

ANALISIS EFISIENSI *THERMAL* DENGAN PENDEKATAN *SANKEY DIAGRAM* PADA PLTGU UP MUARA KARANG BLOK 2

Muhammad Ridwan^{1a}, Agustina Sihol Marito Purba¹, Prayudi¹, Rudina Okvasari², Hendri¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi dan Bisnis Energi, Institut Teknologi PLN

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN

Korespondensi:

^aProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi dan Bisnis Energi, Institut Teknologi PLN
m.ridwan@itpln.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini menerapkan teori Hukum I termodinamika untuk mengetahui ketepatan besarnya efisiensi pembangkit pada PLTGU Muara Karang Blok 2. Komponen yang dihitung dalam perhitungan yaitu komponen utama meliputi kompresor, turbin gas, *combustor*, HRSG, HP *pump*, LP *pump*, *condensate pump*, *steam turbine*, kondensator, dan siklus *thermal* PLTGU. Penelitian ini membahas analisis energi sebelum dan setelah *overhaul* pada PLTGU UP Muara Karang Blok 2 menggunakan pendekatan *Sankey Diagram*. Data perhitungan panas yang masuk, panas yang keluar, dan *heat loss* pada komponen PLTGU pada beban 135 MW dan 230 MW diuraikan. Hasilnya menunjukkan peningkatan efisiensi *thermal* pada kedua tingkat beban setelah *overhaul*, yaitu dari 84.92% menjadi 86.40% pada beban 135 MW, dan dari 85.70% menjadi 86.69% pada beban 230 MW. Distribusi panas yang masuk pada komponen utama juga meningkat, mencerminkan optimalisasi konversi energi. *Heat loss* pada kedua tingkat beban mengalami penurunan, menunjukkan perbaikan efisiensi *thermal*.

Kata kunci: efisiensi, energi, *overhaul*, *Sankey Diagram*, PLTGU.

ABSTRACT

This study applies science based on Law I of thermodynamics to determine the accuracy of the magnitude of plant efficiency at the Muara Karang Block 2 PLTGU. The components calculated in the calculation is that the main components include compressors, gas turbines, combustors, HRSG, HP pumps, LP pumps, condensate pumps, steam turbines, condensers, and PLTGU cycles thermal. This study discusses energy analysis before and after overhaul at PLTGU UP Muara Karnag block 2 using the Sankey Diagram approach. Data on the calculation of incoming heat, outgoing heat, and heat loss in PLTGU components at 135 MW and 230 MW loads are described. The results showed an increase in thermal efficiency at both load levels after overhaul, from 84.92% to 86.40% at 135 MW load, and from 85.70% to 86.69% at 230 MW load. The distribution of incoming heat on the main components is also improved, reflecting the optimization of energy conversion. Heat loss at both load levels decreased, indicating improvements in thermal efficiency

Keywords: efficiency, energy, *overhaul*, *Sankey Diagram*, PLTGU.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk dan kegiatan industri di Indonesia membuat kebutuhan akan energi listrik juga terus meningkat. Oleh sebab itu, energi listrik harus dimanfaatkan secara efisien agar kebutuhan listrik pada setiap lapisan masyarakat dapat terpenuhi dengan baik. Salah satu langkah yang dapat dilakukan untuk menjaga stabilitas pasokan listrik adalah melalui pembangunan pembangkit listrik yang memanfaatkan sumber daya alam yang tersedia. Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) merupakan salah satu jenis pembangkit yang dapat membantu dalam memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia [1].

PLTGU dapat menghasilkan listrik dengan mesin turbin yang mengubah energi panas dari pembakaran gas alam menjadi energi mekanik. Tahapan selanjutnya adalah memanfaatkan energi mekanik tersebut untuk menggerakkan generator listrik sehingga dapat menghasilkan energi listrik. PLTGU UP Muara Karang adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan gas alam sebagai bahan bakar utama [2].

Performa PLTGU harus tetap optimal agar dapat memproduksi listrik sesuai kapasitasnya. Oleh sebab itu sejumlah pemeliharaan harus dilakukan secara teratur dan terjadwal [3]. Salah satu pemeliharaan yang harus dilakukan adalah *Major Inspection Overhaul (MIO)* yaitu pemeliharaan menyeluruh pada masing-masing komponen turbin gas. Pelaksanaan *overhaul* akan meningkatkan performa dan kinerja turbin gas, sehingga diperlukan analisis termodinamika untuk mengetahui peningkatan performa itu dengan variabel nya; *AFR (Air Fuel Ratio)*, dan efisiensi; kompresor, turbin gas, *combustor*, *Heat Recovery Steam Generator (HRSG)*, *low pressure pump*, *high pressure pump*, *condensate pump*, turbin uap, kondensor, dan *thermal cycle*. PLTGU Muara Karang Blok 2 dilakukan *overhaul* dari 14 Juli sampai 12 September 2023 oleh *Unit Maintenance Repair Overhaul (UMRO)*.

Analisa terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja dan kerugian energi dalam operasional PLTGU telah dilakukan dalam beberapa penelitian sebelumnya. Penelitian-penelitian ini tidak hanya berfokus pada efisiensi *thermal* dan mekanis, tetapi juga mengeksplorasi dampak dari kondisi lingkungan, metode pemeliharaan, serta karakteristik komponen utama seperti turbin gas dan *Heat Recovery Steam Generator (HRSG)*.

Penelitian yang dilakukan oleh Simangunsong (2023) bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas kondensor setelah dilakukan *overhaul*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *overhaul* yang dilakukan berhasil meningkatkan efektivitas kondensor secara signifikan, yang sebelumnya terpengaruh oleh kotoran dan korosi akibat penggunaan air laut sebagai media pendingin. Kesimpulan dari penelitian ini menekankan pentingnya pemeliharaan rutin untuk menjaga kinerja kondensor dan efisiensi sistem secara keseluruhan [4].

Penelitian lainnya oleh Sugandi (2023) bertujuan untuk menganalisis bagaimana variasi beban mempengaruhi efisiensi HRSG. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi HRSG meningkat seiring dengan peningkatan beban, yang menunjukkan bahwa pengelolaan beban yang tepat dapat meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan. Kesimpulan dari penelitian ini menekankan pentingnya pengaturan beban dalam meningkatkan kinerja PLTGU [5].

Menurut Hukum I Termodinamika energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, bentuk energi itu sendiri hanya dapat diubah dari satu jenis energi menjadi jenis energi lainnya. Hal ini bisa disimpulkan bahwa total energi dalam suatu sistem tidak pernah berubah atau konstan [6]. Analisa dalam penelitian ini dilakukan untuk memahami transfer panas dan kerja yang terjadi dalam sistem. Analisa 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 [5].

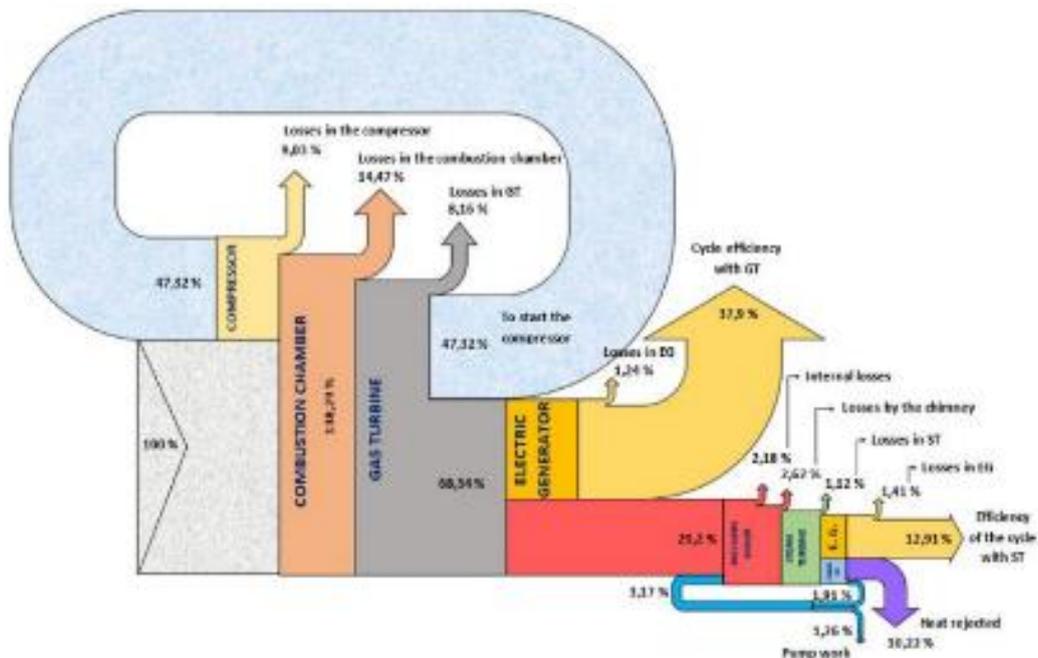
Pendekatan *Sankey Diagram* menjadi pilihan yang tepat dalam mewakili data distribusi panas secara visual dan informatif. *Sankey Diagram* memberikan gambaran yang jelas tentang arus energi, menyoroti bagaimana panas masuk dan keluar pada setiap komponen. Kelebihan visualisasi ini akan mempermudah pemahaman dan komunikasi hasil analisis kepada berbagai pemangku kepentingan, termasuk para insinyur, manajer operasional, dan peneliti di bidang energi [7].

Penelitian ini melakukan analisa berdasarkan perhitungan termodinamika dengan mengamati perubahan performa terhadap komponen yang sama pada PLTGU Muara Karang saat kondisi sebelum (14 Juni 2023) dan sesudah *Major Inspection Overhaul*. Pengamatan dilakukan dalam kondisi beban penuh serta variasi data jam operasional. Hasil perhitungannya dianalisa menggunakan perbandingan grafik, sehingga pengaruh pelaksanaan *overhaul* dapat dianalisa dengan lebih baik melalui pengamatan terhadap perubahan performa dari setiap komponen. Penelitian ini dapat

menunjukkan pengaruh *overhaul* terhadap efisiensi *thermal* dan jumlah *heat loss* pada PLTGU UP Muara Karang Blok 2 *before and after overhaul* melalui analisa menggunakan pendekatan *Sankey Diagram*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Proses pembakaran dan aliran energi yang terjadi dalam PLTGU akan lebih mudah dipahami saat digambarkan secara visual. *Sankey Diagram* merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menunjukkan proses aliran energi tersebut. *Sankey Diagram* dapat memberikan gambaran grafis terhadap proses energi masuk yang berasal dari bahan bakar dapat diubah menjadi aliran energi menjadi berbagai kegunaan. *Sankey Diagram* juga dapat menggambarkan dengan spesifik aliran kehilangan panas dan energi yang terjadi selama proses pembakaran berlangsung. Perubahan panas yang dikonversi menjadi energi dan yang terbuang selama prosesnya dapat dimasukkan ke dalam neraca panas, sehingga keseimbangan energi total yang masuk *combustor* dan yang meninggalkan *combustor* dapat diperhitungkan secara teliti meskipun telah berubah dalam bentuk yang berbeda. Tujuan dari pengkajian energi mengurangi kehilangan energi yang dapat dihindari, dengan meningkatkan efisiensi *energy boiler* [8].



Gambar 1 Sankey Diagram [9]

Panah tebal pada Gambar 1 memberikan informasi mengenai seberapa banyak energi yang hilang pada *combustor*. Energi yang berasal dari bahan bakar merupakan energi masuk yang pada proses pembakarannya akan mengalami beberapa kehilangan energi panas. Beberapa kehilangan panas yang umum terjadi selama proses pembakaran berlangsung meliputi hilangnya panas akibat gas buang, uap gas buang, kandungan air bahan bakar, kandungan air udara, bahan bakar yang belum terbakar, serta akibat radiasi, maupun konveksi. Melalui pendekatan *Sankey Diagram*, persentase kehilangan panas yang terjadi dapat diidentifikasi secara detail. Hal ini dapat membantu proses identifikasi Uji efisiensi PLTGU dengan metode tak langsung dapat membantu menemukan penyimpangan inefisiensi PLTGU.

2.1 Menentukan Laju Aliran Massa Gas dan Udara

Untuk menghitung laju aliran massa gas dan udara dapat diperoleh dengan persamaan [10]:

$$AFR = \frac{\left(\frac{W_{gen}}{\eta_{gen}}\right) - m_{bb} (h_3 - h_4)}{m_{bb} (h_3 - h_4) - m_{bb} (h_2 - h_1)} \quad (1)$$

Laju massa gas dan udara dapat dihitung dengan persamaan:

$$\dot{m}_u = AFR \times \dot{m}_{bb} \quad (2)$$

$$\dot{m}_g = \dot{m}_u \times \dot{m}_{bb} \quad (3)$$

2.2 Menentukan Temperatur dan Entalpi Ideal

Untuk menghitung temperatur ideal udara keluar kompresor (T2') dapat diperoleh dengan persamaan [10]:

$$T_2' = T_1 \times \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/k} \quad (4)$$

Untuk menghitung temperatur ideal udara keluar kompresor (T4') dapat diperoleh dengan persamaan :

$$T_4' = T_3 \times \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{(k-1)/k} \quad (5)$$

Efisiensi *thermal* mengacu pada kemampuan sistem atau perangkat dalam menggunakan energi dengan sebaik-baiknya, menghasilkan hasil yang maksimal dengan penggunaan yang minimal, mengurangi pemborosan energi. [10]

Kompresor

Efisiensi kompresor dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\eta_c = \frac{(h_2' - h_1)}{(h_2 - h_1)} \times 100 \% \quad (6)$$

Combustor

Efisiensi *combustor* dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\eta_{cc} = \dot{m}_u - \dot{m}_{bb} h_3 - \dot{m}_u h_2 - \dot{m}_{bb} - LHV \times 100 \% \quad (7)$$

Turbin Gas

Efisiensi turbin gas dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\eta_{GT} = \frac{(h_3 - h_4)}{(h_3 - h_4')} \times 100 \% \quad (8)$$

HRSG

Efektifitas HRSG dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\eta_{HRSG} = \frac{(Output)}{(Input)} \times 100 \% \quad (9)$$

Efisiensi turbin uap dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\eta_{ST} = \frac{W_{ST\text{aktual}}}{W_{ST\text{ideal}}} \times 100 \% \quad (10)$$

$$\eta_{ST\ ideal} = m \times (h_{in} - h_{out\ (isentropis)}) \quad (11)$$

Pompa

Efisiensi pompa dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\eta_p = \frac{W_{pompa}}{V \times i \times \cos\varphi \times \sqrt{3}} \times 100\% \quad (12)$$

dimana 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 :

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

Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung efisiensi *thermal* siklus dari semua proses perhitungan kerja komponen:

$$\eta_{th} = \frac{W_{total}}{Q_{in}} \times 100\% = \frac{W_{GT} + W_{ST} - (W_C + W_{CP} + W_{P(HP)} + W_{P(LP)})}{Q_{in}} \times 100\% \quad (14)$$

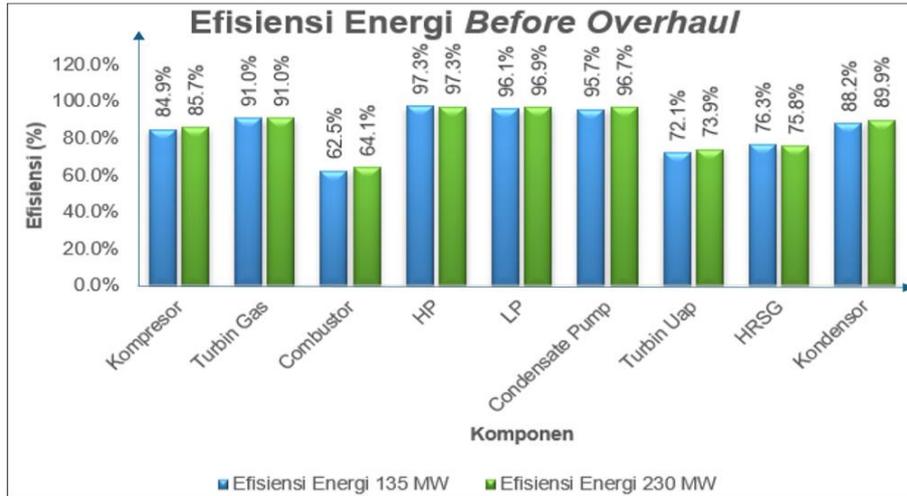
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Overhaul adalah kegiatan penting yang harus dilakukan terhadap komponen PLTGU agar dapat terus beroperasi secara optimal. Kegiatan *overhaul* meliputi pemeriksaan, perbaikan serta pengujian secara menyeluruh pada setiap komponen utama maupun alat bantu yang sedang bergerak maupun yang dalam keadaan diam. Jenis pekerjaan yang biasanya dilakukan selama *overhaul* PLTGU oleh PT. Nusantara Power UP Muara Karang antara lain inspeksi kompresor, turbin gas, *combustor*, HRSG, HP *pump*, LP *pump*, *condensate pump*, *steam turbine*, dan kondensor.

Teori dasar dari efisiensi *thermal* dalam sistem pembangkit listrik terletak pada pemulihan energi dari gas buang dan pengurangan kehilangan panas. Sebuah penelitian oleh Ighodaro dan Osikhuemhe menunjukkan bahwa kombinasi siklus gas dan uap dapat mencapai efisiensi hingga 60% dengan memanfaatkan gas buang untuk menghasilkan uap dalam Heat Recovery Steam Generator (HRSG) [11]. Selain itu, penelitian oleh Liu et al. menekankan pentingnya sistem pemulihan panas untuk mengurangi kehilangan panas yang terjadi pada pembangkit listrik berbahan bakar fosil, di mana gas buang dapat menyumbang lebih dari 80% dari total kehilangan panas [12]. Hal ini menunjukkan bahwa pemulihan energi dari gas buang sangat penting untuk meningkatkan efisiensi *thermal*. Hal ini mendukung hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan sesuai dengan yang dijelaskan sebagai berikut.

3.1 Analisis Efisiensi Energi Tiap Sub-komponen Before Overhaul

Berdasarkan hasil efisiensi energi dengan beban 135 MW dan beban 230 MW pada Gambar 2, terlihat perbedaan efisiensi pada masing-masing komponen. Pada tingkat efisiensi tertinggi, kompresor mencapai 85.7% pada kapasitas 230 MW, menunjukkan kemajuan dalam penggunaan energi pada proses kompresi. Sementara itu, turbin gas menunjukkan konsistensi dengan efisiensi 91.0% pada kedua kapasitas daya, menandakan bahwa performanya tetap tinggi dalam menghasilkan daya listrik dari gas pembakaran. Pada efisiensi pembakaran, *combustor* menunjukkan peningkatan dari 62.5% menjadi 64.1% saat kapasitas meningkat. Ini menandakan peningkatan efisiensi dalam mengoptimalkan proses pembakaran bahan bakar. Sebaliknya, HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*) menunjukkan penurunan efisiensi dari 76.3% menjadi 75.8%, mengindikasikan bahwa pemulihan panas dari gas buang tidak seoptimal pada kapasitas daya yang lebih tinggi.

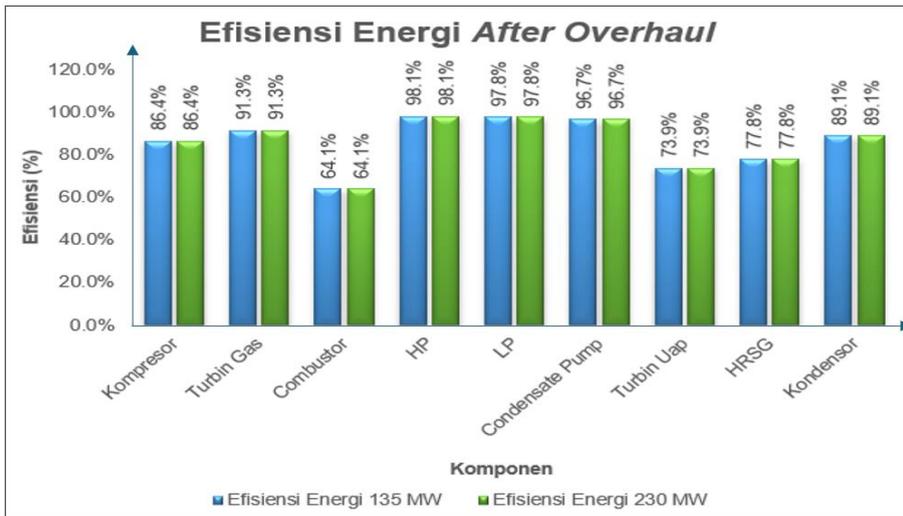


Gambar 2 Efisiensi energi tiap sub-komponen *before overhaul*

Pada turbin uap, efisiensi meningkat dari 72.1% menjadi 73.9%, menunjukkan peningkatan kinerja dalam mengkonversi panas menjadi energi mekanis. Begitu juga dengan kondensor yang menunjukkan peningkatan efisiensi dari 88.2% menjadi 89.9%, menandakan efisiensi pendinginan yang lebih baik pada kapasitas 230 MW. Secara umum, dari segi komponen, terbesar terletak pada turbin gas dengan efisiensi mencapai 91.0% pada kedua kapasitas, sementara terkecil pada *combustor* dengan efisiensi 62.5% pada kapasitas 135 MW. Kesimpulannya, peningkatan kapasitas daya memengaruhi efisiensi komponen-komponen tertentu, dengan peningkatan yang signifikan pada kompresor, turbin uap, dan kondensor, serta penurunan sedikit pada HRSG.

3.2 Analisis Efisiensi Energi Tiap Sub-komponen After Overhaul

Berdasarkan hasil efisiensi energi dengan beban 135 MW dan beban 230 MW pada Gambar 3, terlihat bahwa sebagian besar komponen menunjukkan kestabilan dalam performa efisiensinya. Kompresor, sebagai elemen pertama dalam siklus daya, menunjukkan konsistensi efisiensi sebesar 86.4% pada kedua kapasitas daya, menandakan bahwa penggunaan energi pada tahap kompresi tetap optimal tanpa adanya penurunan efisiensi. Turbin gas juga mempertahankan tingkat efisiensi yang tinggi pada 91.3%, tidak mengalami perubahan antara kapasitas 135 MW dan 230 MW. Hal ini menunjukkan bahwa turbin gas mampu menjaga performa tinggi dalam mengubah energi panas gas menjadi energi mekanis tanpa terpengaruh oleh perubahan kapasitas daya. Komponen lain seperti *combustor*, *high pressure pump* dan *low pressure pump*, *condensate pump*, turbin uap, HRSG, dan kondensor juga menunjukkan tingkat efisiensi yang tetap pada kedua kapasitas daya, dengan nilai yang relatif tinggi. efisiensi *combustor* tetap pada 64.1%, sementara *high pressure pump* dan *low pressure pump* masing-masing mencapai 98.1% dan 97.8%. Demikian pula, efisiensi pada *condensate pump*, turbin uap, HRSG, dan kondensor tetap stabil pada tingkat yang tinggi.

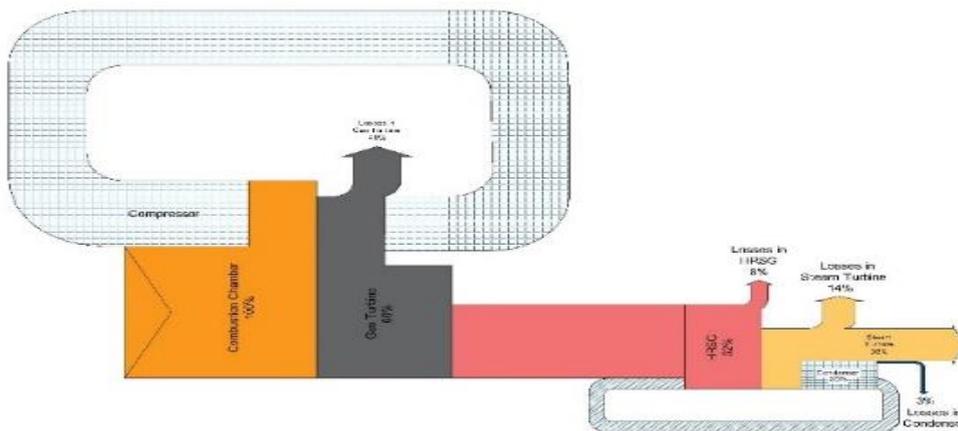


Gambar 3 Efisiensi energi tiap sub-komponen after overhaul

Sehingga, dari segi efisiensi, tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara beban 135 MW dan 230 MW pada masing-masing komponen. Semua komponen mempertahankan tingkat efisiensi yang tinggi, menandakan bahwa sistem kelistrikan ini dirancang untuk beroperasi secara optimal pada kedua kapasitas daya. Hal ini mencerminkan kualitas desain dan konstruksi yang baik, yang mampu menjaga performa efisiensi *thermal* pada tingkat yang konsisten tanpa mengalami penurunan yang signifikan seiring dengan peningkatan kapasitas daya.

3.3 Analisis Persentase Kehilangan Panas Before and After Overhaul

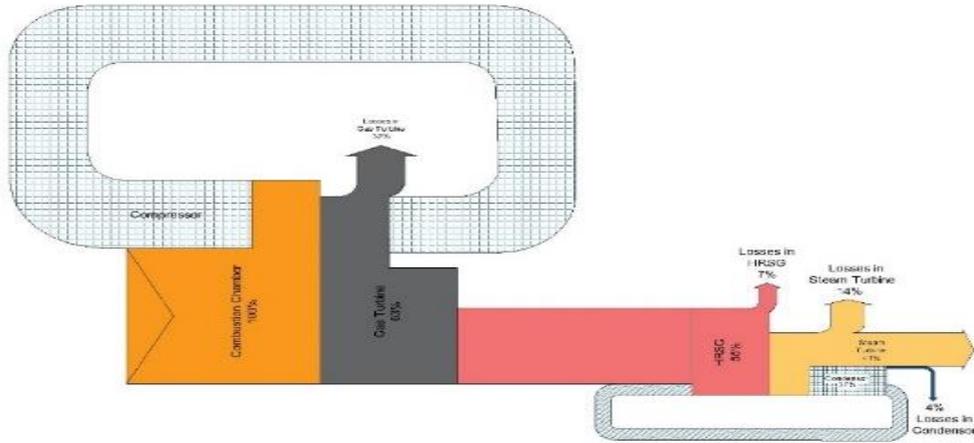
Pendekatan *Sankey Diagram* digunakan sebagai metode tak langsung untuk mengamati kondisi dan efisiensi PLTGU dengan membandingkan kinerja komponen PLTGU sebelum dan setelah *overhaul* dilaksanakan. Perbandingan tersebut dapat diamati dengan lebih baik pada Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7 berikut ini.



Gambar 4 Hasil Simulasi Sankey Diagram before overhaul beban 135 MW

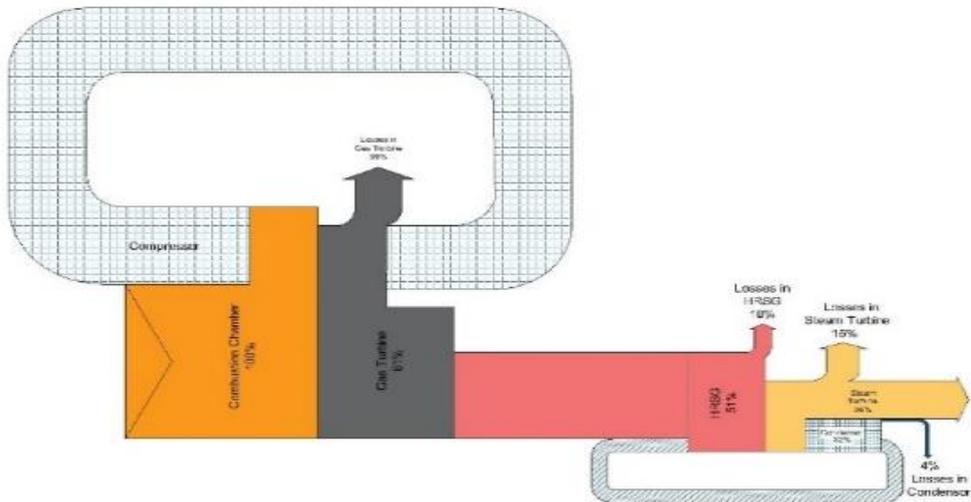
Sebelum dilakukan *overhaul*, sistem dengan beban 135 MW menunjukkan kerugian energi yang signifikan, terutama pada *Steam turbine* yang mencapai 14% dari total energi yang dimasukkan. *Gas turbine* memiliki efisiensi 60% dengan kerugian energi sebesar 40%, HRSG 52% dengan kerugian energi 8%, *Steam turbine* 38% dengan kerugian energi 14%, dan Kondensor 35% dengan kerugian energi 3%. Perbaikan pada

komponen-komponen tertentu, seperti meningkatkan efisiensi *Steam turbine* atau melakukan perawatan pada *gas turbine*, dapat membantu mengurangi kerugian energi secara keseluruhan dalam sistem (Gambar 4).



Gambar 5 Hasil Simulasi *Sankey Diagram after overhaul* beban 135 MW

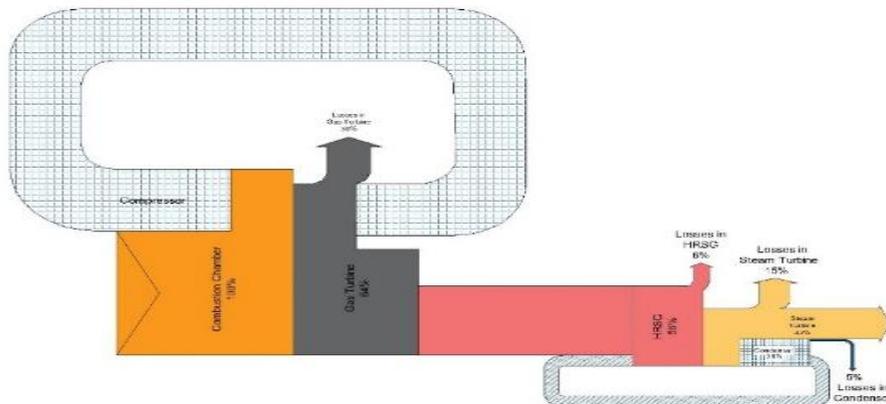
Setelah *overhaul* pada sistem dengan beban 135 MW, efisiensi *Gas turbine* meningkat menjadi 63% dengan kerugian energi turun menjadi 37%. HRSG memiliki efisiensi 55% dengan kontribusi 7% dari total kerugian energi, *Steam turbine* mengalami peningkatan efisiensi menjadi 41% dengan kerugian energi yang berkurang menjadi 14%, dan Kondensor memiliki efisiensi 37% dengan kerugian energi 4% (Gambar 5). Meskipun *Steam turbine* tetap menjadi komponen dengan kerugian energi terbesar, terjadi penurunan yang signifikan dari sebelumnya, yaitu dari 15% menjadi 14%. Ini menunjukkan bahwa perbaikan atau *overhaul* telah berhasil meningkatkan efisiensi dan mengurangi kerugian energi secara keseluruhan.



Gambar 6 Hasil Simulasi *Sankey Diagram before overhaul* beban 230 MW

Perbandingan dengan data sebelumnya menunjukkan bahwa meskipun beban sistem telah meningkat dari 135 MW menjadi 230 MW, proporsi kerugian energi pada masing-masing komponen relatif tetap (Gambar 6). *Overhaul* yang dilakukan pada sistem dengan beban 230 MW juga menunjukkan peningkatan efisiensi pada *Gas turbine*, HRSG, dan *Steam turbine*. Meskipun *Steam turbine* tetap menjadi komponen dengan kerugian energi terbesar setelah *overhaul*, terjadi peningkatan efisiensi yang signifikan dari 41% menjadi 43%. Kondensor tetap menjadi komponen dengan kerugian energi paling kecil, walaupun mengalami

sedikit kenaikan dari 4% menjadi 5% (Gambar 7). Hal ini menunjukkan bahwa perbaikan atau pemeliharaan yang dilakukan setelah *overhaul* telah memberikan hasil yang positif.



Gambar 7 Hasil Simulasi *Sankey Diagram* after *overhaul* beban 230 MW

Setelah dilakukan *overhaul*, dalam rangka mengelola sistem energi, perbaikan lebih lanjut mungkin harus diberikan pada *Gas turbine* untuk meningkatkan efisiensi secara keseluruhan. Namun, berhasilnya peningkatan efisiensi pada Kondensor menunjukkan bahwa upaya perbaikan atau pemeliharaan telah memberikan hasil yang baik. Proses *overhaul* ini tidak hanya memperbaiki komponen yang aus, tetapi juga dapat mengoptimalkan pengaturan sistem untuk meminimalkan kehilangan energi. Penelitian oleh Abuel juga menunjukkan bahwa modifikasi pada sistem pembangkit dapat mengurangi kehilangan eksitasi dan meningkatkan efisiensi keseluruhan [13]. Sebuah penelitian oleh Naser et al. mengungkapkan bahwa kehilangan panas dari gas buang dapat diminimalkan melalui penerapan sistem pemulihan panas yang efisien, yang berkontribusi pada peningkatan efisiensi *thermal* [14], [15].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis di atas maka dapat ditarik kesimpulan bahwa Pada beban 135 MW, efisiensi meningkat dari 84.92% menjadi 86.40%, sementara pada beban 230 MW, efisiensi meningkat dari 85.70% menjadi 86.69%. Peningkatan ini mencerminkan keberhasilan setelah dilakukan *overhaul*. *heat loss* mencapai 15.08%, sedangkan setelah *overhaul* menurun menjadi 13.60%. Begitupun pada beban 230 MW *heat loss* mengalami penurunan setelah dilakukan *overhaul*. Hal ini mencerminkan setelah dilakukan *overhaul* efisiensi energi menjadi lebih baik dengan *heat loss* mengalami penurunan. *heat loss* mencapai 15.08%, sedangkan setelah *overhaul* menurun menjadi 13.60%. Begitupun pada beban 230 MW *heat loss* mengalami penurunan setelah dilakukan *overhaul*. Hal ini mencerminkan setelah dilakukan *overhaul* efisiensi energi menjadi lebih baik dengan *heat loss* mengalami penurunan. *Heat loss* yang terbesar berada pada *Combustor Chamber* dan yang terendah berada pada kondensor. Penelitian ini masih perlu dilakukan tahapan lanjutan yaitu untuk menghitung lebih spesifik lagi ke sub komponen agar didapatkan hasil yang lebih spesifik. Kegiatan *overhaul* dan pemeliharaan berkala lainnya harus dilakukan secara optimal agar peralatan utama PLTGU dapat bekerja maksimal sehingga dapat meningkatkan efisiensi *thermal* PLTGU.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat berlangsung dengan bantuan dari pihak PLTGU UP Muara Karang Blok 2 dan Institut Teknologi PLN.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Syahputro, M., H., M. 2020. *Pengaruh Combustion Inspection Terhadap Efisiensi Turbin Gas Unit 1.1 PLTGU Muara Tawar*. Tugas Akhir, Jakarta.

- [2] Sundari, P., Rudiyanto, B., Hariyono, B. 2015. "Kajian Eksergi Pembangkit Listrik Tenaga Gas (Studi Kasus di PT. Indonesia Power Up Perak-Grati)", *Jurnal Sains Dan Teknologi Indonesia*, 17(3), Jakarta, pp. 81-126
- [3] Marin, G. E., Osipov, B. M., Mendeleev, D. I., 2019. "Research On The Influence Of Fuel Gas On Energy Characteristics Of A Gas Turbine", *E3S Web of Conferences 124*, Rusia, pp. 1-4.
- [4] Simangunsong, R., Gozali, M. S., 2023. "Perubahan Nilai Efektivitas Kondensator Sebelum Dan Sesudah Pemeliharaan Unit 2 di PLTGU Panaran", *Jurnal rekayasa Energi 02 (01)*, Indramayu, pp. 1-8
- [5] Sugandi, B., Atabiq, F., Asti, R. A., 2023. "Pengaruh Beban Gas Turbine Terhadap Efisiensi Heat Recovery Steam Generator Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU)", *ELKOMIKA 11(3)*, Bandung, pp. 639-648
- [6] Nasruddin, Satrio, P., 2015. "Analisa Energi, Exergi Dan Optimasi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Super Kritis 660 MW", *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTM XIV)*, Banjarmasin, KE-71
- [7] Yang, H., Ma, L., Li, Z., 2020. "A Method For Analyzing Energy-Related Carbon Emissions And The Structural Changes: A Case Study Of China from 2005 to 2015", *Energie 13 (8)*, Switzerland, pp. 1-24.
- [8] Hendaryati, H., 2012. "Analisis Efisiensi Thermal Pada Ketel Uap Di Pabrik Gula Kebonagung Malang", *Jurnal Gamma 8 (01)*, Malang, pp. 148 – 153
- [9] Rosado, Diego J. M., Mendiburu, Andres Z., de Carvalho Jr., Joao A. 2023. "Energy production and effect of ecological efficiency on the electricity production cost of a combined cycle without/with supplementary fuel burning" *Thermal Science and Engineering Progresses* 38, 101623.
- [10] Cengel, Y. A. 2002. *Steady versus Transient Heat Transfer 63 Multidimensional Heat Transfer 64 Heat Generation* 66. 333–357. [Online] www.TechnicalBooksPdf.com www.TechnicalBooksPdf.com
- [11] Ighodaro, O. O., Osikhumhe, M. 2019. "Thermo-economic analysis of a heat recovery steam generator combined cycle". *Nigerian Journal of Technology*. 38 (2). 342 – 347.
- [12] Liu, Jiayou, Gong G., Zhang, W. 2020. "Experimental Study on a Flue Gas Waste Heat Cascade Recovery System under Variable Working Conditions". *Energies* 13 (2).
- [13] Abuel, P. M., Mridul, A. H., Ekpotu, W. F. 2024. "Efficiency Assessment of a Combined Heat and Power Plant Using Exergy Analysis". *Journal of Sustainable Development*. 17 (2). 55 – 72.
- [14] Naser, B. K., Dauwed, M. Alkhayyat, A. et al. 2023. "An Efficient Method for Heat Recovery Process and Temperature Optimizing". *Journal of Computers, Materials & Continua*. 75 (1). 1017 – 1031.
- [15] Guo, Y., Zheng, C., Shu, H., et al. 2018. "Modelling and Optimizing of wet Flue Gas Desulfurization System Based on a Hybrid Modelling Method". *Journal of the Air & Waste Management Association*. 69 (5). 565 – 575.