \times 0.94036 = 52569.03 \text{ kJ/s}\end{aligned}$$

11. Menghitung efisiensi *thermal* (η_{th})

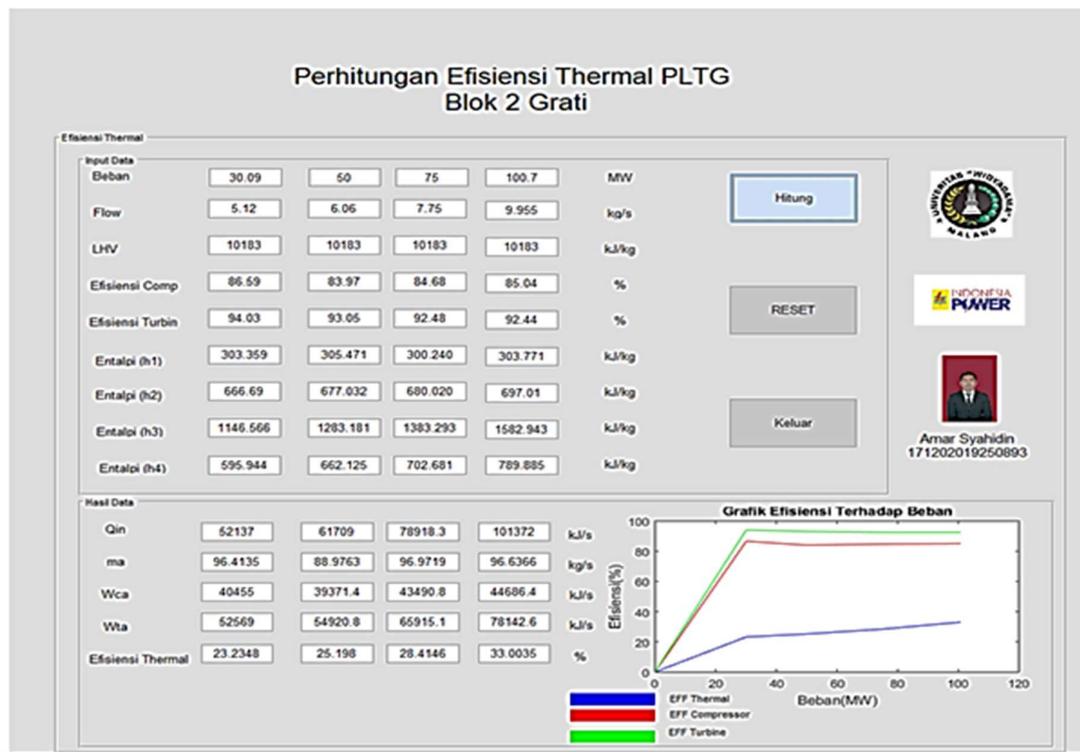
$$\eta_{th} = \frac{W_{ta} - W_{ca}}{\dot{m}_f \times LHV} \times 100\% = \frac{(52569.03 - 40454.99)kJ/kg}{5.12 \times 10183} \times 100\% = 23.23 \%$$

Berikut adalah data hasil dari perhitungan nilai entalpi, efisiensi kompresor dan efisiensi turbin PLTG blok 2.

Tabel 3. Hasil Perhitungan PLTG Blok 2

Blok 2 Unit 1								
Beban MW	Flow (kg/s)	LHV (kJ/kg)	Eff Comp (%)	Eff Turb (%)	h1 (kJ/kg)	h2 (kJ/kg)	h3 (kJ/kg)	h4 (kJ/kg)
30,09	5,12	10183	86,59488	94,036	303,359	666,696	1146,566	595,944
50	6,06	10183	83,97451	93,054	305,471	677,032	1283,181	662,125
75	7,75	10183	84,68863	92,488	300,240	680,020	1383,293	702,681
100,7	9,955	10183	85,04018	92,444	303,771	697,010	1582,943	789,885
Blok 2 Unit 2								
31.5	4,97	10183	87,88855	94,217	302,856	660,212	1126,274	584,316
50,8	6,15	10183	86,35059	93,044	304,767	673,298	1285,699	662,657
74,2	7,75	10183	85,28927	92,595	299,738	675,645	1369,164	695,512
102,6	9,98	10183	86,13883	91,697	302,856	690,165	1525,452	768,216
Blok 2 Unit 3								
30	5,24	10183	86,43824	94,676	303,359	664,358	1157,347	599,565
50	6,09	10183	84,05587	92,776	301,971	677,032	1324,707	683,436
73	7,96	10183	84,92443	92,434	303,661	683,436	1384,562	707,196
100	9,79	10183	85,70242	91,597	303,480	692,088	1539,755	777,363

Data hasil perhitungan pada tabel 3 akan dimasukkan kedalam aplikasi yang telah dibuat sehingga, nilai dari efisiensi *thermal* pada masing-masing beban di tiap-tiap unit blok 2 dapat diketahui nilainya. Berikut adalah hasil dari blok 2 unit 1.



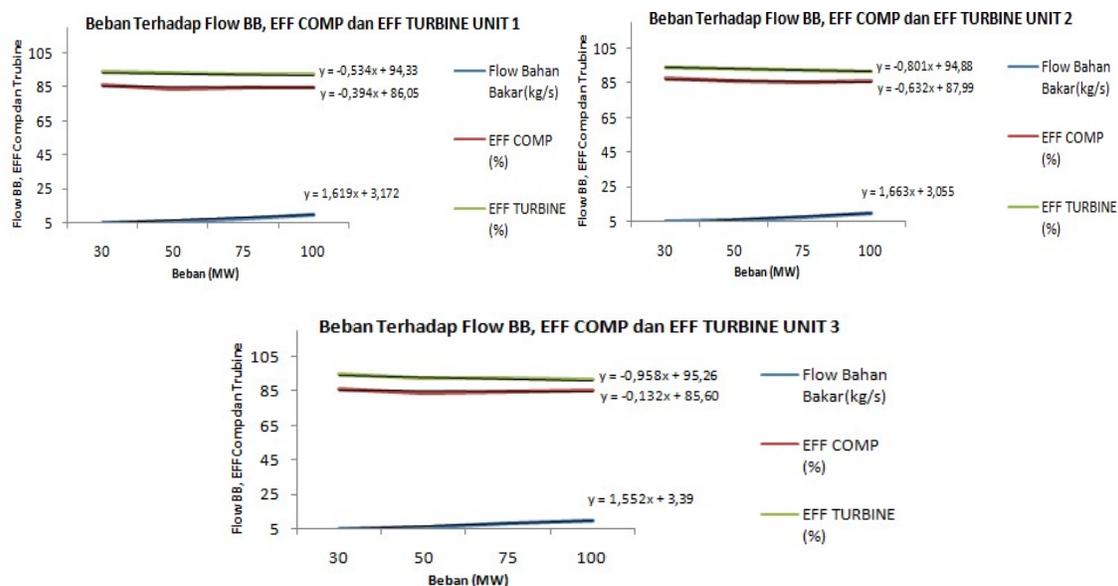
Gambar 4. Hasil pengolahan data PLTG blok 2 unit 1

Pada Gambar 4 menjelaskan bahwa efisiensi *thermal* pada blok 2 unit 1 tertinggi pada beban 100.7 MW yaitu di nilai 33.0035 % dengan efisiensi kompresor sebesar 85.04 % dan efisiensi turbin sebesar 92.44 %. Hasil pada blok 2 unit 2 dan 3 dilakukan dengan cara yang sama yaitu memasukkan data pada tabel 3 kedalam aplikasi sehingga menghasilkan nilai efisiensi *thermal*. Berikut adalah tabel efisiensi *thermal* PLTG blok 2 yang di sudah diproses sebagaimana tabel 4.

Tabel 4. Efisiensi Thermal PLTG Blok 2

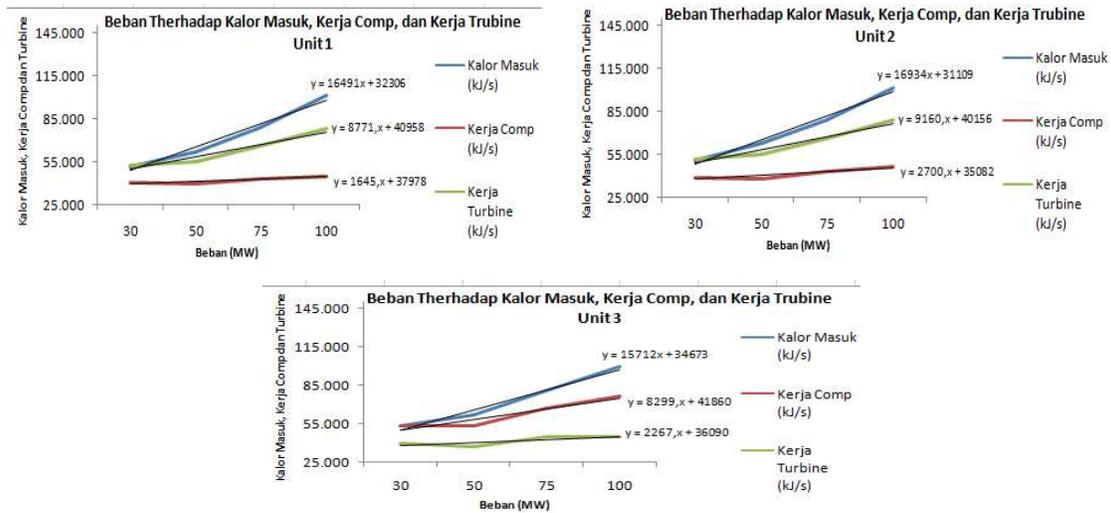
Blok 2 Unit 1							
Beban (MW)	Flow (kg/s)	Effisiensi Comp (%)	Effisiensi Turbine (%)	Kalor Masuk (kJ/s)	Kerja Comp (kJ/s)	Kerja Turbine (kJ/s)	Efisiensi Thermal (%)
30,09	5,12	86,59	94,03	52137	40455	52569	23,2348
50	6,06	83,97	93,05	61709	39731,4	54920,8	25,198
75	7,75	84,68	92,48	78918,3	43490,8	65915,1	28,4146
100,7	9,955	85,04	92,44	101372	44686,4	78142,6	33,0035
Blok 2 Unit 2							
31,5	4,97	87,88	94,21	50609,5	39273,1	51848,9	24,8487
50,8	6,15	86,35	93,044	62625,5	38133,7	55362	27,51
74,2	7,75	85,28	92,59	78918,3	43415,2	66267,8	28,9574
102,6	9,98	86,13	91,69	101626	46515	78748,8	31,718
Blok 2 Unit 3							
30	5,24	86,43	94,67	53358,9	40069,5	53425,2	25,0298
50	6,09	84,05	92,77	62014,5	37168,4	53174,8	25,8106
73	7,96	84,92	92,43	81056,7	44672,4	67523,8	28,1919
100	9,79	85,70	91,59	99386,1	45126,6	76306	31,3721

Setelah nilai efisiensi *thermal* tiap unit di blok 2 diketahui, langkah selanjutnya adalah melakukan analisa untuk menentukan beban berapa yang paling optimal agar efisiensi blok 2 tetap maksimal. Berikut adalah gambar grafik beban terhadap *flow* bahan bakar, efisiensi kompresor dan turbin pada blok 2.



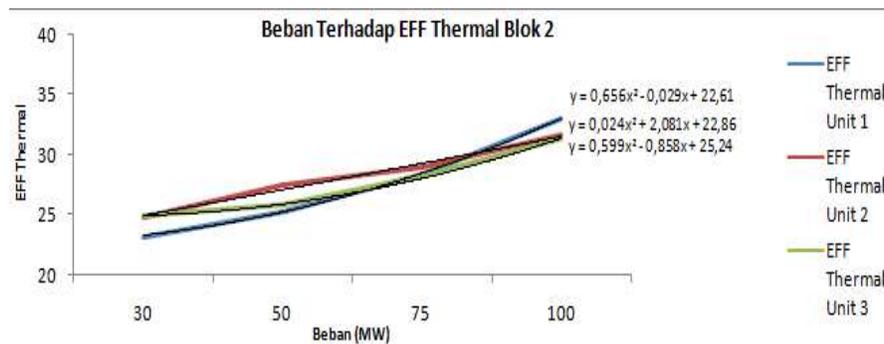
Gambar 5. Grafik *Flow*, *Eff Comp* dan *Turbine* Blok 2

Gambar 5 dapat dilihat bahwa bahan bakar mengikuti kenaikan beban, jika beban naik maka konsumsi bahan bakar juga naik. Efisiensi turbin akan menurun bila beban terus dinaikan dikarenakan terjadi gesekan antara gas hasil pembakaran dengan sudu turbin sehingga menyebabkan temperatur gas buang semakin tinggi. Berikut adalah gambar grafik dari kalor masuk, kerja kompresor dan turbin pada blok 2.



Gambar 6. Grafik Kalor Masuk, Kerja Comp dan Turbine Blok 2

Gambar 6 menjelaskan bahwa kalor masuk, kerja kompresor dan turbin akan meningkat ketika beban meningkat karena bila konsumsi bahan bakar bertambah maka kalor yang masuk juga bertambah sehingga menyebabkan kerja kompresor dan turbin bertambah. Berikut adalah grafik dari efisiensi *thermal* pada blok 2.



Gambar 7. Grafik Efisiensi Thermal Blok 2

Efisiensi *thermal* masing-masing unit di blok 2 akan terus meningkat ketika beban pada generator meningkat hal tersebut dapat dilihat pada gambar 7. Efisiensi *thermal* paling tinggi yaitu pada beban maksimum (100 MW) dikarenakan dengan *flow* bahan bakar ± 9.9 kg/s dan *heating value* sebesar 10183 kJ/kg dapat menghasilkan kerja turbin sebesar ± 78000 kJ/s.

4.2 Analisa Hasil

Setelah dilakukan pengolahan data dengan menggunakan perhitungan dan aplikasi maka dapat dianalisa bahwa beban yang optimal pada masing-masing unit PLTG di blok 2 yaitu dibeban maksimum ± 100 MW. Beban ± 100 MW dikatakan paling efisien dikarenakan dengan *flow* bahan bakar sebesar ± 9.9 kg/s dan *heating value* sebesar 10183 kJ/kg dapat menghasilkan kerja turbin sebesar ± 78000 kJ/s.

Hasil dari penelitian ini juga dapat disimpulkan bahwa unit yang efisiensinya paling tinggi di PLTG blok 2 yaitu pada unit 1 yaitu dengan nilai efisiensi thermalnya sebesar 33%. Sedangkan unit dengan efisiensi *thermal* terendah di blok 2 yaitu unit 3 yaitu sebesar 31.3 % namun tidak berbeda jauh dengan unit 2 yang nilai efisiensinya sebesar 31.7%.

Efisiensi blok 2 masih kurang maksimal jika tidak dioperasikan dalam beban yang maksimal berdasarkan laporan efisiensi pembangkit UPJP Grati tahun 2018 efisiensi tertinggi yaitu pada unit 1 sebesar 27,5 %, hal tersebut dikarenakan sering terjadinya perubahan beban. Setelah hasil dianalisa maka dapat disimpulkan bahwa PLTG blok 2 agar dioperasikan dengan beban yang maksimum yaitu ± 100 MW, sehingga efisiensinya berada di titik yang optimal. Sedangkan untuk prioritas unit yang dioperasikan pada PLTG blok 2 yaitu unit 1 dikarenakan unit 1 efisiensinya lebih tinggi dibanding unit 2 dan 3.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Metode siklus brayton dapat digunakan untuk menghitung efisiensi *thermal* sehingga bisa menentukan beban yang optimal di PLTG blok 2 Grati.
2. Beban yang paling optimal untuk PLTG blok 2 Grati yaitu dibeban maksimum (± 100 MW) hal tersebut dikarenakan efisiensi *thermal* tertinggi pada beban maksimum di masing-masing unit. Hal tersebut juga dikarenakan pada beban maksimum dengan *flow* bahan bakar sebesar ± 9.9 kg/s dan *heating value* sebesar 10183 kJ/kg dapat menghasilkan kerja turbin sebesar ± 78000 kJ/s.
3. Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa dari unit 1 sampai unit 3 pada PLTG blok 2 Grati efisiensi *thermal* yang paling tinggi yaitu pada unit 1 dibeban maksimum sebesar 33% dengan efisiensi kompresor sebesar 85.04 % dan efisiensi turbin sebesar 92.44 %. Sehingga unit 1 dapat dijadikan prioritas operasi dibanding dengan unit 2 dan 3.
4. Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa unit 3 memiliki efisiensi *thermal* paling rendah dibanding unit 1 dan unit 2 yaitu sebesar 31.3 % tidak beda jauh dengan unit 2 yaitu sebesar 31.7 %.
5. Efisiensi masing-masing unit meningkat jika dioperasikan dengan beban maksimum, pada unit 1 menjadi 33%, unit 2 sebesar 31.3% dan unit 3 sebesar 31.7%. Sedangkan dengan pembebanan yang berubah-ubah efisiensi unit 1 sebesar $\pm 27\%$, unit 2 sebesar $\pm 27\%$ dan unit 3 sebesar $\pm 26\%$.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Hendra K. S, I K.G. Wirawan, dan I G.K. Sukadana³, “Analisis Performansi Pembangkit Listrik Tenaga Gas P.T. Indonesia Power Pamaron,” 2018.
- [2] N. Gusnita dan K. S. Said, “Analisa Efisiensi dan Pemanfaatan Gas Buang Turbin Gas Alsthom Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Kapasitas 20 Mw,” 2017.
- [3] S. R. Permata dan A. Rahardjo, “Evaluasi Operasi Pembangkitan Tenaga Listrik Pada PT. Cikarang Listrindo Menggunakan Metode Lagrange Multipliers,” 2013.
- [4] Teguh Harijono M, “Analisa Efisiensi Turbin Gas Unit 1 Sebelum Dan Setelah Overhaul Combustor Inspection Di Pt Pln (Persero) Sektor Pembangkitan Pltgu Cilegon,” 2016.
- [5] Jeremias Leda, “Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Ujung Pandang,” 2010.
- [6] M. P. Boyce, *Gas turbine engineering handbook*, 2nd ed. Boston, MA: Gulf Professional Pub, 2002.
- [7] M. Faizal, B. T. Prasetyo, dan E. S. Effendy, “Analisis Performance Tm2500 Gas Turbine Generator Package Pltg X Pada Factory Test Dan Site Test,” 2017.
- [8] T. Giampaolo, *Gas turbine handbook: principles and practices*, 3rd ed. Lilburn, GA: Boca Raton, FL: Fairmount Press; Distributed by CRC Press/Taylor & Francis, 2006.
- [9] Yunus A. Cengel dan Michael A. Boles, *Thermodynamic an Engineering Approach*, 5 ed. New York: MC. Graw-Hill, 2006.
- [10] S. Rani, “Modul Pelatihan Pemrograman MATLAB,” 2013.
- [11] I. Yuliasuti dan L. Rahmasari, “Pembuatan Aplikasi Program Matlab untuk Menganalisa Sifat Lasing Kaca TZBN Yang Didadah Ion Nd³⁺ sebagai Bahan Material Host Laser,” 2014.
- [12] Djiteng Marsudi, *Pembangkitan Energi Listrik*. Erlangga, 2005.
- [13] R. Ranjan dan D. M. Tariq, “Analysis of a Regenerative Gas Turbine Cycle for Performance Evaluation,” 2014.