

## **ANALISIS PENGARUH PEMELIHARAAN KOMPONEN PLTG TERHADAP UNJUK KERJA TURBIN GAS PT PLN UPDK BELAWAN**

**Vania Nabilah<sup>1</sup>, Rahma Serina Marpaung<sup>2</sup>, Ir. Rufinus Nainggolan, M. T.<sup>3</sup>**  
Teknik Konversi Energi<sup>1,2,3</sup>, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan  
vanianabilah@students.polmed.ac.id<sup>1</sup>, rahmamarpaung@students.polmed.ac.id<sup>2</sup>,  
rufinusnainggolan@polmed.ac.id<sup>3</sup>

### **ABSTRAK**

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan turbin sebagai penggerak utama dan gas sebagai fluida kerjanya. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) terdiri atas komponen utama dan komponen bantu. Setiap komponen memiliki peran, yang mewakili setiap tahapan proses dari siklus produksi energi listrik. Gangguan pada salah satu komponen akan berakibat pada keseluruhan sistem. Turbin gas dituntut untuk bekerja dengan temperatur yang tinggi dalam jangka waktu yang lama. Kondisi tersebut tidak seharusnya dibiarkan terus berlanjut, karena seiring waktu kemampuan turbin gas akan terus menurun. Performansi tersebut dapat dikembalikan ke kondisi semula dengan dilakukan pemeliharaan pada komponen turbin gas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemeliharaan komponen bantu PLTG terhadap unjuk kerja turbin gas. Metode yang digunakan untuk mengetahui unjuk kerja turbin gas adalah dengan menganalisis data operasi turbin gas dengan berdasarkan siklus brayton. Turbin gas yang diteliti adalah turbin gas tipe V94.2 Siemens. Setelah dilakukan pemeliharaan pada komponen turbin gas efisiensi thermal siklus brayton tetap terjaga pada batas normalnya, dimana selisih sebelum pemeliharaan pada beban 127 MW adalah sebesar 0,70 %, efisiensi siklus pada saat kondisi *commissioning* sebesar 31,3 %, efisiensi aktual sebelum pemeliharaan sebesar 29,3 % dan setelah pemeliharaan efisiensi menjadi 30 %.

**Kata Kunci :** Turbin, Gas, Pemeliharaan, Unjuk Kerja

### **PENDAHULUAN**

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan turbin sebagai penggerak utama dan gas sebagai fluida kerjanya. Turbin gas bekerja dengan cara mengkonversi energikinetik dari gas bertekanan tinggi menjadi energi mekanik yang akan menggerakkan sudu-sudu yang terdapat pada turbin. Turbin dirancang seporos dengan generator, sehingga akibat perputaran poros timbul energi mekanik yang akan dikonversikan menjadi energi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) adalah pembangkit sederhana yang terdiri atas empat komponen utama yaitu kompresor, ruang bakar, turbin gas dan generator.

Turbin gas terdiri atas komponen utama dan komponen bantu yang sudah terintegrasi dan saling mendukung. Setiap komponen memiliki peran, yang mewakili setiap tahapan proses dari siklus produksi energi listrik. Gangguan pada salah satu komponen akan berakibat pada keseluruhan sistem. Sistem turbin gas dituntut untuk bekerja dengan temperatur yang cukup tinggi dalam jangka waktu yang lama. Kondisi tersebut tidak seharusnya dibiarkan terus berlanjut, karena seiring waktu kemampuan turbin gas akan terus menurun. Unjuk kerja tersebut dapat dikembalikan ke kondisi semula dengan dilakukan pemeliharaan pada komponen turbin gas. (R. Kurz and K. Burn, 2007).

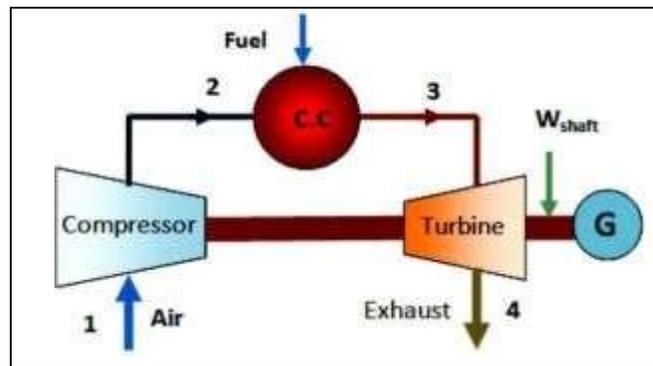
Berdasarkan permasalahan yang ada, penulis berusaha untuk mempelajari proses-proses yang dilakukan pada pemeliharaan PLTG, terutama pemeliharaan pada komponen bantu PLTG. Apa yang dimaksud dengan turbin gas, Mengapa perlu dilakukan pemeliharaan turbin gas, serta Bagaimana pengaruh pemeliharaan komponen bantu PLTG terhadap unjuk kerja turbin gas. Adapun

batasan masalah dalam penelitian ini antara lain bahan bakar yang digunakan adalah natural gas, jenis turbin gas yang digunakan adalah turbin gas tipe V94.2 Siemens, serta perhitungan unjuk kerja turbin gas.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Defenisi PLTG

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan turbin sebagai penggerak utama dan gas sebagai fluida kerjanya. Turbin gas adalah sebuah mesin yang memanfaatkan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dan udara bertekanan tinggi untuk memutar turbin. Turbin gas bekerja dengan cara mengkonversi energi kinetik dari gas bertekanan tinggi menjadi energi mekanik yang akan menggerakkan sudu-sudu yang terdapat pada turbin. Turbin dirancang seporos dengan generator, sehingga akibat perputaran poros timbul energi mekanik yang akan dikonversikan menjadi energi listrik.



Gambar 1. Diagram Alir PLTG  
Sumber: haloedukasi.com

### Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

Udara dihisap oleh kompresor kemudian di kompres hingga volume ruang udara menyempit dan menghasilkan tekanan tertentu. Kemudian udara yang bertekanan akan masuk ke dalam ruang bakar untuk digunakan dalam proses pembakaran antara udara yang bertekanan, bahan bakar dan juga panas di dalam ruang bakar untuk menghasilkan gas panas yang akan menjadi energi mekanik yang akan memutar blade turbin gas.

Proses pembakaran pada ruang bakar ini akan mengalami kenaikan temperatur dan menambah volume karena sudah terjadi penambahan kalor ( $Q_{in}$ ) pada ruang bakar, namun tidak ada proses peningkatan tekanan atau proses pembakaran ini berlangsung dalam keadaan dimana tekanannya konstan. Kemudian gas panas hasil pembakaran akan berekspansi ke turbin gas melewati komponen turbin yaitu berupa nozel yang akan mengarahkan aliran tersebut langsung ke sudu-sudu turbin gas.

Energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin akan digunakan untuk memutar kompresor dan sebagian lagi digunakan untuk memutar generator listriknya untuk menghasilkan energi listrik. Namun perlu diketahui bahwa kerugian terbesar pada komponen turbin gas terdapat pada komponen kompresor, disebabkan karena ketika turbin sudah menghasilkan daya mekanik maka daya turbin gas tersebut digunakan bukan hanya untuk memutar generator listrik saja melainkan akan terus meneruskan daya untuk memutar kompresor dan komponen lainnya. Oleh karena itu pada pembangkit listrik tenaga gas dikatakan bahwa gas turbin akan bertindak sebagai *driver* dan

## Konferensi Nasional Sosial dan Engineering Politeknik Negeri Medan Tahun 2022

komponen lainnya seperti kompresor, ruang bakar, generator akan bertindak sebagai *driven*. Setelah gas panas melewati turbin maka sisa gas ini akan langsung dibuang ke atmosfer melalui saluran buang atau *exhaust*.

### **Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)**

Berikut ini adalah komponen Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG):

#### **1. Komponen Utama PLTG**

Komponen utama PLTG adalah komponen yang menjadi dasar terciptanya PLTG. Berikut ini yang termasuk ke dalam komponen utama PLTG adalah sebagai berikut.

##### **Kompresor**

Kompresor adalah komponen yang berfungsi untuk mengkompresi udara sehingga udara tersebut dapat mengalir secara konstan memasuki daerah yang bertekanan tinggi, yaitu ruang bakar. Rumah kompresor didesain semakin mengerucut pada bagian keluarannya untuk mempertahankan tekanan dan kecepatan udara tetap konstan.

##### **Ruang Bakar**

Ruang Bakar (*Combustion Chamber*) adalah suatu tempat dimana terjadinya reaksi kimia antara bahan bakar dan udara yang berasal dari kompresor, yang kemudian akan diekspansikan ke dalam turbin. Pembakaran berlangsung dalam tekanan konstan, dikarenakan volume pada ruang bakar sangat kecil.

##### **Turbin**

Bagian ini merupakan tempat terjadinya perubahan energi panas menjadi energi mekanik. Sudu-sudu rotor dan stator turbin didesain untuk bertindak seperti sebuah nozel. Sehingga perubahan energi panas di dalam udara menjadi energi kinetik, terjadi pada setiap tingkatan sudu.

##### **Generator**

Generator merupakan alat yang dapat mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik. Didalam generator, umumnya tegangan dibangkitkan pada belitan atau sejumlah belitan yang ditempatkan pada bagian yang diam disebut stator, sedangkan medan magnetnya ditempatkan pada bagian yang berputar yang disebut rotor.

#### **2. Komponen Bantu PLTG**

##### **Sistem Udara Masuk (*Air Inlet System*)**

Berfungsi untuk menghasilkan kualitas udara yang baik untuk kompresor. Pada bagian ini terdapat filter yang berfungsi untuk menyaring udara dan *Inlet Guide Vane* yang merupakan *blade* yang berfungsi sebagai pengatur jumlah udara yang masuk agar sesuai dengan yang diperlukan.

##### **Sistem Bahan Bakar (*Fuel System*)**

Sistem bahan bakar berfungsi untuk menyediakan atau mensuplai bahan bakar ke unit turbin gas sesuai tekanan, suhu dan kebersihan yang dibutuhkan, juga ketersediaan bahan bakar; baik bahan bakar minyak maupun bahan bakar gas.

##### **Sistem Minyak Pelumas (*Lube Oil System*)**

Sistem minyak pelumas berfungsi untuk menyediakan/menyiapkan minyak pelumas yang bersih dengan tekanan dan temperatur yang dibutuhkan dan melakukan pelumasan pada setiap komponen turbin gas.

##### **Sistem Pendingin (*Cooling System*)**

Fluida pendingin yang digunakan pada sistem turbin gas adalah airdan udara. Udara dipakai untuk komponen dan mendinginkan berbagai minyak pelumas.

**Defenisi Pemeliharaan**

Pemeliharaan (*maintenance*) adalah kegiatan yang bertujuan untuk menjamin kelangsungan fungsional suatu sistem produksi (peralatan) sehingga pada saat dibutuhkan dapat dipakai sesuai dengan kondisi yang diharapkan. Tujuan kegiatan pemeliharaan pada sistem pembangkit adalah sebagai berikut:

- a. Mengembalikan performansi mesin
- b. Memperbaiki efisiensi
- c. Menjaga keandalan
- d. Mencegah terjadinya kecelakaan kerja

**Klasifikasi Pemeliharaan Pemeliharaan Tidak Terencana**

Jenis pemeliharaan yang tidak direncanakan sebelumnya yang dilakukan karena ada laporan dari operator bahwa terdapat suatu kelainan pada suatu peralatan sehingga diperlukan perbaikan, pemeliharaan ini meliputi:

- a. *First Line Maintenance*
- b. *Emergency Maintenance*
- c. *Breakdown Maintenance*
- d. *Repair / Rehabilitasi*

**Pemeliharaan Terencana**

Jenis pemeliharaan yang direncanakan sebelumnya yang dilakukan berdasarkan jangka waktu operasi yang telah melampaui batas maksimalnya sehingga perlu dilakukan perbaikan, pemeliharaan ini meliputi:

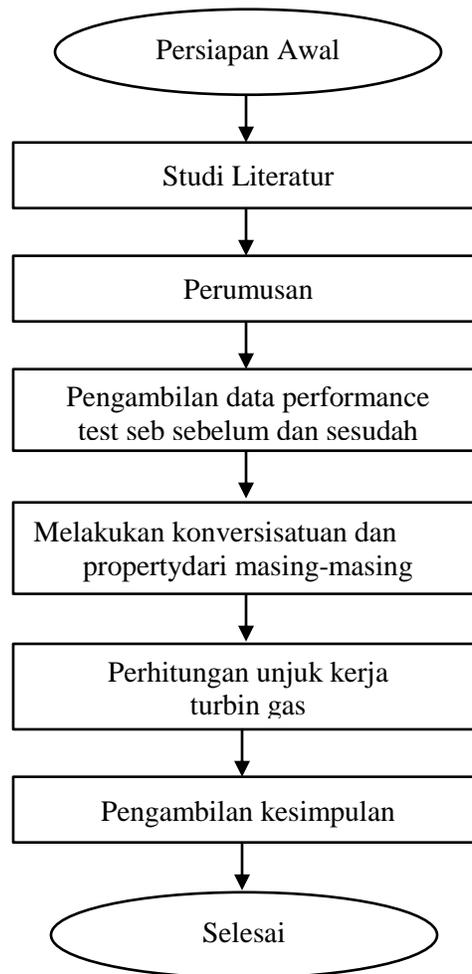
- a. *Preventive Maintenance*
- b. *Predictive Maintenance*
- c. *Corrective Maintenance*
- d. *Modification Maintenance*
- e. *Shut Down Maintenance*

**Proses Pemeliharaan Komponen Bantu PLTG**

- a. Pemeliharaan Pada Sistem Pelumas (*Lube Oil System*)
- b. Pemeliharaan Pada Sistem Pendingin (*Lube Oil Cooler*)
- c. Pemeliharaan Pada Sistem penyaring Udara (*Air Intake Filter*)
- d. Pemeliharaan Pada Bahan Bakar (*Fuel Gas System*)

**METODE PENELITIAN**

Proses penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahapan penelitian Analisis Pengaruh Pemeliharaan Komponen Bantu PLTG Terhadap Unjuk Kerja Turbin Gas Pada PT PLN UPDK Belawan terdapat pada berikut ini.



Gambar 1. Diagram penelitian

### Lokasi Penelitian

Lokasi pengambilan data penelitian ini dilakukan di PT PLN UPDK Belawan. Data yang diambil meliputi data spesifikasi dan data operasi sebelum dan sesudah pemeliharaan PLTG.

### Parameter Pengukuran dan Pengamatan

Parameter pengukuran yang dilakukan pada proses pengambilan data diambil dari beberapa data Spesifikasi dan data operasional yang berupa data tekanan gas panas pada tiap properti, temperatur gas panas pada tiap properti, dan jumlah pemakaian bahan bakar.

### Model Penelitian

Model dari penelitian yang dilakukan adalah metode penelitian kuantitatif secara survei yang didapat dari hasil alat ukur yang sudah ada pada proses tersebut dan juga dari program yang sudah ada untuk mendapatkan hasil chart/diagram dari monitor yang sudah disediakan untuk mengontrol semua proses.

### Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan berdasarkan pada data-data yang dibutuhkan dalam analisis unjuk kerja turbin gas. Kegiatan tersebut meliputi pengambilan data spesifikasi turbin gas milik PT PLN

UPDK Belawan. Studi literatur yang dilakukan yaitu mempelajari jurnal, artikel, dan juga buku-buku yang menjadi referensi yang menjadi pemahaman mengenai turbin gas. Literatur yang digunakan berasal dari jurnal dan buku padaperpustakaan Politeknik Negeri Medan dan juga dari beberapa website.

### Analisis Data

Teknik analisa data yaitu dengan menghitung daya turbin, daya kompresor, daya netto, efisiensi turbin, efisiensi ruang bakar, efisiensi kompresor, dan efisiensi thermal siklus. Semua data dihitung sampai akhirnya didapatkan grafik perbandingan unjuk kerja turbin gas untuk mengetahui apakah pemeliharaan tersebut berhasil memperbaiki unjuk kerja turbin gas atau tidak.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### HASIL

Berikut adalah Data Hasil Analisa Performansi Operasi Turbin Gas PLTG 2.1 sebelum dan sesudah pemeliharaan.

**Tabel 1.** Hasil Analisa Performansi Operasi Turbin Gas PLTG 2.1 sebelum dan sesudah pemeliharaan

No.	Properties	Design Data	Sebelum Pemeliharaan	Sesudah Pemeliharaan
1.	Kerja Kompresor	155,051	175,450	169,8845
2.	Kerja Turbin	286,063	302,580	301,6331
3.	Penambahan Panas (Qin)	415,942	433,4512	425,880
4.	Kerja Netto Turbin (Wnet)	131,8012	127,138	131,748627
5.	Laju aliran massa bahan bakar	8,79 kg/s	9,16 kg/s	9 kg/s
6.	Efisiensi thermal siklus	31 %	29,3 %	30,3 %

Dari tabel dapat diketahui pengaruh pemeliharaan air intake filter terhadap unjuk kerja turbin gas, dimana dengan kalor masuk (Qin) lebih kecil dapat menghasilkan daya keluaran dari turbin yang lebih besar. Setelah pemeliharaan didapatkan bahwa unjuk kerja sistem turbin gas dapat dipertahankan.

### PEMBAHASAN

1. Analisis Performansi PLTG Sebelum Pemeliharaan Dari data operasional PLTG yang diperoleh dari PT PLN UPDK Belawan antara lain:

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_{\text{udara}} &= 510 \text{ kg/s} \\
 \dot{m}_{\text{gas buang}} &= 515 \text{ kg/s} \\
 T_1 &= 32 \text{ }^\circ\text{C} = 305 \text{ }^\circ\text{K} \\
 \dot{m}_{\text{bb}} &= 9,16 \text{ kg/s} \\
 r_p &= 10 \\
 T_2 &= 367 \text{ }^\circ\text{C} = 640 \text{ }^\circ\text{K} \\
 P_2 &= 10,2 \text{ bar} = 1020 \text{ kpa} \\
 T_4 &= 567 \text{ }^\circ\text{C} \\
 P_G &= 127 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Maka perhitungan kinerja kompresor sebelum pemeliharaan dapat diketahui dengan rumus berikut:

Diketahui nilai entalphy pada tekanan 1 bar dan temperatur 305 °K dari tabel  $h_1 = 305,22 \text{ kJ/kg}$  Pada saat proses udara yang di kompres oleh kompresor akan menghasilkan udara bertekanan yang dibutuhkan pada proses pembakaran didapatkan nilai  $T_2 = 640 \text{ }^\circ\text{K}$  dan  $P_2 = 1050 \text{ kpa}$  dari data operasional PLTG, maka dari tabel nilai entalphy pada  $T_2 = 640 \text{ }^\circ\text{K}$ ,  $h_2 = 649,22 \text{ kJ/kg}$

Konferensi Nasional Sosial dan Engineering Politeknik Negeri Medan Tahun 2022

Untuk mengetahui temperatur keluaran turbin (T3) dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$T_3 = T_4(rp)^{k-1/k}$$

$$= 567^\circ\text{C} (10)^{0,4/1,4} = 1075,4\text{ C} = 1348,4^\circ\text{K}$$

Untuk mengetahui nilai entalphy fluida pada temperatur 1348,4 °K dapat dihitung dengan Interpolasi :

$$\frac{1348,4-1340}{1360-1340} = \frac{h_3-1443,60}{1467,49-1443,60}$$

$$h_3 = 1453,63 \text{ kJ/k g}$$

Pada proses ekspansi pada sudu sudu turbin terjadi gesekan sehingga temperatur gas buang meningkat dari temperatur idealnya dari data performansi diketahui temperatur keluaran exhaust (T4) sebesar 840 °K maka nilai entalphy  $h_4 = 866,08 \text{ kJ/kg}$

Maka performansi PLTG sebelum pemeliharaan dapat dihitung dengan rumus berikut :

a. Kerja Kompresor (Wk)

$$W_k = \dot{m}_{\text{udara}} \times (h_2 - h_1)$$

$$= 500 \text{ kg/s} \times (644,984 \text{ kJ/kg} - 305,22 \text{ kJ/kg})$$

$$= 169884,5 \text{ KW}$$

$$= 169,8845 \text{ MW}$$

b. Kerja turbin (Wt)

$$W_t = \dot{m}_{\text{gas buang}} \times (h_3 - h_4)$$

$$= 506 \text{ kg/s} \times (1458,17 \text{ kJ/kg} - 862,06 \text{ kJ/kg})$$

$$= 301633,1274 \text{ KW}$$

$$= 301,633127 \text{ MW}$$

c. Panas yang ditambahkan (Qin)

$$Q_{in} = \dot{m}_{bb} \times LHV$$

$$= 9 \text{ kg/s} \times 47320 \text{ kJ/kg}$$

$$= 425,880 \text{ MW}$$

d. Kerja netto turbin (Wnet)

$$W_{net} = W_t - W_k$$

$$= 302,588 \text{ MW} - 175,456 \text{ MW}$$

$$= 127,138 \text{ MW}$$

e. Efisiensi thermal siklus

$$= \frac{W_{net}}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$= \frac{127,138 \text{ MW}}{433,451 \text{ MW}} \times 100\%$$

$$= 29,3\%$$

2. Performansi PLTG Sesudah Pemeliharaan

Dari data operasional PLTG yang diperoleh dari PT PLN UPDK Belawan antara lain:

$$\dot{m}_{\text{udara}} = 500 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{\text{gas buang}} = 506 \text{ kg/s}$$

$$T_1 = 32^\circ\text{C} = 305^\circ\text{K}$$

$$\dot{m}_{bb} = 9 \text{ kg/s}$$

rp	= 10
T2	= 363 °C = 636 °K
P2	= 10,2 bar = 1020 kpa
T4	= 563 °C
PG	= 127 MW

Maka perhitungan kinerja kompresor sesudah pemeliharaan dapat diketahui dengan :

Diketahui nilai entalphy pada tekanan 1 bar dan temperatur 305 °K dari tabel  $h_1 = 305,22$  kJ/kg

Pada saat proses udara yang di kompres oleh kompresor akan menghasilkan udara bertekanan yang dibutuhkan pada proses pembakaran didapatkan nilai  $T_2 = 636$  °K dan  $P_2 = 1020$  kpa dari data operasional PLTG, maka nilai entalphy dapat dicari dengan interpolasi:

$$\frac{636-630}{640-630} = \frac{h_2-638,63}{649,22-638,63}$$

$$h_2 = 644,984 \text{ kJ/kg}$$

Untuk mengetahui temperatur keluaran turbin ( $T_3$ ) dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned} T_3 &= T_4(rp)^{k-1/k} \\ &= 563 \text{ °C } (10)^{0,4/1,4} = 1069,2 \text{ °C} = 1352,2 \text{ °K} \end{aligned}$$

Untuk mengetahui nilai entalphy fluida pada temperatur 1352,2 °K dapat dihitung dengan Interpolasi:

$$\frac{1352,2-1340}{1360-1340} = \frac{h_3-1443,60}{1467,49-1443,60}$$

$$h_3 = 1458,17 \text{ kJ/kg}$$

Pada proses ekspansi pada sudu sudu turbin terjadi gesekan sehingga temperatur gas buang meningkat dari temperatur idealnya dari data performansi diketahui temperatur keluaran exhaust ( $T_4$ ) sebesar 836 °K maka nilai entalphy nya dapat diketahui dengan interpolasi:

$$\frac{836-820}{840-820} = \frac{h_4-843,98}{866,08-843,98}$$

$$h_4 = 862,06 \text{ kJ/kg}$$

Maka performansi PLTG sebelum pemeliharaan dapat dihitung dengan rumus berikut :

a. Kerja Kompresor (Wk)

$$\begin{aligned} W_k &= \dot{m}_{\text{udara}} \times (h_2-h_1) \\ &= 500 \text{ kg/s} \times (644,984 \text{ kJ/kg} - 305,22 \text{ kJ/kg}) \\ &= 169884,5 \text{ KW} \\ &= 169,8845 \text{ MW} \end{aligned}$$

b. Kerja turbin (Wt)

$$\begin{aligned} W_t &= \dot{m}_{\text{gas buang}} \times (h_3-h_4) \\ &= 506 \text{ kg/s} \times (1458,17 \text{ kJ/kg} - 862,06 \text{ kJ/kg}) \\ &= 301633,1274 \text{ KW} \end{aligned}$$

Konferensi Nasional Sosial dan Engineering Politeknik Negeri Medan Tahun 2022

- =301,633127 MW
- c. Panas yang ditambahkan ( $Q_{in}$ )
- $Q_{in} = \dot{m}_{bb} \times LHV$
- = 9 kg/s x 47320 kJ/kg
- = 425,880 MW
- d. Kerja netto turbin ( $W_{net}$ )
- $W_{net} = W_t - W_k$
- = 301,633127 MW - 169,8845 MW
- = 131,748627 MW
- e. Efisiensi thermal siklus
- =  $\frac{W_{net}}{Q_{in}} \times 100\%$
- =  $\frac{131,748627 \text{ MW}}{425,880 \text{ MW}} \times 100\%$
- = 30,3%

### SIMPULAN

Setelah dilakukan pemeliharaan pada komponen turbin gas efisiensi thermal siklus brayton tetap terjaga pada batas normalnya, dimana selisih sebelum pemeliharaan pada beban 127 MW adalah sebesar 0,70%, efisiensi siklus pada saat kondisi *commissioning* sebesar 31,3 %, efisiensi aktual sebelum pemeliharaan sebesar 29,3 % dan setelah pemeliharaan efisiensi menjadi 30 %.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima Kasih Kepada Politeknik Negeri Medan melalui Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (P3M) yang telah mendanai penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Aldium, A. T. U. A. (2018). *Pengaruh Combustion Inspection, Turbine Inspection, dan Major Inspection Terhadap Unjuk Kerja Turbin Gas Unit*.
- 1.2 *PLTGU PT. PJB UP Gresik* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Dinalda Fadillah, D., & Nurhasanah, R. (2020). *Analisis Perbandingan Performa Turbin Gas Unit 2.3. Sebelum dan Sesudah Pemeliharaan Combustor Dengan Kondisi Commissioning di PLTGU Gresik* (Doctoral dissertation, INSTITUT TEKNOLOGI PLN).
- M. R. F. R. Komarudin (2017). "Analisis Kerugian Energi Sistem Turbin Gas Di PLTGU" 1(13), 171-178.
- Pudjanarsa, A., & Nursuhud, D. (2009). *Mesin Konversi Energi—Edisi Revisi*. Yogyakarta: Andi Publisher.
- Arismunandar, W. (2002). *Pengantar Turbin Gas dan Motor Propulsi*. Penerbit ITB, Bandung.