Armatur volume 6 nomor 1 (2025)
ISSN (cetak): 2722-080X, ISSN (online): 2722-0796

Contents list available at Sinta

A R M A T U R

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur

Analisis Efektivitas Kondensor Sebelum Dan Sesudah *Overhaul* di PLTGU Cilegon

Samsul Rohman[1*], Muhammad Ridwan[2]

[1,2] Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi dan Bisnis Energi, Institut Teknologi PLN, Menara PLN, Jl. Lkr. Luar Barat Lantai 2, RT.1/RW.1, Duri Kosambi, Kecamatan Cengkareng, Kota Jakarta Barat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 11750

A R T I C L E I N F O

Keywords:
Condenser, CCGT Cilegon, Overhaul, effectiveness, maintenance.

A B S T R A C T

The condenser is a vital component in the thermodynamic cycle of a Combined Cycle Gas Power Plant (CCGT), functioning to convert high-pressure steam into liquid, where condenser efficiency greatly influences the overall performance of the power plant. Over time, however, the condenser can experience a decrease in effectiveness due to the buildup of scale and fouling, necessitating an Overhaul process to restore optimal performance. This study aims to analyze the effectiveness of the condenser before and after Overhaul at the Cilegon CCGT, using a comparative quantitative method involving measurements of heat transfer performance at loads of 65 MW and 100 MW. The results indicate an increase in condenser effectiveness from 28.678% to 32.673% at a load of 65 MW and from 32.429% to 42.629% at a load of 100 MW after the Overhaul, which is attributed to the reduction of fouling and improvement of coolant flow rate. This study recommends the implementation of a routine maintenance program to maintain optimal condenser performance and extend its service life, as well as emphasizes the importance of Overhaul in enhancing the efficiency of the generation system in the CCGT.

Pendahuluan

PLTGU Cilegon merupakan salah satu pembangkit listrik tenaga gas uap (PLTGU) yang berperan penting dalam penyediaan energi listrik di Sistem Jawa-Bali[1]. Kondensor di PLTGU berfungsi sebagai komponen utama yang mengubah uap air hasil kerja turbin menjadi cairan dengan bantuan media pendingin, umumnya

**Corresponding author*: Samsul2012070@itpln.ac.id
DOI: https://10.24127/armatur.v6i1.7181
Received September 10, 2024; Received in revised form March 16, 2025; Accepted March 18, 2025
Available online March 19, 2025

air atau udara. Efektivitas kondensor sangat mempengaruhi efisiensi keseluruhan proses pembangkitan listrik. Berbagai faktor, termasuk desain, kondisi pengoperasian, serta pemeliharaan, seperti proses *overhaul*, dapat berdampak langsung terhadap kinerja perpindahan panas kondensor.

Overhaul merupakan proses pemeliharaan menyeluruh, bertujuan untuk mengembalikan kinerja optimal dari kondensor dengan membersihkan *fouling* serta meningkatkan laju aliran media pendingin[2]. Studi terdahulu menunjukkan bahwa kondisi *fouling* pada permukaan kondensor dapat mengurangi koefisien perpindahan panas dan mempercepat korosi. Oleh karena itu, setelah dilakukannya *overhaul*, peningkatan signifikan dalam efektivitas perpindahan panas sering kali tercapai. Dalam hal ini, penting untuk memahami bagaimana *overhaul* memengaruhi kinerja kondensor di PLTGU Cilegon.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas kondensor sebelum dan sesudah *overhaul* di PLTGU Cilegon. Dengan Batasan penelitian pada beban 65 MW dan 100 MW. Penulis akan melakukan evaluasi komprehensif terhadap parameter suhu, tekanan, laju aliran, dan koefisien perpindahan panas yang menjadi indikator utama dalam penilaian kinerja kondensor. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang pentingnya *overhaul* dalam menjaga dan meningkatkan efisiensi operasional kondensor di pembangkit listrik.

Kondensor

Kondensor adalah alat penukar panas yang penting dalam system pembangkit listrik. Fungsinya adalah mengubah uap buangan dari turbin tekanan rendah menjadi kondensat, yaitu butiran air, dengan cara mendinginkannya[3]. Proses pendinginan ini menyebabkan uap mengalami kondensasi menjadi cairan, yang kemudian dikumpulkan di dalam hotwell. Kondensat yang terkumpul dapat digunakan kembali dalam siklus pembangkitan listrik. Dengan demikian, kondensor memainkan peran krusial dalam menjaga efisiensi dan kinerja keseluruhan dari pembangkit listrik tenaga uap, serta meminimalkan kerugian energi.

$$\text{Qc} = \dot{m}h \times hg \quad (1)$$

$$\Delta\text{LMTD} = \frac{(Thin-Tco)-(Tho-Tci)}{\ln(\frac{Thi-Tco)}{Tho-Tci)}} \quad (2)$$

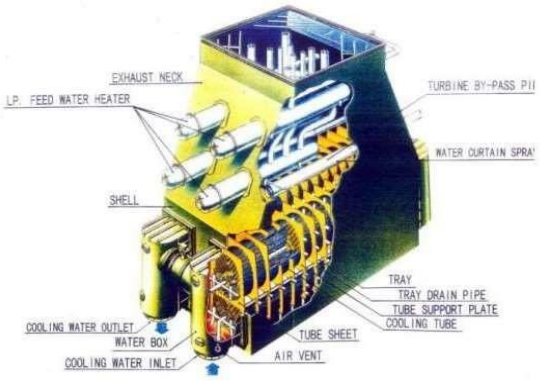
$$\text{Qmax} = Cmin \times (Thin - Tcin) \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{Qc}{Qmax} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:
Qc = Laju Perpindahan Panas (kJ/s)
$\dot{m}h$ = *Steam Flow Out* (kg/s)
hg = *Enthalphy* Tekanan Vakum (kJ/kg)
Thin = Temperatur Panas Uap Masuk (°C)
Thout = Temperatur Panas Uap Keluar (°C)
Tcin = Temperatur Dingin Uap Masuk (°C)
Tcout = Temperatur Dingin Uap Keluar (°C)
Qmax = Laju Perpindahan Panas Maksimum (kJ/s)
ε = Efektivitas (%)

Prinsip kerja kondensor didasarkan pada konsep perpindahan panas dan perubahan fase dari uap menjadi cairan[4]. Ketika uap yang berasal dari turbin tekananrendah memasuki kondensor, uap tersebut memiliki energi panas yang tinggi. Di dalam kondensor, uap ini disalurkan melalui sejumlah pipa berpendingin yang berisi air atau zat pendingin lainnya. Air atau zat pendingin tersebut berfungsi untuk menyerap panas dari uap, menyebabkan uap mendingin dan mengalami kondensasi menjadi cairan. Selama proses pendinginan, energi panas yang dimiliki uap diserap oleh air pendingin[5]. Air pendingin tersebut kemudian mengalami pemanasan dan biasanya dikeluarkan dari kondensor sebagai air panas atau uap. Proses ini terjadi secara berulang- ulang sehingga uap dari turbin tekanan rendah secara bertahap berubah menjadi cairan di dalam kondensor[6].

***Overhaul* Kondensor**



Gambar 1 Kondensor PLTGU Cilegon

(Sumber : *Manualbook* PLTGU Cilegon)

Tahap dari *Overhaul* kondensor antara lain:

1. Mematikan Kondensor

Proses mematikan kondensor adalah proses utama yang di lakukan agar tidak terjadi kecelakaan pada proses *Overhaul*. proses mematikan kinerja kondensor dilakukan dengan cara otomatis dari ruang MCR.

2. Menggunakan APD (Alat Pelindung Diri)

Menggunakan alat keselamat dan kesehatan kerja sebagai upaya menghindari kecelakaan yang tidak diinginkan saat melakukan kegiatan *Overhaul* dan meciptakan lingkungan kerja yang aman.

- *Safety Shoes*, untuk melindungi kaki saat bekerja dari benturan benda keras maupun tajam
- Sarung Tangan untuk mengamankan tangan dari benda keras dan menjamin kebersihan tangan saat melakukan kegiatan mekanikal, sehingga nyaman dalam melakukan pekerjaan.
- *Safety Helmet*, merupakan alat pelindung kepala dari benturan benda keras, pukulan dan benda tajam. *Safety Helmet* ini terbuat dari bahan yang aman dan telah diuju keselamatannya.

3. Proses pembersihan pada pipa-pipa (*tube*) dan *water box*

Proses pembersihan dapat dilakukan apabila semua alat bantu kerja seperti alat bantu penerangan. Proses pembersihan dimulai dengan mengambil sampah-sampah yang ada pada *water box*, setelah seluruh ruangan telah dibersihkan proses selanjutnya adalah proses pembersihan pipa-pipa (*tube*) pada bagian dalam *water box.*

4. Kegiatan *Overhaul* Kondensor

Proses pembersihan dalam kegiatan *Overhaul* dilakukan untuk menjaga kondisi peralatan agar kinerjanya tetap optimal. *Overhaul* merupakan salah satu aktivitas pemeliharaan utama dalam industri pembangkit listrik, termasuk di Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) seperti yang ada di Cilegon. Proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa peralatan utama, seperti kondensor dan komponen *Balance of Plant (BOP*), dapat beroperasi dengan kinerja yang optimal. Selama *Overhaul*, setiap komponen diperiksa, dibersihkan, dan diperbaiki sesuai dengan standar teknis yang berlaku[7]. Pembersihan menjadi bagian esensial dari proses ini karena penumpukan deposit, kotoran, dan korosi pada permukaan dalam komponen dapat mengurangi efisiensi perpindahan panas serta menurunkan kualitas kinerja sistem secara keseluruhan.

Pada kondensor, misalnya, pembersihan dilakukan untuk menghilangkan deposit mineral yang dapat terbentuk akibat proses pendinginan air. Deposit ini, jika dibiarkan, dapat menyumbat saluran perpindahan panas dan mengakibatkan penurunan efisiensi kondensor. Teknik pembersihan yang sering digunakan meliputi metode kimiawi dan mekanis, seperti *acid cleaning* atau *water jetting*, yang dapat menghilangkan kerak dan korosi secara efektif. Berikut merupakan pekerjaan yang dilakukan selama *Overhaul* kondensor dan komponen BOP di PLTGU Cilegon:

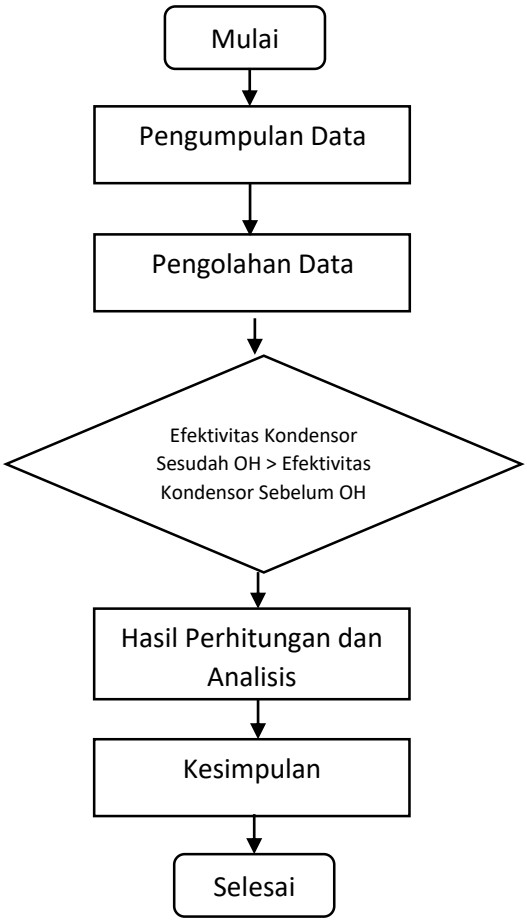
1. Pekerjaan di Bagian Kondensor
2. Pekerjaan *Inlet-Outlet Tunnel & Valve*
3. Pekerjaan *Isolating Valve*
4. Pekerjaan Melakukan Pengecekan *Aligment Primming Vacuum Pump*
5. Pekerjaan *Test Ball Catcher*
6. Pekerjaan Pemeriksaan Dan Pemasangan *Catodhic Protection*

7. Pekerjaan *Motor-Priming Pump*
8. Pekerjaan *Motor Valve Condensor System*
9. Pekerjaan *Pressure Transmitter Condensor*.
10. Pekerjaan *Pressure Switch Condensor System*.
11. Pekerjaan *Level Transmitter* .
12. Pekerjaan *Level Switch*.
13. Pekerjaan *Level Indikator*.
14. Pekerjaan *Thermocouple Condensor System.*
15. Pekerjaan Melakukan *Make UP Water Control Valve & Counter*

Metode Penelitian

Alat dan Bahan. Penelitian ini menggunakan alat sebagai berikut: flow meter untuk mengukur laju aliran, thermometer untuk pengukuran suhu fluida, manometer untuk pengukuran tekanan, laptop dengan *software Steam* Table dan *Microsoft Excel* untuk analisis data, serta instrumen pengukur kebersihan kondensor. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data operasional PLTGU Cilegon sebelum dan sesudah *overhaul*, termasuk data suhu, tekanan, laju aliran uap dan air pendingin, serta data kebersihan permukaan kondensor.

Prosedur Penelitian. Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data dari PLTGU Cilegon. Penulis melakukan pengamatan langsung di lapangan untuk memantau kondisi operasional kondensor sebelum dan sesudah *overhaul*. Selanjutnya, penulis mengukur suhu, tekanan, dan laju aliran fluida pada kedua kondisi tersebut. Setelah data terkumpul, penulis menghitung efektivitas kondensor menggunakan metode LMTD dan analisis perpindahan panas. Data yang diperoleh kemudian diolah dengan *software Steam Table* untuk menentukan parameter termodinamika dan *Microsoft Excel* untuk melakukan kalkulasi efektivitas dan visualisasi hasil dalam bentuk grafik.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

Tahapan pertama adalah pengumpulan data operasional dari PLTGU Cilegon, meliputi suhu, tekanan, dan laju aliran fluida yang berhubungan dengan proses perpindahan panas di dalam kondensor. Data ini kemudian diolah menggunakan rumus termodinamika untuk menghitung parameter-parameter utama seperti laju perpindahan panas (Q), *Log Mean Temperature Differential (LMTD)*, dan koefisien perpindahan panas. Metode penelitian ini dilakukan dengan pendekatan Kuantiatif komparatif yang mana membandingkan hasil perhitungan sebelum dan sesudah *overhaul*.

Setelah memperoleh hasil perhitungan, tahap selanjutnya adalah perbandingan antara kondisi sebelum dan sesudah *overhaul*. Pada tahap ini, efektivitas kondensor dihitung dengan membandingkan

nilai efektivitas sebelum dan sesudah proses *overhaul*.

Tabel 1 Data Awal Perhitungan

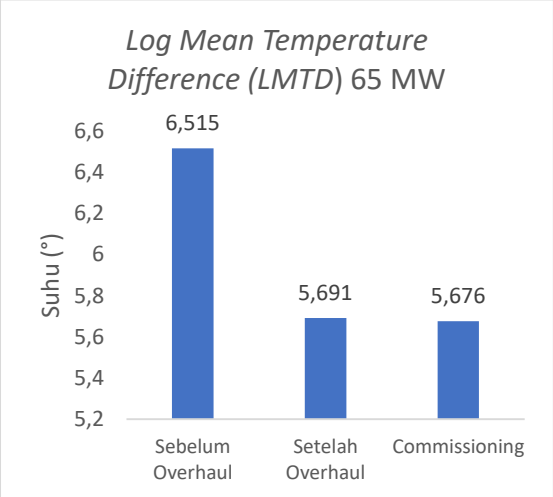
Parameter	*Commissioning*		Sebelum		Sesudah		Satuan	Simbol
Beban	65	100	65	100	65	100	MW	
Tekanan Vakum	0,061	0,071	0,051	0,058	0,56	0,063	Bar	Pvakum
Temperatur Air Pendingin Masuk	30	30	29,5	30,21	30,5	30,16	°C	Tc,in
Temperatur Air Pendingin Keluar	33	35	31,8	32,59	32,4	33,63	°C	Tc,out
HP + LP *Steam Out Flow*	199	275,51	188	241,510	194	261,32	T/h	*mh*
	55,278	76,531	52,222	67,086	53,889	72,589	kg/s	
Temperatur Uap Masuk	38,5	38,5	37,52	37,54	38,18	38,3	°C	Thin
Temperatur Uap Keluar	36,56	36,4	36,88	36,91	36,56	36,24	°C	Thout

Menentukan nilai LMTD beban 65 MW sebelum *overhaul* di dapat hasil sebagai berikut:

$$\Delta LMTD = \frac{(Thin-Tco)-(Tho-Tci)}{\ln(\frac{Thi-Tco)}{Tho-Tci)}}$$

$$\Delta LMTD = \frac{(37{,}520\,°C-31{,}800°C)-(36{,}880C-29{,}500°C)}{\ln(\frac{37{,}520°C-31{,}800\,°C)}{36{,}880\,°C-29{,}500\,°C)}}$$

$\Delta LMTD$ = 6,515 °C

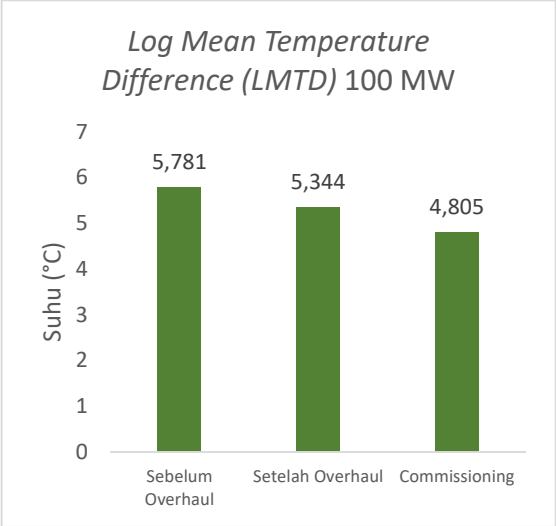


Gambar 3 LMTD Beban 65 MW

LMTD setelah *Overhaul* pada beban 65 MW Semakin kecil LMTD menandakan semakin baik karena proses perpindahan panas yang terjadi menunjukkan bahwa setelah *Overhaul*, proses pendinginan

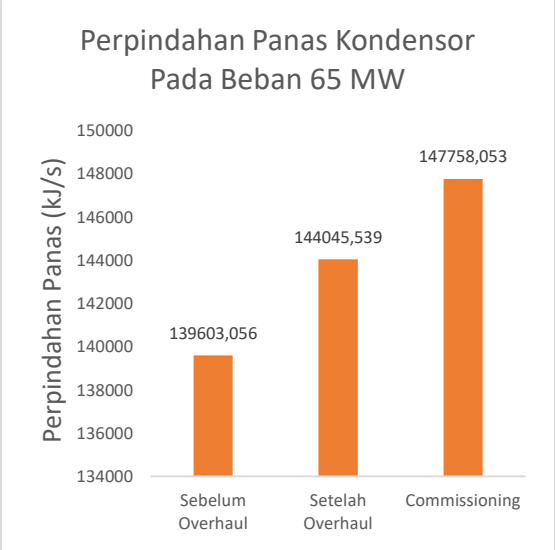
Hasil dan Pembahasan

menjadi lebih efektif, yang berarti panas lebih banyak dipindahkan dari fluida panas ke fluida dingin. Grafik menunjukkan bahwa *Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD)* cenderung menurun setelah proses *Overhaul* baik pada beban 65 MW. Sebagai contoh, pada beban 65 MW, LMTD sebelum *Overhaul* adalah 6,515 °C dan menurun menjadi 5,691 °C setelah *Overhaul*, dan 5,676 °C saat *commissioning.*



Gambar 4 LMTD Beban 100 MW

Untuk perhitungan LMTD beban 100 MW dilakukan dengan metode serupa dengan berdasarkan parameter awal dan disajikan dalam grafik LMTD beban 100 MW. LMTD setelah *Overhaul* pada beban 100 MW semakin kecil LMTD menandakan semakin baik karena proses perpindahan panas yang terjadi menunjukkan bahwa setelah *Overhaul*,, proses pendinginan menjadi lebih efektif, yang berarti panas lebih banyak dipindahkan dari fluida panas ke fluida dingin. Grafik menunjukkan bahwa *Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD)* cenderung menurun Pada beban 100 MW, LMTD menurun dari 5,781 °C sebelum *Overhaul* menjadi 5,344 °C setelah *Overhaul*, dan 4,805 °C saat *commissioning.* Penurunan LMTD lebih baik karena kerugian panas melalui dinding *tube* berkurang, yang berarti efektivitas perpindahan panas meningkat.



Gambar 5 Perpindahan Panas Beban 65 MW

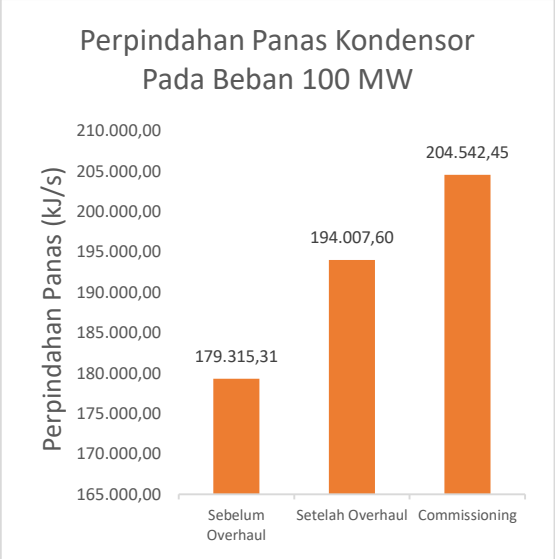
Perhitungan diambil sampel sebelum *overhaul* beban 65 MW dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$Qc = \dot{m}h \times hg$

Qc = 52,222 kg/s × 2673,25 kJ/kg

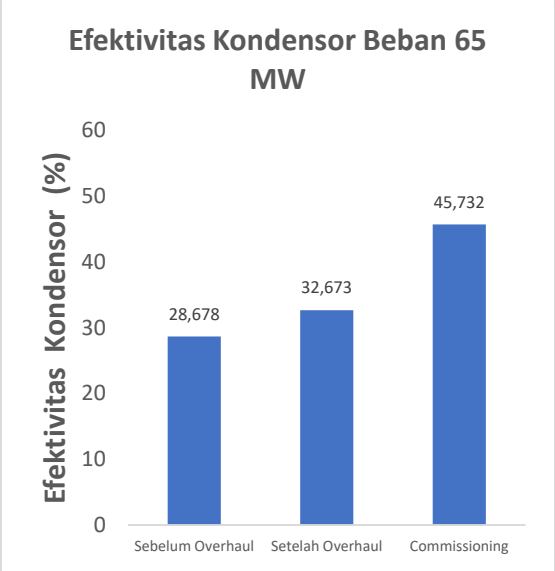
Qc = 139.603,056 kJ/s = 139.603,056 kW

Perhitungan lainnya dilakukan dengan metode perhitungan serupa. Peningkatan perpindahan panas ini menunjukkan bahwa *Overhaul* berhasil meningkatkan efisiensi sistem kondensor. Sebelum *Overhaul*, deposit, kerak, dan kotoran lain pada permukaan perpindahan panas kondensor mengurangi kemampuan perpindahan panas. Setelah *Overhaul*, pembersihan dan perbaikan yang dilakukan meningkatkan efisiensi perpindahan panas dengan menghilangkan hambatan termal. Grafik tersebut menunjukkan perpindahan panas kondensor (Qc) pada beban 65 MW sebelum *Overhaul*, setelah *Overhaul*, dan saat *commissioning*. Pada beban 65 MW, perpindahan panas kondensor meningkat dari 139.603,056 kJ/s sebelum *Overhaul* menjadi 144.045,539 kJ/s setelah *Overhaul*, dan 147.758,053 kJ/s saat *commissioning*.



Gambar 6 Perpindahan Panas Beban 100 MW

Peningkatan perpindahan panas ini menunjukkan bahwa *Overhaul* berhasil meningkatkan efisiensi sistem kondensor. Sebelum *Overhaul*, deposit, kerak, dan kotoran lain pada permukaan perpindahan panas kondensor mengurangi kemampuan perpindahan panas. Setelah *Overhaul*, pembersihan dan perbaikan yang dilakukan meningkatkan efisiensi perpindahan panas dengan menghilangkan hambatan termal. Sehingga grafik di atas tersebut menunjukkan perpindahan panas kondensor (Qc) pada beban 100 MW sebelum *Overhaul*, setelah *Overhaul*, dan saat commissioning. Pada beban 100 MW, perpindahan panas kondensor meningkat dari 179.315,31 kJ/s sebelum *Overhaul* menjadi 194.007,60 kJ/s setelah *Overhaul*, dan 204.542,45 kJ/s saat commissioning.



Gambar 7 Efektivitas Kondensor Beban 65 MW

Perhitungan diambil sampel sebelum *overhaul* beban 65 MW dan lainnya dilakukan dengan metode serupa sehingga hasil perhitungan dapat dilihat pada grafik efektivitas kondensor. Berikut dilakukan perhitungan efektivitas kondensor:

$$\varepsilon = \frac{Q}{Qmax} \times 100\%$$

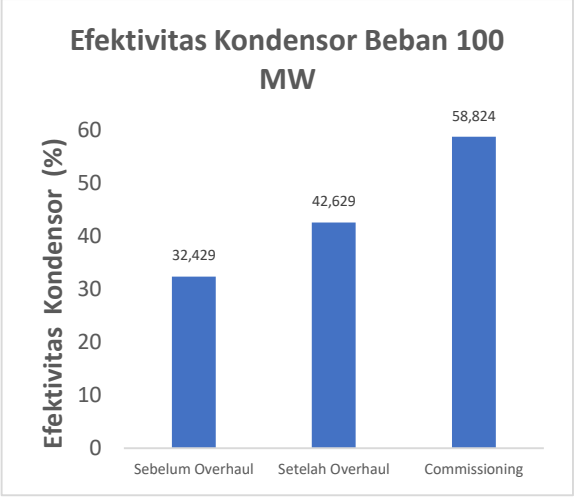
$$\varepsilon = \frac{139.603{,}056\ kJ/S}{486.789{,}785\ kJ/s} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 0{,}21047 \times 100\%$$

$$\varepsilon = 21{,}047\%$$

Grafik tersebut menunjukkan efektivitas kondensor pada beban 65 MW dan 100 MW sebelum *Overhaul*, setelah *Overhaul*, dan saat *commissioning*. Pada beban 65 MW, efektivitas kondensor meningkat dari 28,678% sebelum *Overhaul* menjadi 32,673% setelah *Overhaul*, dan mencapai 45,732% saat *commissioning*.

Peningkatan efektivitas kondensor ini dapat dianalisis dengan mempertimbangkan proses *Overhaul* yang dilakukan. Sebelum *Overhaul*, penumpukan deposit dan kerak pada permukaan perpindahan panas kondensor menghambat aliran panas, menyebabkan efisiensi perpindahan panas menurun.



Gambar 8 Efektivitas Kondensor Beban 100 MW

. Nilai efektivitas kondensor pada beban 100 MW dihitung sama seperti beban 65 MW didapat hasil perhitungan disajikan dalam grafik, efektivitas kondensor meningkat dari 28,678% sebelum *Overhaul* menjadi 32,673% setelah *Overhaul*, dan mencapai 45,732% saat *commissioning*. Sementara itu, pada beban 100 MW, efektivitas kondensor meningkat dari 32,429% sebelum *Overhaul* menjadi 42,629% setelah *Overhaul*, dan mencapai 58,824% saat *commissioning.*

Kesimpulan

Overhaul yang dilakukan pada kondensor di PLTGU Cilegon berhasil meningkatkan efektivitas perpindahan panas secara signifikan, dengan peningkatan dari 28,678% menjadi 32,673% pada beban 65 MW dan dari 32,429% menjadi 42,629% pada beban 100 MW. Hal ini menunjukkan bahwa pembersihan dan perbaikan selama *overhaul* efektif dalam mengurangi *fouling* dan memperbaiki laju aliran media pendingin. Kinerja kondensor dapat dipengaruhi oleh faktor usia pemakaian, di mana penumpukan mineral dan plugging pada *tube* menurunkan efektivitas kondensor seiring waktu. Selain itu, faktor lingkungan seperti air laut mempercepat korosi dan menyebabkan penyumbatan pada *tube* kondensor, yang mengurangi kemampuan perpindahan panas. Dengan demikian, pemeliharaan rutin dan perbaikan

yang tepat sangat penting untuk menjaga kinerja optimal kondensor di PLTGU.

Referensi

[1] Silitonga, P. S. M. (2020). *ANALISIS TERMODINAMIKA TERHADAP KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS DAN UAP (PLTGU)* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Indonesia).

[2] Rusjdi, H., Ghozali, A., & Nofirman, N. (2020). Pengaruh *Overhaul* Terhadap Efektifitas Kondensor Di PT. Indonesia Power Up Suralaya Unit III. JURNAL POWERPLANT, 8(1), 59-70.

[3] Sumardiyanto, D., & Januar, A. (2020). Penentuan Nilai Efektivitas Kondensor Di PLTGU Blok 1-2 PT. Indonesia Power UPJP Priok. Jurnal Kajian Teknik Mesin, 5(2), 99-103

[4] Wijaya, K. C., Abadi, C. S., & Santoso, B. (2023, December). Penyebab Penurunan Efektivitas Kondensor pada PLTGU Menggunakan Metode RCA. In Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin (No. 1, pp. 7-16).

[5] Fauziyyah, A. M. Tugas Akhir-Tm 145502 Analisis Perpindahan Panas Pada Kondensor Unit IV PLTU di PT. PJB UP Gresik.

[6] Rosyada, A., Anhar, A. R., & Silanegara, I. (2017). Analisis Kinerja Kondensor Unit Iv Sebelum Dan Sesudah *Overhaul*. Jurnal Poli-Teknologi, 16(3).

[7] Rakhmatullah, W. (2016). *Analisis Kinerja Kondensor Sebelum Dan Sesudah Overhaul DI PT. Indonesia Power UJP PLTGU* Cilegon *(Doctoral dissertation*, Universitas Gadjah Mada).