

Analisis Efisiensi Termal PLTGU Muara Karang Blok 2 Menggunakan Sankey Diagram pada Beban 135 MW

Muhammad Ridwan^{1*}, Rudina Okvasari², Hendri¹, Febby Ariyani Emeria Putri Prasasti¹

¹Institut Teknologi PLN

Jl. Lingkar Luar Barat, Cengkareng, Jakarta Barat

¹Prodi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknologi dan Bisnis Energi, Institut Teknologi PLN

Jl. Lingkar Luar Barat, Cengkareng, Jakarta Barat

²Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN

*Corresponding author: m.ridwan@itpln.ac.id

Abstract

The growing demand for electricity requires a proportional increase in power generation to ensure a stable supply for both public and industrial needs. To maintain this stability, Gas and Steam Power Plants (PLTGU) must operate in optimal condition. Thermal efficiency plays a crucial role in determining the plant's ability to generate electricity effectively. This study aims to analyze the thermal efficiency of PLTGU UP Muara Karang Block 2 at a 135 MW load using the Sankey Diagram approach. This method provides a comprehensive visualization of energy flow and system efficiency. The analysis is based on the First Law of Thermodynamics, focusing on key components such as the compressor, gas turbine, combustor, and other essential elements. The results show an increase in thermal efficiency from 52,8% to 54,3% after an overhaul. This improvement reflects better heat distribution to the main components, indicating more optimal energy conversion. Additionally, the reduction in heat loss signifies an overall enhancement in energy efficiency.

Keywords: Thermal efficiency, PLTGU, Sankey Diagram, Overhaul, Energy conversion.

Abstrak

Meningkatnya kebutuhan listrik menuntut produksi energi yang seimbang agar pasokan listrik bagi masyarakat dan industri tetap terjaga. Untuk memastikan kestabilan ini, Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) harus senantiasa berada dalam kondisi optimal. Efisiensi termal menjadi faktor kunci dalam menentukan kemampuan PLTGU menghasilkan listrik secara maksimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi termal PLTGU UP Muara Karang Blok 2 pada beban 135 MW dengan menggunakan pendekatan Sankey Diagram. Metode ini memberikan visualisasi menyeluruh terhadap aliran energi dan efisiensi sistem. Analisis dilakukan berdasarkan Hukum I Termodinamika, dengan fokus pada komponen utama seperti kompresor, turbin gas, ruang bakar (*combustor*), dan elemen penting lainnya. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa setelah dilakukan overhaul, efisiensi termal meningkat dari 52,8% menjadi 54,3%. Peningkatan ini mencerminkan perbaikan dalam distribusi panas ke komponen utama, yang menunjukkan konversi energi yang lebih optimal. Selain itu, penurunan heat loss mengindikasikan peningkatan efisiensi energi secara keseluruhan

Kata kunci: Efisiensi termal, PLTGU, Sankey Diagram, Overhaul, Konversi energi.

1. Pendahuluan

Listrik merupakan salah satu kebutuhan paling penting di kehidupan sehari-hari dikarenakan kemajuan teknologi yang berkembang semakin pesat. Indonesia juga merupakan negara dengan kebutuhan listrik yang besar, baik penggunaan skala rumah tangga maupun kawasan industri. Konsumsi energi listrik, setiap tahun terus meningkat, apalagi dengan perkembangan kendaraan listrik di Indonesia untuk

mengurangi penggunaan energi fosil, tercatat bahwa jumlah pelanggan energi listrik per September 2021 yakni mencapai 81,07 juta pelanggan, sedangkan pada 2022 yakni 83,43 juta pelanggan dengan kebutuhan yang selalu meningkat [1].

Berdasarkan kebutuhan listrik yang terus bertambah setiap tahunnya, diperlukan berbagai upaya untuk meningkatkan produksi listrik. Oleh sebab itu salah satu proyek nasional yang dilakukan Indonesia untuk memenuhi kebutuhan listrik

masyarakatnya adalah dengan membangun pembangkit listrik yang dapat menghasilkan listrik dalam jumlah besar. Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) adalah salah satu dari pembangkit listrik tersebut [2]

PLTGU UP Muara Karang adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan gas alam sebagai bahan bakar utama. PLTGU bekerja dengan cara mengubah energi panas yang dihasilkan dari pembakaran gas alam menjadi energi mekanik melalui mesin turbin. Energi mekanik ini kemudian digunakan untuk menggerakkan generator listrik, yang menghasilkan listrik. PLTGU memiliki beberapa keunggulan, antara lain efisiensi tinggi, emisi karbon yang lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik batu bara, dan kemampuan untuk beroperasi secara fleksibel sesuai kebutuhan. PLTGU merupakan salah satu solusi penting dalam memenuhi kebutuhan energi dunia yang semakin meningkat [3].

PLTGU Muara Karang Blok 2 membutuhkan waktu 3 bulan, pemeliharaan dilakukan oleh Unit Maintenance Repair Overhaul (UMRO). Major Inspection Overhaul (MIO) yaitu pemeliharaan besar pada setiap komponen turbin gas yang dimaksudkan untuk menjaga performanya tetap optimal [4]. Setelah pemeliharaan dilakukan, biasanya akan terjadi peningkatan performa terhadap kinerja turbin gas, sehingga untuk mengetahui performa itu diperlukan analisis termodinamika dengan variabelnya; AFR (*Air Fuel Ratio*), dan efisiensi; kompresor, turbin gas, combustor, HRSG, low pressure pump, high pressure pump, condensate pump, turbin uap, kondensor, dan thermal siklus [5]. Berdasarkan informasi tersebut. Penelitian ini menggunakan perhitungan termodinamika pada PLTGU Muara Karang saat kondisi sebelum dan sesudah Overhaul Pemeriksaan Besar (MIO) dengan beban penuh dan variasi data jam operasi. Hasil perhitungan kemudian dianalisis melalui perbandingan grafik untuk mengetahui perubahan dalam kinerja dan

mengidentifikasi faktor-faktor yang berkontribusi pada perubahan kinerja.

Berdasarkan Hukum I Termodinamika dijelaskan bahwa energi adalah sesuatu yang kekal. Energi hanya dapat mengalami perubahan bentuk, karena tidak dapat diciptakan maupun musnahkan. Dengan kata lain, total energi dalam suatu sistem selalu konstan [6]. Dalam analisis ini, memahami transfer panas dan kerja yang terjadi dalam sistem. Analisis energi pada PLTGU memberikan gambaran rinci tentang bagaimana energi dikonversi dan digunakan dalam proses pembangkitan listrik. Perubahan nilai energi dan efisiensi thermal before and after overhaul mencerminkan efektivitas sistem dalam merespon kebutuhan energi, sekaligus memberikan petunjuk terhadap potensi peningkatan efisiensi yang dapat dicapai melalui tindakan perawatan yang tepat. Selain itu, menghitung heat loss pada setiap komponen PLTGU menjadi kunci untuk mengidentifikasi aspek-aspek kritis dalam sistem [6], [7].

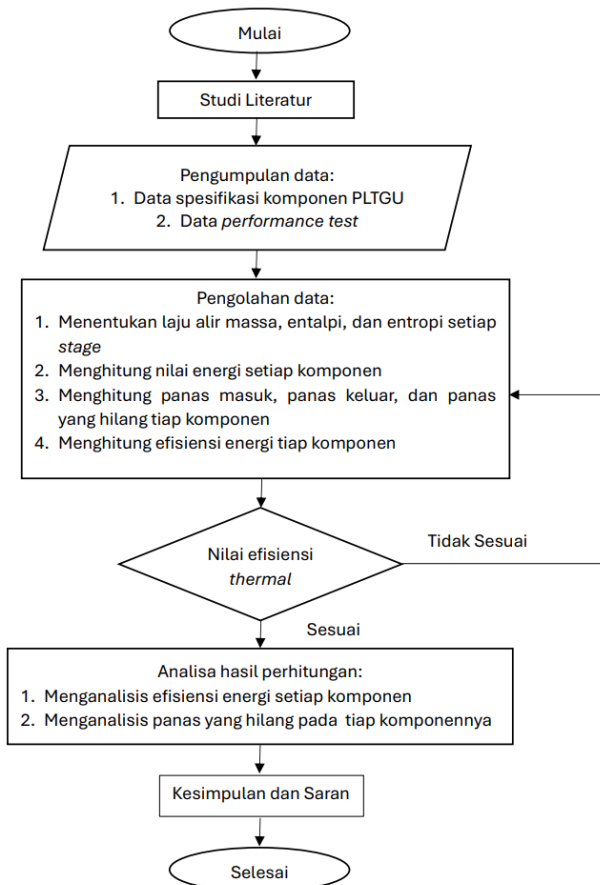
Pendekatan Sankey Diagram menjadi pilihan yang tepat dalam mewakili data distribusi panas secara visual dan informatif. Sankey Diagram memberikan gambaran yang jelas tentang arus energi, menyoroti bagaimana panas masuk dan keluar pada setiap komponen. Kelebihan visualisasi ini akan mempermudah pemahaman dan komunikasi hasil analisis kepada berbagai pemangku kepentingan, termasuk para insinyur, manajer operasional, dan peneliti di bidang energi [8].

Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini menggunakan pendekatan diagram Sankey untuk menganalisa proses perubahan efisiensi energi termal pada PLTGU UP Muara Karang dengan membandingkan performa komponennya sebelum dan sesudah dilakukan pemeliharaan dengan beban 135 MW. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan pemahaman pengaruh pemeliharaan terhadap efisiensi thermal dan jumlah heat loss pada PLTGU UP Muara

Karang Blok 2 before and after overhaul dengan beban 135 MW.

2. Metode Penelitian

Gambar diagram alir pada gambar 1 di bawah menunjukkan tahapan yang dilakukan dalam proses penelitian ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

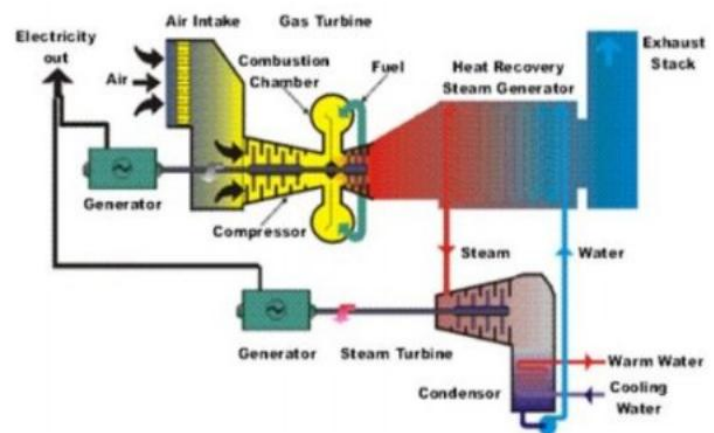
Terdapat dua jenis siklus kerja yang terjadi pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU). Siklus Brayton menghasilkan energi mekanik dalam siklus PLTG melalui pembakaran bahan bakar dalam turbin gas. Sebaliknya, siklus Rankine menghasilkan energi listrik melalui turbin uap dalam siklus PLTU, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Kedua siklus kerja ini diintegrasikan agar energi panas yang dihasilkan dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan optimal. Berikut penjelasan prinsip kerja PLTGU secara bertahap [9], [10]:

1. **Kompresi Udara (Compressor)**
Kompresor menghisap udara dari

atmosfer dan memampatkannya. Udara yang telah dimampatkan akan mengalami peningkatan tekanan, sehingga dapat dialirkan ke ruang bakar (combustor).

2. Proses Pembakaran (Combustion)

Pembakaran dilakukan di ruang bakar dengan membakar campuran antara udara bertekanan tinggi dengan bahan bakar (biasanya gas alam). Hasil proses pembakaran ini berupa gas panas bertekanan dan bersuhu tinggi.



Gambar 2. Siklus PLTU [6]

3. Ekspansi pada Turbin Gas (Gas Turbine)

Turbin gas menerima gas panas yang dihasilkan oleh ruang bakar. Gas panas ini diubah oleh turbin gas menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk menggerakkan generator, menghasilkan listrik, dan memutar kompresor.

4. Pemanfaatan Panas Sisa (Heat Recovery Steam Generator - HRSG)

Alat penukar panas (HRSG) menggunakan gas buang panas dari turbin gas yang masih memiliki energi termal tinggi untuk menghasilkan uap dari air. Uap yang dihasilkan ini digunakan untuk menggerakkan turbin uap.

5. Ekspansi pada Turbin Uap (Steam Turbine)

Uap yang dihasilkan oleh HRSG dialihkan ke turbin uap. Di sini,

energi mekanik dari uap diubah menjadi energi mekanik, agar dapat digunakan untuk menggerakkan generator tambahan sehingga menghasilkan listrik.

6. **Kondensasi Uap (Condenser)** Uap akan didinginkan di kondensor setelah digunakan di turbin uap dan kemudian dipompa kembali ke HRSG untuk proses pemanasan ulang, mengulangi siklus Rankine.
7. **Produksi Listrik (Generator)** Generator terhubung ke turbin gas dan turbin uap. Genetor mengubah energi mekanik yang dihasilkan turbin menjadi energi listrik. Selanjutnya, energi listrik ini dapat disalurkan ke jaringan distribusi untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dan bisnis.

Kompresor, turbin gas, combustor, dan generator panas pemulihan (HRSG) adalah komponen utama PLTGU yang dianalisis. Setiap komponen ini memainkan peran penting dalam konversi energi dari bahan bakar menjadi energi listrik, sehingga kinerja masing-masing komponen secara langsung memengaruhi efisiensi termal sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, sangat penting untuk memeriksa input, output, dan kehilangan panas (heat loss) selama proses operasi [11].

Metode yang didasarkan pada Hukum I Termodinamika digunakan dalam penelitian ini untuk menghitung efisiensi termal dengan membandingkan energi keluaran dengan energi masukan. Analisis ini menunjukkan bagaimana energi didistribusikan di setiap bagian, menemukan area yang mungkin mengalami kehilangan energi, atau kehilangan panas, dan mengevaluasi efisiensi konversi energi di seluruh sistem pembangkit [12].

Efisiensi thermal dapat mendeskripsikan bagaimana sebuah sistem atau perangkat dapat menggunakan energi dengan cara yang paling efisien. Sehingga dengan kerja yang minimal dapat diperoleh hasil yang maksimal, sehingga dapat

mengurangi pemborosan energi. Setiap komponen perlu diperhitungkan efisiensi kerjanya pada masa sebelum dan sesudah pemeliharaan agar dapat dianalisa seberapa besar pengaruh pemeliharaan tersebut terhadap performa kerja. Perhitungan terhadap efiseinsi setiap komponen PLTGU dapat diperhitungkan menggunakan rumus-
rumus berikut: [7], [13].

• **Kompresor**

Efisiensi kompresor dapat diperoleh dengan persamaan [7], [13]:

$$\eta_c = \frac{(h_{2'} - h_1)}{(h_2 - h_1)} \times 100 \% \quad (1)$$

• **Turbin Gas**

Efisiensi turbin gas dapat diperoleh dengan persamaan [7], [13]:

$$\eta_{GT} = \frac{(h_3 - h_4)}{(h_3 - h_{4'})} \times 100 \% \quad (2)$$

• **Combustor**

Efisiensi *combustor* dapat diperoleh dengan persamaan [7], [13]:

$$\eta_{cc} = \frac{(\dot{m}_u - \dot{m}_{bb}) h_3 - \dot{m}_u h_2}{(\dot{m}_{bb} - LHV)} \times 100 \% \quad (3)$$

• **HRSG**

Efektifitas HRSG dapat diperoleh dengan persamaan [7], [13]:

$$\eta_{HRSG} = \frac{(Output)}{(Input)} \times 100 \% \quad (4)$$

• **Turbin Uap**

Efisiensi turbin uap dapat diperoleh dengan persamaan [7], [13]:

$$\eta_{ST} = \frac{W_{ST\text{aktual}}}{W_{ST\text{ideal}}} \times 100 \% \quad (5)$$

$$\eta_{ST\text{ ideal}} = m \times (h_{in} - h_{out\text{ (isentropis)}}) \quad (6)$$

• **Pompa**

Efisiensi pompa dapat diperoleh dengan persamaan [7], [13]:

$$\eta_p = \frac{W_{Pompa}}{V \times i \times \cos \varphi \times \sqrt{3}} \times 100 \% \quad (7)$$

Di mana v adalah tegangan (*volt*), dan i adalah arus (*ampere*), $\cos \varphi$ adalah nilai standar dari motor, dan konstanta untuk pompa 3 fasa adalah $\sqrt{3}$.

• **Kondensor**

Efisiensi kondensor dapat diperoleh dengan persamaan [7], [13]:

$$Q_k = \dot{m}_{in} \times h_{fg} \quad (8)$$

$$Q_k = \dot{m}_{in} \times (h_g - h_f) \quad (9)$$

$$Energi\ Loss = \dot{m}_{13} \times (\dot{h}_{13} - \dot{h}_{14}) - Q_k \quad (10)$$

Efisiensi Kondensor dapat diperoleh dengan persamaan [7], [13]:

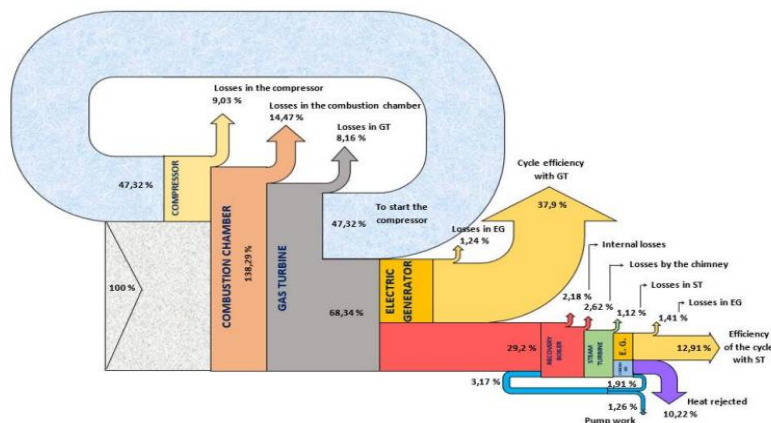
$$\eta_{Kondensor} = 1 - \frac{(Energi\ loss)}{m_{13} \times (h_{13} \times h_{14})} \times 100\% \quad (11)$$

• Efisiensi Thermal PLTGU

Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung efisiensi termal siklus dari semua proses perhitungan kerja komponen [7], [13]:

$$\eta_{th} = \frac{W_{total}}{Q_{in}} \times 100\% \\ = \frac{W_{GT} + W_{ST} - (W_C + W_{CP} + W_P(HP) + W_P(LP))}{Q_{in}} \times 100\% \quad (12)$$

Untuk meningkatkan pemahaman dan interpretasi data, penelitian ini menggunakan Sankey Diagram sebagai alat visualisasi. Diagram ini memberikan representasi grafis dari aliran energi dalam sistem, dengan menampilkan energi yang masuk, energi yang digunakan oleh setiap komponen, serta energi yang hilang. Visualisasi ini mempermudah identifikasi bagian sistem yang kurang efisien dan memungkinkan analisis menyeluruh terhadap distribusi energi seperti gamabar dibawah ini;



Gambar 3. Diagram Sankey [6]

3. Hasil dan Pembahasan

Evaluasi kinerja PLTGU pada beban 135 MW dilakukan dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah overhaul berdasarkan nilai kerja komponen, energi masuk, energi keluar, dan besarnya *heat loss* sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Grafik pada Gambar 4 serta visualisasi aliran energi melalui Gambar 5 dan Gambar 6 memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai perubahan perilaku sistem setelah pemeliharaan besar. Secara keseluruhan, seluruh komponen

utama menunjukkan peningkatan efisiensi dengan besaran peningkatan yang berbeda pada tiap komponen.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Kerja dan Efisiensi Thermal Komponen Before Overhaul Beban 135 MW

Komponen	Kerja (MW)	Q_{In} (MW)	Q_{Out} (MW)	Q_{Loss} (MW)	Efisiensi (%)
Kompresor	115,047				84,92%
Turbin Gas	251,380	471,437	280,482	190,954	91,04%
Combustor High pressure	471,437	471,437			62,50%
Low pressure	0,538				97,29%
Condensate pump	0,144				96,14%
Turbin Uap	61,052	242,026	177,742	64,284	72,13%
HRSG		280,482	242,026	38,456	76,29%
Kondensor		177,742	194,077	16,335	88,15%

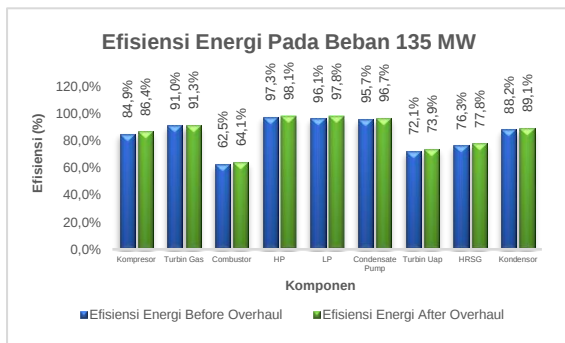
Tabel 2. Hasil Perhitungan Kerja dan Efisiensi Thermal Komponen After Overhaul Beban 135 MW

Komponen	Kerja (MW)	Q_{In} (MW)	Q_{Out} (MW)	Q_{Loss} (MW)	Efisiensi (%)
Kompresor	142,145				86,40%
Turbin Gas	311,921	567,385	354,922	212,463	91,33%
Combustor High pressure	567,385	567,385			64,08%
Low pressure	1,221				98,06%
Condensate pump	1,001				97,81%
Turbin Uap	0,882				96,69%
HRSG	72,669	312,213	231,412	80,801	73,86%
Kondensor		354,922	312,213	42,709	77,79%
		231,412	255,701	24,289	89,05%

Berdasarkan hasil perhitungan kerja dan efisiensi termal komponen PLTGU pada beban 135 MW sebelum dan setelah overhaul, terlihat adanya perubahan yang signifikan pada kinerja sistem, terutama dalam hal efisiensi termal seperti diperlihatkan dalam gambar 4.

Efisiensi kompresor sebelum dilakukan overhaul meningkat dari 84,92% menjadi 86,40% setelah overhaul selesai. Kenaikan 1,48% ini bisa diperoleh setelah dilakukan pembersihan deposit pada sudu serta pemulihan kondisi *tip clearance* yang sebelumnya mengalami degradasi. *Fouling* pada kompresor diketahui menambah beban

kerja kompresi dan menyebabkan *specific work* meningkat. Setelah perawatan, profil aliran udara menjadi lebih mendekati kondisi desain, hambatan aerodinamika berkurang, dan laju alir massa meningkat. Pola perbaikan ini sesuai dengan temuan pada pembangkit siklus gabungan lain yang melaporkan pemulihan efisiensi kompresor setelah overhaul [9].



Gambar 4. Grafik Efisiensi Energi Pada Beban 135 MW

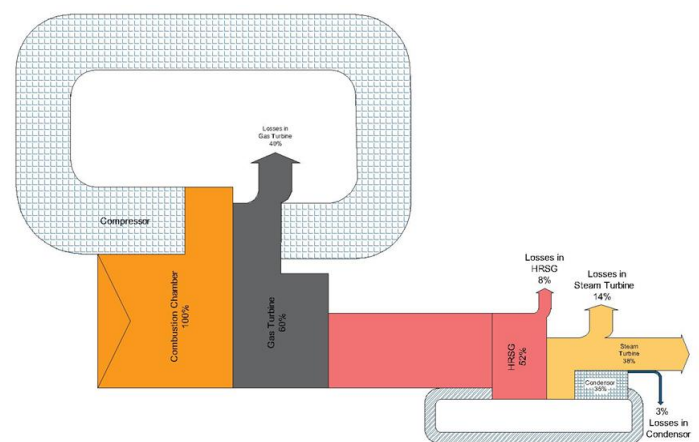
Efisiensi turbin gas naik dari 91,04% menjadi 91,33% (0,29%). Meskipun nilai perbaikannya kecil, nilai ini cukup signifikan karena turbin gas pada dasarnya sudah bekerja pada tingkat efisiensi tinggi, sehingga ruang perbaikan kinerjanya sangat terbatas. Overhaul menghilangkan deposit pada *nozzle guide vane*, memperbaiki sistem sealing antar tahap, dan mengembalikan geometri sudu mendekati bentuk desain. Rentang peningkatan serupa sebesar 0,2–1% juga ditemukan pada studi lain mengenai pemeliharaan turbin gas pada siklus kombinasi [14].

Efisiensi HRSG meningkat dari 76,29% menjadi 77,79% (naik 1,50%) setelah overhaul. Angka ini sejalan dengan Tabel 1 dan Tabel 2, serta grafik efisiensi pada Gambar 4, yang menunjukkan peningkatan cukup nyata setelah perbaikan. HRSG sangat sensitif terhadap fouling dan kebocoran minor pada jalur perpindahan panas. Pembersihan permukaan tube dan perbaikan *ducting* setelah overhaul memungkinkan proses perpindahan panas berlangsung lebih efektif, sehingga gas buang dapat dimanfaatkan secara optimal untuk menghasilkan uap. Peningkatan efisiensi 1–3% pada HRSG yang menjalani

tindakan pembersihan serupa telah dipublikasikan dalam beberapa studi dan nilai pada penelitian ini berada dalam rentang tersebut [15], [16].

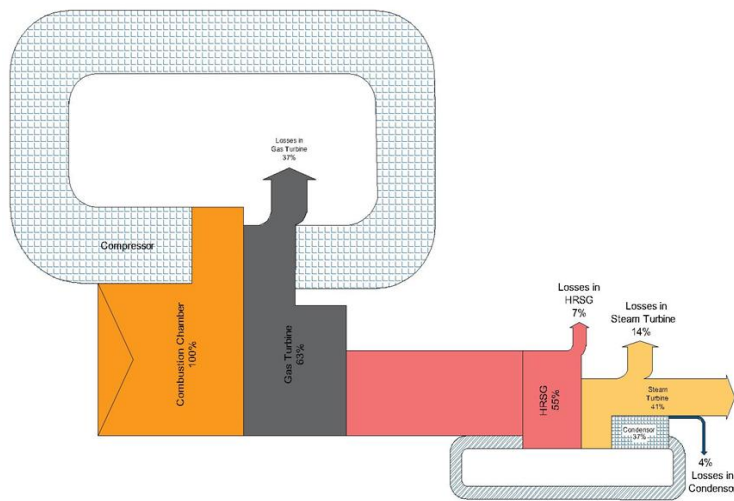
Efisiensi turbin uap meningkat dari 72,13% menjadi 73,86% atau sebesar 1,73%. Peningkatan ini terutama dipengaruhi oleh kualitas uap masuk yang lebih baik sebagai hasil dari perbaikan HRSG serta pemulihan jalur aliran uap di dalam turbin, termasuk penyempurnaan kondisi sudu dan pengurangan *internal leakage*. Tren peningkatan efisiensi 0,5–2% setelah perawatan besar pada turbin uap juga dilaporkan dalam studi lain mengenai pembangkit siklus gabungan [10], [17].

Efisiensi kondensor meningkat dari 88,15% menjadi 89,05%. Meskipun peningkatannya paling kecil, komponen ini tetap memiliki kontribusi penting bagi keseluruhan performa siklus Rankine. Peningkatan ini berkaitan dengan berkurangnya resistansi perpindahan panas setelah pembersihan tube, sehingga proses kondensasi berlangsung lebih efektif. Peningkatan efisiensi kondensor sekitar 0,5–1,5% setelah pemeliharaan banyak diidentifikasi pada penelitian pembangkit *Combined Cycle Power Plant*. Hasil pada penelitian ini berada dalam rentang yang sama, menandakan bahwa tindakan pemeliharaan telah memberikan dampak nyata pada efektivitas proses pendinginan [9].



Gambar 5. Sankey Diagram Before overhaul Beban 135 MW

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 1 dan Tabel 2 serta visualisasi pada Gambar 5 dan Gambar 6, efisiensi termal PLTGU menunjukkan peningkatan dari 52,8% menjadi 54,3% setelah dilakukan overhaul. Kenaikan sebesar 1,5% ini muncul sebagai dampak positif dari perbaikan kinerja pada rangkaian komponen utama, terutama kompresor, turbin gas, HRSG, turbin uap, dan kondensor. Peningkatan efisiensi kompresor diperlihatkan pada penurunan kerugian energi yang ditunjukkan oleh aliran Sankey setelah perawatan, di mana proses kompresi menjadi lebih stabil sehingga kontribusinya terhadap daya turbin gas ikut membaik.



Gambar 6. Sankey Diagram After Overhaul Beban 135 MW

Perbaikan pada HRSG juga terlihat jelas dari menurunnya nilai *heat loss* pada Gambar 6 dibandingkan kondisi sebelum perawatan, menandakan bahwa pemanfaatan panas buang menjadi lebih efektif. Dampak ini berlanjut pada turbin uap melalui peningkatan kualitas energi masuk, yang selaras dengan kenaikan efisiensi pada Tabel 2. Kondensor juga memperlihatkan peningkatan efektivitas proses kondensasi melalui berkurangnya *losses* pada diagram Sankey, meskipun skalanya lebih kecil dibandingkan komponen lainnya [10].

Jika seluruh perubahan ini dilihat sebagai satu kesatuan aliran energi, pola yang terbentuk menunjukkan bahwa porsi energi yang berhasil dikonversi menjadi

keluaran listrik meningkat, sementara bagian energi yang hilang pada jalur-jalur utama menyusut. Tren ini menggambarkan berkurangnya irreversibilitas proses pada sistem secara keseluruhan, dan hal tersebut konsisten dengan karakteristik pemulihan performa PLTGU setelah overhaul yang dilaporkan pada beberapa penelitian sebelumnya [[15], [16], [18]]. Dengan demikian, peningkatan efisiensi termal sebesar 1,5% tidak hanya menunjukkan keberhasilan perawatan masing-masing komponen, tetapi juga mencerminkan perbaikan integratif pada seluruh lintasan konversi energi di dalam pembangkit.

4. Kesimpulan

Secara keseluruhan, overhaul pada sistem PLTGU menghasilkan peningkatan efisiensi pada sebagian besar komponen, baik itu kompresor, turbin gas, combustor, turbin uap, HRSG, maupun kondensor. Peningkatan efisiensi ini menunjukkan bahwa proses overhaul berhasil mengurangi pemborosan energi dan mengoptimalkan konversi energi dalam sistem, yang pada akhirnya akan meningkatkan efisiensi termal pembangkit secara keseluruhan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa pelaksanaan overhaul memberikan dampak positif terhadap peningkatan efisiensi sistem pembangkit. Pada kondisi beban 135 MW, efisiensi termal meningkat dari 52,8% sebelum overhaul menjadi 54,3% setelah overhaul, yang mencerminkan keberhasilan proses perbaikan dan optimasi sistem. Penurunan nilai *heat loss* dari 15,08% menjadi 13,60% semakin menegaskan peningkatan kinerja termal pasca-overhaul. Selain itu, evaluasi distribusi *heat loss* menunjukkan bahwa kehilangan energi terbesar terjadi pada komponen *combustor chamber*, sedangkan yang terendah terdapat pada kondensor. Temuan ini menunjukkan bahwa *combustor chamber* merupakan titik kritis dalam sistem yang memerlukan perhatian khusus pada upaya perbaikan dan efisiensi energi di masa mendatang.

Ucapan terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi PLN dan PT. PLN Nusantara Power UP Muara Karang yang telah memberi dukungan yang membantu pelaksanaan penelitian dan penulisan artikel.

Referensi

- [1] Agus Tampubolon, "Rencana Umum Energi Nasional (RUEN): Existing Plan, Current Policies Implication, and Energy Transition Scenario," *IESR (Institute Essent. Serv. Reform)*, no. September, p. 30, 2020, [Online]. Available: <https://iesr.or.id/wp-content/uploads/2020/09/RUEN-Existing-Plan-Current-Policies-Implication-and-Energy-Transition-Scenario-presentation.pdf>
- [2] B. Sugandi, F. Atabiq, And R. A. Asti, "Pengaruh Beban Gas Turbine Generator terhadap Efisiensi Heat Recovery Steam Generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU)," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. & Tek. Elektron. Vol 11, No 3 Publ. July 2023* DOI - 10.26760/elkomika.v11i3.639, Jul. 2023, [Online]. Available: <https://ejurnal.itenas.ac.id/index.php/elkomika/article/view/8790>
- [3] A. A. Antariksa *et al.*, "Optimisasi Performa Gas Turbine Generator (GTG) Unit PLTGU Cilegon PGU Melalui Analisis Performa Pada Variabel Beban Berbeda Dan Strategi Peningkatan Efisiensi," *J. Tek. Mesin S-1*, vol. 11, no. 2, pp. 39–48, 2023.
- [4] Ahmed Hasan Ahmed, Anmmar Mahmoud Ahmed, and Qussay Younis Hamid, "Exergy and Energy Analysis of 150 MW Gas Turbine Unit: A Case Study," *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 67, no. 1 SE-Articles, pp. 186–192, Mar. 2024, [Online]. Available: [https://semarakilmu.com.my/journals](https://semarakilmu.com.my/journals/index.php/fluid_mechanics_thermal_sciences/article/view/3769)
- [5] Z. Effendi, I. U. P. Rangkuti, and E. K. Sitanggang, "Analisa Performansi Turbin Uap Kapasitas 1,8 MW pada Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 50 Ton/Jam," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 13, no. 2, 2024, doi: 10.24127/trb.v13i2.3496.
- [6] D. J. Mariños Rosado, A. Z. Mendiburu, and J. A. de Carvalho, "Energy production and effect of ecological efficiency on the electricity production cost of a combined cycle without/with supplementary fuel burning," *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 38, p. 101623, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2022.101623>.
- [7] L. V John H and L. I. John H, "A Heat Transfer Textbook - Six edition," *Phlogist. Press*, pp. 54–56, 2024.
- [8] K. Mohammadi, M. S. E. Khaledi, M. Saghafifar, and K. Powell, "Hybrid systems based on gas turbine combined cycle for trigeneration of power, cooling, and freshwater: A comparative techno-economic assessment," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 37, p. 100632, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100632>.
- [9] R. Simangunsong and M. S. Gozali, "Perubahan Nilai Efektivitas Kondenser Sebelum Dan Sesudah Pemeliharaan Unit 2 Di PLTGU Panaran," *J. REKAYASA ENERGI*, vol. 2, no. 1 SE-Articles, pp. 1–8, Jun. 2023, doi: 10.31884/jre.v2i1.19.
- [10] O. R. Altarawneh, A. A. Alsarayreh, A. M. Al-Falahat, M. J. Al-Kheetan, and S. S. Alrwashdeh, "Energy and exergy analyses for a combined cycle power plant in Jordan," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 31, no. February, p. 101852, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.csite.2022.101852.
- [11] Y. Zhang, N. Xiong, Z. Ge, Y. Zhang,

- J. Hao, and Z. Yang, “A novel cascade heating system for waste heat recovery in the combined heat and power plant integrating with the steam jet pump,” *Appl. Energy*, vol. 278, p. 115690, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115690>.
- [12] S. Levario-Medina, G. Valencia-Ortega, and M. A. Barranco-Jiménez, “Energetic Optimization Considering a Generalization of the Ecological Criterion in Traditional Simple-Cycle and Combined-Cycle Power Plants,” *J. Non-Equilibrium Thermodyn.*, vol. 45, no. 3, pp. 269–290, 2020, doi: [10.1515/jnet-2019-0088](https://doi.org/10.1515/jnet-2019-0088).
- [13] M. A. Ijaz Malik *et al.*, “Enhancing peak performance forecasting in steam power plants through innovative AI-driven exergy-energy analysis,” *Energy Convers. Manag.* X, vol. 26, p. 101025, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.101025>.
- [14] M. V Petrovic, S. Milic, D. Petkovic, T. Madzar, and N. M. Markovic, “Improving Steam Turbine Plants Performance Through Advanced Testing and Simulation,” 2025. doi: [10.3390/en18071615](https://doi.org/10.3390/en18071615).
- [15] K. D. Khalaf and O. M. Ali, “Effect of the Maintenance Strategy on the Performance and Efficiency of the Gas Turbine Unit: A Review,” *J. Eur. den Syst. Autom.*, vol. 56, no. 2, pp. 259–267, 2023, doi: <https://doi.org/10.18280/jesa.560211>
Received:
- [16] Y. S. H. Najjar, O. F. A. Alalul, and A. Abu-Shamleh, “Degradation analysis of a combined cycle heat recovery steam generator under full and part load conditions,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 37, p. 100587, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100587>.
- [17] M. V Petrovic, S. Milic, D. Petkovic, T. Madzar, and N. M. Markovic, “Improving Steam Turbine Plants Performance Through Advanced Testing and Simulation,” *Energies*, vol. 18, 2025.
- [18] S. Rohman and M. Ridwan, “Analisis Efektivitas Kondensor Sebelum Dan Sesudah Overhaul di PLTGU Cilegon,” *ARMATUR Artik. Tek. Mesin Manufaktur*, vol. 6, no. 1, pp. 57–64, 2025.