

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Yang Relevan

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa penelitian penelien yang sudah dilakukan terdahulu sebagai referensi dan studi literatur. berikut beberapa penelitian terdahulu yang digunakan pada penelitian ini:

1. Penelitian Analisis Perbandingan Peforma Turbin Gas PLTGU Unit 1.2 dan 1.3 Pada Beban 50 MW dan 100 MW (Firmansyah. 2017)

Unit Blok 1 digunakan secara terus menerus sehingga mengalami penurunan peforma. Dengan adanya penurunan peforma ini dilakukan *overhaul* untuk meningkatkan kembali peforma unit tersebut. Ini akan berpengaruh terhadap biaya produksi dan efisiensi pada pembangkit. Untuk menghitung peforma unit dibutuhkan properties pada masing masing titik. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan hasil bahwa kinerja dari unit 1.3 lebih baik dibanding unit 1.2 pada beban 50 MW ataupun 100 MW. (Firmansyah. 2017).

2. Penelitian Analisis Efisiensi Turbin Gas Tipe V 94.2 Sebelum dan Sesudah *Minor Inspection* Pada Blok 4 unit 3 PLTGU Muara Tawar (Hendri et al.. 2020)

Penelitian ini dilakukan pada PLTGU muara Tawar Blok 4 unit 3 terdiri dari beberapa komponen yakni *compressor. turbin gas. combustor. generator*. Peneliti menghitung efisiensi dari pada turbin gas yang digunakan pada PLTGU Muara Tawar sebelum dan sesudah *Minor Inspection* dengan siklus *Brayton* dari metode tersebut akan didapatkan efisiensi termal pada turbin gas. Hasil dari penelitian ini efisiensi termal mengalami peningkatan sebesar 0.70%. efisiensi kompresor meningkat sebesar 0.56 % dan efisiensi ruang bakar mengalami peningkatan 0.27% serta efisiensi turbin mengalami peningkatan 1.35% (Hendri et al.. 2020).

3. Penelitian Analisa Efisiensi Pemanfaatan Gas Buang Turbin Gas Alsthom Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Kapasitas 20MW (Gusnita & Saputra Said. 2017)

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dari pembangkit listrik. Pada awalnya PLTG Balai Pungut hanya menggunakan gas turbin dan gas buang hanya terbuang sia-sia dengan efisiensi termal yang rendah. Efisiensi Termal dihitung menggunakan siklus *Brayton* didapatkan hasil efisiensi termal PLTG sebesar 29.20% dengan kapasitas 20 MW. Setelah dilakukan perhitungan *Combined Cycle* didapatkan hasil peningkatan output menjadi 63.842 MW dan efisiensi termal sebesar 52.41 % (Gusnita & Saputra Said. 2017).

4. Penelitian Analisis Efisiensi Siklus *Brayton* pada beban 100 MW Sebelum dan Sesudah *Overhaul* Blok 1 Unit 3 Pada PLTGU PT. PLN Nusantara Power UP Gresik (Ridwan & Wibisono. 2024)

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi dari pada siklus *Brayton* pada turbin gas sebelum dan sesudah dilakukan *Overhaul*. *Overhaul* dilakukan untuk menjaga performa turbin gas untuk tetap berada pada kondisi optimal. Hasil dari penelitian menunjukkan ada peningkatan efisiensi siklus *Brayton* dari 41% menjadi 42%. efisiensi turbin dari 74% menjadi 91% dan efisiensi kompresor dari 73% menjadi 82% dan penurunan *Heat Rate* menjadi 3196.4 Kcal/Kwh (Ridwan & Wibisono. 2024).

5. Analisis Pengaruh Bahan Bakar HSD Dan LNG Terhadap Efisiensi Termal PLTG Pada Beban Maksimum Dan Minimum PLTG PT PLN Nusantara Power Up Muara Tawar Blok 3.3 (Marcelino & Prayudi. 2024)

Penelitian ini membahas mengenai pengaruh bahan bakar yang digunakan pada PLTGU Muara Tawar terhadap efisiensi termal turbin gas pada saat beban 80 MW dan 140 MW. Hasil dari penelitian ini adalah efisiensi pada saat menggunakan LNG pada beban 80 MW sebesar 34.47% sedangkan ketika beban 140 MW sebesar 38.37%. Ketika menggunakan HSD pada beban minimal 36.22% dan beban maksimum 38.81%. Untuk nilai *Heat Rate* menggunakan LNG pada beban minimum 10443.66 KJ/KWh dan beban Maksimum 9382.12 KJ/KWh. Sedangkan ketika menggunakan HSD pada beban Minimum Mendapatkan nilai *Heat Rate* 9939.52 KJ/KWh dan beban maksimum 9275 KJ/KWh (Marcelino & Prayudi. 2024)

6. **Analisis Efisiensi *Thermal Before and After Overhaul* dengan Pendekatan *Sankey Diagram* pada PLTGU UP Muara Karang Blok 2** (Purba & Prayudi. 2024)

Penelitian ini merupakan penelitian efisiensi pembangkit PLTGU Muara Karang blok 2 sebelum dan sesudah *Overhaul* yang menggunakan pendekatan *Sankey diagram*. Hasil pada penelitian ini terjadi peningkatan efisiensi dari 84.92% menjadi 86.40% pada beban 135 MW dan dari 85.70% menjadi 86.69% pada beban 230 MW. Selain itu *Heat Loss* pada komponen juga mengalami penurunan pada saat sesudah dilakukan *Overhaul* pada PLTGU (Purba & Prayudi. 2024)

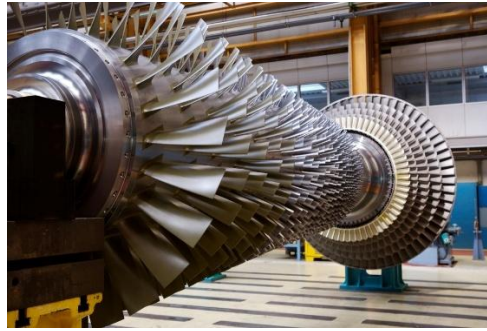
7. **Analisis Pengaruh *Major Inspection* terhadap Kinerja Gas Turbine** (Nurhasanah. 2025)

Penelitian ini merupakan penelitian yang dilakukan pada GT 2.1 Grati yang mana melakukan *Major Overhaul* karena sudah sesuai dengan jam operasinya. Penelitian dilakukan pada beban 50 MW, 70 MW, dan 100 MW. Hasil penelitian ini Peningkatan Efisiensi Kompresor pada beban 50 MW sebesar 3.99%, beban 75 MW 4.33% dan 100MW 3.49%. Peningkatan Efisiensi Combustor pada beban 50 MW sebesar 1.71%, beban 75 MW 1.05% dan 100MW 1.39%. Peningkatan Efisiensi Turbin pada beban 50 MW sebesar 0.75%, beban 75 MW 0.38% dan 100MW 2.66%. Peningkatan efisiensi thermal sebesar 0.73% pada 50 MW dan 0.79% pada 75 MW serta dan 1 % pada 100 MW sedangkan heat rate menurun 4% pada 50 MW, 3% pada 75 MW, dan 3% pada 100 MW dan Specific Fuel Consumption menurun 3% pada 50 MW, 3% pada 75 MW, dan 4% pada 100 MW(Nurhasanah. 2025).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas

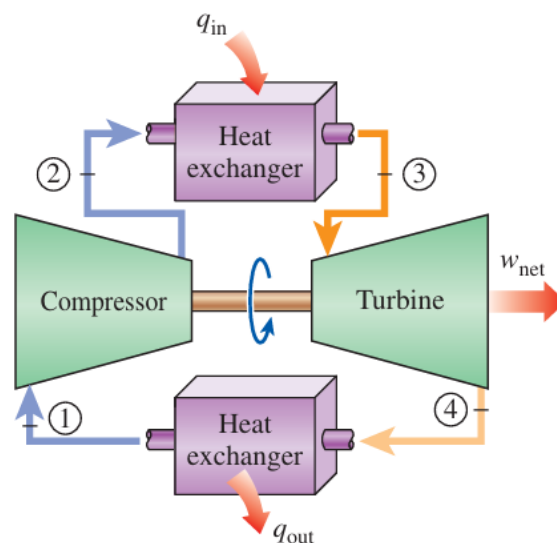
PLTG merupakan sebuah mesin konversi energi yang bekerja berdasarkan prinsip termodinamika untuk mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanik, kemudian diubah menjadi energi listrik melalui generator (Cengel & Boles. 2014). Pada saat ini turbin gas dapat menggunakan berbagai jenis bahan bakar seperti menggunakan Gas alam, HSD, gas biomassa (Boyce. 2006).



Gambar 2.1 Turbin Gas Alstom GT 13E2

Sumber : (Alstom. 2009)

Gas turbin bekerja menggunakan siklus *Brayton* yang mana siklus ini bekerja pada turbin gas. Idealnya siklus ini menggambarkan fluida yang dapat pada siklus tertutup dan dapat kembali (*Reversible*) dengan menggunakan *Heat Exchanger* menuju kompresor. Gas Panas akan masuk ke dalam *Heat Exchanger* dan digunakan kembali dalam kompresor (Moran & Shapiro. 2010).

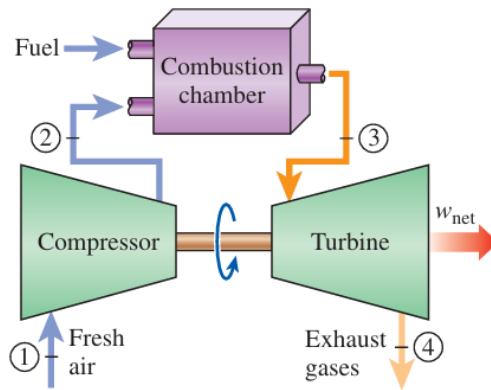


Gambar 2. 2 Skematik diagram PLTG *Close Cycle*

(Cengel & Boles. 2014)

Namun secara aktual turbin gas dalam beroperasi berdasarkan pada siklus *Brayton Open Cycle*. Pada siklus ini akhir dari fluida berupa gas buang akan keluar sistem menuju

ke atmosfer (Cengel & Boles. 2014). Pada siklus ini terdapat energi yang terbuang yang terdapat pada gas buang.



Gambar 2. 3 Skematik Diagram PLTG *Open Cycle*

(Cengel & Boles. 2014)

2.2.2 Komponen Utama Turbin Gas

Turbin gas yang digunakan pada Blok 1 Unit 3 PLTGU Muara Tawar adalah turbin gas yang dibuat oleh pabrik Alstom dengan type *Gas Turbine* GT13E2. Turbin gas ini didesign untuk menciptakan keandalan yang tinggi dan biaya operasional yang rendah. Berikut beberapa komponen utama dari turbin gas GT13E2:

1. *Compressor*

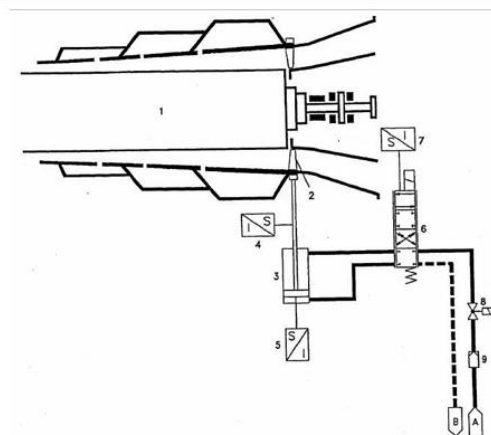
Compressor pada turbin gas GT13E2 merupakan sebuah kompresor yang terhubung satu poros dengan turbin gas. Kompresor pada turbin gas type ini memiliki 21 *Stage* (Alstom. 2009). kompresor ini memiliki bahan sudu kompresor yang terbuat dari bahan baja Chromium yang tahan terhadap panas. Selain penggunaan material terdapat lapisan yang digunakan untuk mencegah korosi dan erosi pada sudu kompresor (Alstom. n.d.).



Gambar 2.4 Compressor GT13E2

(Alstom. 2009)

Fungsi dari kompresor sendiri adalah untuk mengkompres atau menaikkan tekanan udara yang masuk kedalam sistem PLTG. Udara masuk kedalam sistem dari *Air Intake*. selanjutnya udara akan masuk kedalam kompresor dengan diarahkan oleh *Variable Inlet Guide Vane* (VIGV). Sistem VIGV ini akan bergerak sesuai dengan kebutuhan operasional turbin gas. Ketika turbin gas tidak beroperasi VIGV akan menutup dan ketika turbin gas beroperasi maka VIGV akan membuka sesuai dengan posisi yang sudah diatur. Pergerakan VIGV ini disuplai menggunakan sistem hidrolik dengan memanfaatkan oli dan katup kontrol posisi Piston (Alstom. n.d.).



Gambar 2.5 Compressor Variable Inlet Guide Vane

2. Combustor

Komponen utama dari turbin gas GT13E2 selanjutnya adalah *Combustor* atau ruang bakar. Pada ruang bakar terdiri atas beberapa bagian seperti. bagian depan ruang bakar. struktur pendukung. *EV Burner*. *Igniter*. selubung annular (Alstom. n.d.). Ruang bakar yang digunakan adalah ruang bakar yang berbentuk annular atau melingkar.



Gambar 2.6 *Annular Combustor GT13E2*

(Alstom)

Ruang bakar ini memiliki 72 *EV Burner* yang terletak pada bagian combustor. Combustor ini terletak diantara Kompresor dan turbin gas. Pada ruang bakar terjadi proses pembakaran yang terjadi karena terdapat udara bertekanan dan bersuhu tinggi dengan bahan bakar.

3. Turbin Gas

Turbin gas GT13E2 memiliki jumlah 5 *Stage Turbine*. Setiap *Stage* pada turbin gas ini memiliki perbedaan diameter. berturut turut dari bagian depan memiliki diameter yang kecil dan semakin belakang semakin besar. Ini karena pada bagian awal turbin merupakan turbin dengan tekanan tinggi. bagian tengah turbin tekanan sedang dan paling besar dibelakang merupakan turbin tekanan rendah. Turbin ini terhubung satu poros dengan

kompresor yang ada pada sistem turbin gas. Turbin gas ini merupakan alat untuk mengkonversi energi dari pembakaran pada ruang bakar menjadi energi gerak.

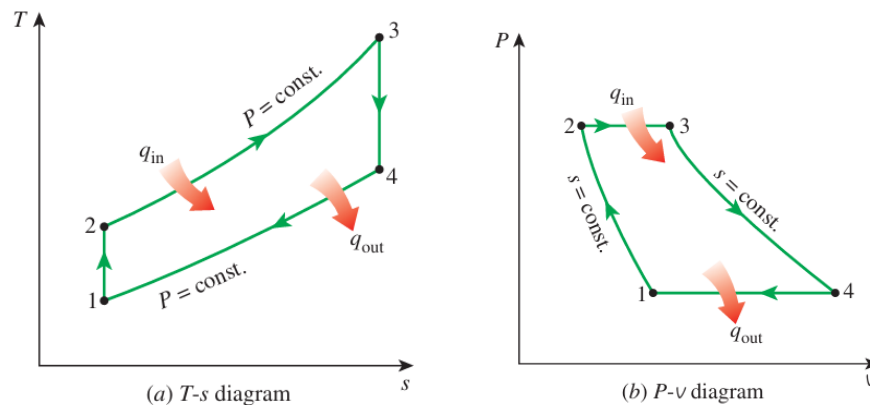


Gambar 2.7 Turbin GT13E2

(Alstom)

2.2.3 Siklus *Brayton*

2.2.3.1 Siklus *Brayton* Ideal



Gambar 2.8 Diagram T-S dan P-V siklus *Brayton*

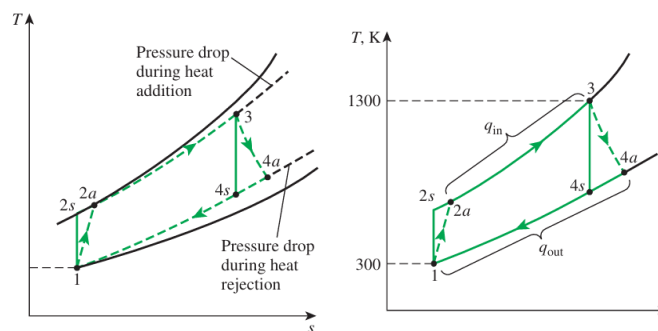
(Cengel & Boles. 2014)

Pada keadaan operasional pembangkit listrik tenaga gas berdasarkan pada siklus *Brayton*. Pada siklus *Brayton* PLTG memiliki 4 proses utama, yakni:

1. Proses Kompresi Isentropik (1-2): pada proses ini udara dari lingkungan akan dikompresi dalam kompresor sehingga tekanan dan suhu meningkat.

2. Proses selanjutnya adalah proses pembakaran yang terjadi pada tekanan konstan (2-3): udara yang sudah dikompresi dan memiliki tekanan dan suhu yang tinggi akan bercampur dengan bahan bakar dan terjadi proses pembakaran sehingga menghasilkan gas buang panas bertekanan tinggi.
3. Proses Ekspansi Isentropik (3-4): pada proses ini gas panas diekspansikan diturbin untuk menghasilkan energi mekanik
4. Proses pembuangan (4-1): pada proses ini gas buang dari turbin gas akan dilepaskan menuju ke atmosfer jika menggunakan model operasi *open cycle* dan akan digunakan untuk menghasilkan uap dalam HRSG jika menggunakan sistem operasi *Combined Cycle*.

2.2.3.2 Siklus *Brayton* Aktual



Gambar 2. 9 Diagram T-S dan P-V siklus *Brayton* Aktual

(Cengel & Boles. 2014)

Pada kondisi operasional gas turbin secara aktual, terdapat perbedaan antara siklus *Brayton* ideal dan kondisi siklus *Brayton* Aktual. Pada kondisi ideal terdapat beberapa aspek yang diabaikan. Seperti aspek *pressure drop* dan *irreversibilities*. Aspek aspek tersebut pada kondisi actual akan menyebabkan penurunan performa daya gas turbin dan compressor (Cengel & Boles. 2014).

2.2.4 Analisis Termodinamika

Pada siklus *Brayton* penjelasan mengenai setiap langkah dapat dilakukan dengan menggunakan tabel data udara. Data ini digunakan untuk melakukan pengolahan data dan analisis pada proses (1-2) kerja kompresi yang berlangsung secara *Isentropis* serta

proses (3-4) kerja ekspansi yang terjadi pada turbin. Ini dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{P_{r2}}{P_{r1}} = \frac{P_2}{P_1} \quad (2.1)$$

$$\frac{P_{r3}}{P_{r4}} = \frac{P_3}{P_4} \quad (2.2)$$

Pada siklus *Brayton* juga terdapat rasio tekanan yang terjadi pada tekanan konstan pada proses isentropis. dapat dinyatakan dengan pernyataan sebagai berikut:

$$r_p = r_c = r_t \quad (2.3)$$

Adapun pada rasio tekanan pada kondisi aktual dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$r_p = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_4} \quad (2.4)$$

$$r_p = \frac{P_{r2}}{P_{r1}} = \frac{P_{r3}}{P_{r4}} \quad (2.5)$$

Adapun rasio suhu absolut dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{T_2}{T_1} = r_p^{\frac{k-1}{k}} \quad (2.6)$$

$$\frac{T_3}{T_4} = r_p^{\frac{k-1}{k}} \quad (2.7)$$

Efisiensi termal ideal dari siklus Brayton dinyatakan dengan:

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{r_p^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \quad (2.8)$$

di mana r_p adalah rasio tekanan dan γ adalah rasio panas spesifik udara (Cengel & Boles. 2014)

Sebuah penelitian menegaskan bahwa efisiensi termal aktual turbin gas di PLTGU Muara Tawar cenderung menurun ketika sistem bekerja pada beban parsial (*part load*).

sedangkan pada beban penuh (*full load*) efisiensi mencapai nilai optimum akibat stabilitas pembakaran yang lebih baik (Hendri et al.. 2020).

Heat rate merupakan parameter utama untuk menilai efisiensi termal turbin gas. Heat rate didefinisikan sebagai jumlah energi panas bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu kilowatt-jam (kWh) energi listrik (Boyce. 2006). Semakin tinggi beban akan semakin rendah nilai *Heat Rate* turbin gas dan semakin tinggi nilai efisiensinya (Marcelino & Prayudi. 2024).

2.2.5.1 Efisiensi Termal Ideal

Dalam mencari nilai *Heat Rate* pada siklus *Brayton* dapat dicari dengan menghitung beberapa persamaan dibawah ini:

Proses awal pada siklus *Brayton* Adalah proses kompresi (1-2). Proses ini dimulai dari udara dari lingkungan yang masuk kedalam kompresor melalui *Air Inlet*. Proses ini terjadi secara *Isentropis*. Guna mencari nilai *Heat Rate* maka harus mencari kerja dari kompresor terlebih dahulu yang dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$W_c = \dot{m}_{air} \times (h_2 - h_1) \quad (2.9)$$

Untuk mencari nilai massa laju aliran udara dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\dot{m}_{air} = \frac{(Q_{in} - (\dot{m}_{fuel} \times h_3))}{(h_3 - h_2)} \quad (2.10)$$

Proses setelah selanjutnya pada siklus *brayton* Adalah proses pembakaran yang berlangsung secara *Isobaric*. Proses ini terjadi di dalam *Combustor* pada gas turbin. Pada proses pembakaran udara yang sudah dikompresi dalam kompresor akan menuju kedalam *Combustor*. Pada proses pembakaran ini terjadi penambahan volume karena terdapat volume udara dan penambahan volume bahan bakar. tetapi tidak terjadi perubahan tekanan. Proses ini juga proses energi masuk pada siklus *Brayton*. Pada proses (2-3) ini dapat dituliskan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{in} = \dot{m}_{Fuel} \times LHV \quad (2.11)$$

LHV (*Low Heating Value*) merupakan nilai kalor rendah atau jumlah energi panas yang dilepaskan dari pembakaran bahan bakar dengan asumsi semua air sudah dalam bentuk fase uap. LHV umum digunakan untuk mencari efisiensi dan performa mesin pembangkit Listrik.

Pada proses (3-4) merupakan proses ekspansi yang terjadi pada turbin gas. Udara bertekanan dan bersuhu tinggi akan masuk kedalam turbin gas. Ketika udara tersebut masuk kedalam turbin gas terjadi ekspansi karena udara bertekanan tersebut mengenai permukaan turbin gas dan terjadi penurunan tekanan dan terjadi konversi energi dari energi *kinetic* menjadi energi mekanik. Energi mekanik tersebut akan dimanfaatkan untuk memutar kompresor dan generator. Pada proses ini dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$W_t = \dot{m}_{Flue\ bb} \times (h_3 - h_4) \quad (2.12)$$

Guna mencari nilai laju aliran gas dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\dot{m}_{flue\ bb} = \dot{m}_{air} + \dot{m}_{fuel} \quad (2.13)$$

Proses selanjutnya Adalah proses (4-1) yakni gas buang keluar turbin akan dilepas menuju ke lingkungan. Pada proses ini dapat ditulis dengan persamaan:

$$Q_{out} = (\dot{m}_{air} + \dot{m}_{fuel}) \times (h_4 - h_1) \quad (2.14)$$

Guna mencari kerja total dapat menggunakan persamaan:

$$W_{nett} = W_{turbin} - W_{compressor} \quad (2.15)$$

Selain itu untuk mencari nilai *Back Work Ratio* :

$$BWR = \frac{W_{compressor}}{W_{Turbin}} \times 100\% \quad (2.16)$$

Untuk nilai Heat Rate Gas Turbin dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$HR_{GT} = \frac{Q_{in}}{W_{nett}} \quad (2.17)$$

Sementara untuk mencari *Gross Plant Heat Rate* menggunakan rumus:

$$GPHR = \frac{Q_{in}}{P_{generator}} \quad (2.18)$$

Net Plant Heat Rate :

$$NPHR = \frac{Q_{in}}{P_{generator} - P_{Auxilliary}} \quad (2.19)$$

2.2.5.2 Efisiensi Termal Aktual

Untuk mencari Kerja turbin dan kerja kompresor secara actual diperlukan untuk menentukan nilai efisiensi dari kedua komponen tersebut. Untuk mencari efisiensi dari kedua komponen dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_c = \frac{h_2 - h_1}{h_2' - h_1} \quad (2.20)$$

Dan untuk mencari efisiensi turbin aktual

$$\eta_t = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_4'} \quad (2.21)$$

Untuk menghitung kerja *Compressor* aktual dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$W_{ca} = \frac{\dot{m}_{air} \times (h_2 - h_1)}{\eta_c} \quad (2.22)$$

Kerja turbin aktual dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$W_{ta} = \dot{m}_{flue\ bb} \times (h_3 - h_4) \times \eta_t \quad (2.23)$$

Kerja total aktual dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$W_{nettaktual} = W_{ta} - W_{ca} \quad (2.24)$$

Back Work Ratio dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$BWT_{aktual} = \frac{W_{ca}}{W_{ta}} \times 100\% \quad (2.25)$$

Untuk menghitung Heat Rate turbin gas actual:

$$HR_{GTaktual} = \frac{Q_{in}}{W_{nettaktual}} \quad (2.26)$$

Untuk menghitung Efisiensi Termal dapat menggunakan persamaan:

$$\eta_{Termal} = \frac{W_{nett}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (2.27)$$

2.2.6 Specific Fuel Consumption (SFC)

Specific Fuel Consumption adalah jumlah bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan listrik. SFC umum digambarkan sebagai seberapa besar tingkat efisiensi dari sebuah mesin. Untuk mencari SFC dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

Sebuah penelitian menyebutkan bahwa perbedaan densitas energi bahan bakar akan berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) dan selanjutnya terhadap *Heat Rate*. Pada beban rendah, heat rate meningkat karena kerja kompresor tidak sebanding dengan energi keluaran turbin (Ridwan & Wibisono, 2024).

Bahan bakar Gas umum menggunakan pendekatan dengan satuan MMBtu. Dengan ini untuk menghitung biaya konsumsi bahan bakar gas yang digunakan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Shintawaty, 2019):

$$V_G = \frac{W}{HHV} \times HR \quad (2.28)$$

V_G = Konsumsi gas (scf)

W = Energi yang dihasilkan (MWh)

HHV = *High Heating Value* (btu/scf)

HR = *Heat Rate* (btu/KWh)

Karena masih menggunakan satuan scf, maka akan diubah menjadi m^3 menggunakan persamaan.

$$V_{M^3} = \frac{V_G}{35.315} \quad (2.29)$$

Selanjutnya dilakukan konversi menjadi MMBtu untuk mengetahui energi panas dengan menggunakan

$$V_{MMBtu} = V_{m^3} \times 0.03546 \quad (2.30)$$

Untuk mencari SFC dapat menggunakan persamaan:

$$SFC = \frac{W}{V_{MMBtu}} \quad (2.31)$$

2.2.7 Teori Pemeliharaan Rutin Gas Turbin

Pemeliharaan rutin gas turbin merupakan kegiatan terencana untuk mea peralatan tetap berada pada kondisi desain agar mampu beroperasi secara andal dan memenuhi target kapasitas (capacity assurance). Strategi yang digunakan umumnya berupa Preventive Maintenance (PM) dan Predictive Maintenance (PdM), karena karakteristik gas turbin yang berisiko tinggi terhadap kegagalan kritis jika hanya mengandalkan perbaikan setelah rusak(PLN, 2019).

Preventive Maintenance dilakukan secara berkala berdasarkan jam operasi atau interval waktu untuk mencegah degradasi, sedangkan PdM dilakukan melalui pemantauan kondisi seperti analisis vibrasi dan temperatur guna mendeteksi potensi kegagalan lebih dini. Pelaksanaannya dikendalikan melalui sistem Work Planning and Control (WPC) yang mencakup perencanaan, penjadwalan, pelaksanaan, dan evaluasi pekerjaan agar sumber daya optimal dan ketersediaan unit meningkat. Dengan pendekatan ini, pemeliharaan rutin tidak hanya menjaga keandalan turbin, tetapi juga mendukung peningkatan availability dan efisiensi pembangkit.

Pada pembangkit Listrik tenaga gas terdapat beberapa jenis pemeliharaan yang sudah dilakukan perencanaan secara periodik. berikut Adalah beberapa jenis *Overhaul* pada pembangkit Listrik (Nurhasanah. 2025):

Menurut hasil wawancara dan data dari pihak pembangkit mengenai *Periodic Maintenance* berupa *Overhaul* pada turbin gas PLTG Muara Tawar terdiri atas beberapa tipe *Maintenance* sebagai berikut (PLN NP. 2022):

1. *Maintenance Type A*

Maintenance Type A pada system turbin gas PLTG Muara Tawar Adalah perawatan yang dilakukan secara *periodic* atau terjadwal berdasarkan pada EOH (*Equivalent Operation Hour*). Pada *Maintenance Type A* memiliki EOH sebesar 9000 EOH. Lingkup pengerjaan pada *Type A* meliputi pengecekan menggunakan *Boroscope* pada turbin gas. Pada *Maintenance Type A* ini tidak ada pergantian komponen pada turbin gas dan hanya melakukan inspeksi. Lama waktu pengerjaan pada *Type A* ini adalah selama 3 hari kerja.

2. *Maintenance Type B*

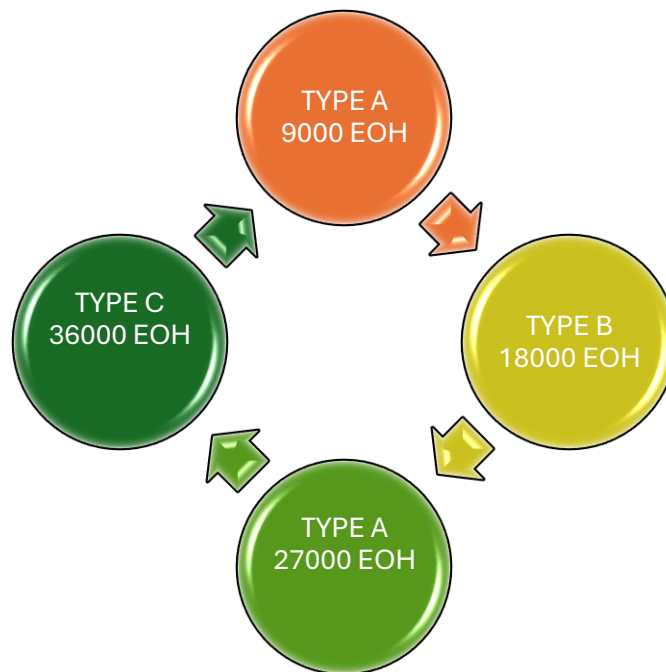
Maintenance Type B adalah perawatan pada system turbin gas PLTG Muara Tawar yang mana dilakukan secara *Periodic* atau terjadwal berdasarkan pada EOH (*Equivalent Operation Hour*). Pada *Maintenance Type* ini memiliki jangka waktu pengerjaan sebanyak 9000 EOH setelah *Maintenance Type A* atau sekitar 18000 EOH sejak awal atau setelah *Maintenance Type C*. Lingkup pekerjaan pada *Maintenance Type B* ini meliputi inspeksi menggunakan *Boroscope*. melakukan *Centering* pada poros turbin gas. Lama waktu pengerjaan *Maintenance Type* ini adalah selama 5 hari pengerjaan. Pada perawatan ini tidak terjadi pergantian komponen pada turbin gas.

3. *Maintenance Type C*

Maintenance Type C pada PLTG Muara Tawar Adalah perawatan yang dilakukan secara *periodic* atau terjadwal berdasarkan pada EOH (*Equivalent Operation Hour*). Pada *Maintenance Type C* ini merupakan perawatan menyeluruh atau biasa disebut dengan *Major Inspection*. Perawatan ini adalah perawatan turbin gas yang terjadwal berdasarkan pada jumlah EOH sebesar 36000 EOH. Ruang lingkup pengerjaan pada perawatan ini adalah perawatan secara menyeluruh. meliputi *Inspection Combustor*. *Turbin Inspection*. serta pada bagian kompresor dan generator. Pada *Maintenance* ini dilakukan pembongkaran pada komponen turbin gas untuk melakukan inspeksi dan pergantian pada komponen sudu tetap dan

sudu putar turbin gas. Selain itu terjadi pengecekan dan melakukan pembersihan pada komponen lain seperti kompresor. *Combustor*. dan *Exhaust*. Dapat juga pada *Maintenance Type C* ini dilakukan pengujian *Remaining Life Assesment* (RLA) pada komponen turbin gas. kompresor serta HRSG. Perawatan jenis ini memakan waktu pengerjaan sebesar 35 hari.

Untuk alur atau siklus *Maintenance* pada turbin gas PLTG Muara Tawar Adalah sebagai berikut:

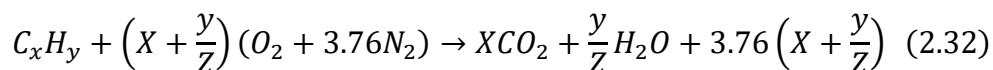


Gambar 2. 10 Alur Pemeliharaan berdasarkan EOH

2.2.8 Pembakaran Bahan Bakar

Pembakaran yang terjadi pada turbin gas berlangsung secara terus menerus dan berada pada tekanan yang tetap dan adiabatik. Proses pembakaran umum digambarkan juga dengan adanya kenaikan temperatur selama proses yang terjadi karena pemanasan fluida kerja dengan jumlah panas yang sama dengan jumlah panas yang dihasilkan oleh jumlah pembakaran. Bahan bakar yang memiliki unsur Hidrokarbon tersusun akan unsur karbon (C) dan Hidrogen (H). Senyawa hidrokarbon ini jika terjadi pembakaran maka akan menghasilkan unsur unsur baru. Secara umum reaksi pembakaran sempurna pada

senyawa hidrokarbon dapat ditulis menggunakan persamaan sebagai berikut (Ismail & Umukoro, 2016):



2.2.9 Diagram *Sankey*

Diagram *Sankey* adalah sebuah diagram yang dapat digunakan untuk memvisualisasikan aliran energi yang digunakan untuk menunjukkan distribusi energi dalam suatu sistem. Diagram ini dapat digunakan dalam analisis sistem pembangkit listrik karena mampu menggambarkan secara jelas perbandingan antara energi masuk, energi keluaran, serta energi yang hilang selama proses konversi energi berlangsung

Pada sebuah sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), tampilan visual berupa Diagram *Sankey* dipakai untuk memperlihatkan perubahan energi kimia dari bahan bakar menjadi energi listrik. Diagram ini juga membantu mengenali dari mana saja energi banyak terbuang, misalnya karena panas yang hilang pada gas sisa pembakaran, hilangnya energi di ruang pembakaran, dan proses yang tak bisa dibalikkan di turbin gas. Sejumlah studi membuktikan bahwa cara kerja Diagram *Sankey* sangat berguna untuk menilai seberapa efisien panas yang dihasilkan serta menemukan bagian-bagian yang paling banyak menyebabkan energi hilang dalam sistem pembangkit tersebut.

2.2.10 DWSIM

DWSIM adalah sebuah *Software Open Source* yang menggambarkan simulasi proses kimia dan *multiplatform* (Windows, Linux, macOS, Android, iOS) yang memungkinkan pengguna untuk memodelkan, merancang, dan mengoptimalkan proses kimia secara grafis. Sebagai simulator keadaan *steady-state*, DWSIM menghitung keseimbangan massa dan energi, serta sifat fisik senyawa.

Untuk dalam pengolahan termodinamika dapat menggunakan beberapa model persamaan termodinamika, seperti Peng-Robinson, NRTL, UNIQUAC dan lain lain. Selain itu DWSIM memiliki unit operasi yang cukup lengkap seperti kompresor, *Combustor*, *Turbin*, dan lain lain. Dalam penggunaannya DWSIM menggunakan standar

CAPE-OPEN. Oleh karena itu DWSIM dipilih oleh peneliti sebagai *Software* yang akan digunakan sebagai validasi perhitungan. Pendekatan yang digunakan pada penelitian kali ini adalah menggunakan pendekatan Peng- Robinson. Pendekatan ini merupakan pendekatan yang menggunakan kondisi gas nyata. Standar deviasi antara Peng robinson dan pendekatan ideal gas adalah 25%.