



Penyebab Penurunan Efektivitas Kondensor pada PLTGU Menggunakan Metode RCA

Krisna Chandra Wijaya^{1*}, Cecep Slamet Abadi¹, Budi Santoso¹

¹Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

Abstrak

Kondensor memainkan peran yang sangat penting dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem produksi energi pada pembangkit tenaga listrik di pabrik semen. Fungsinya adalah mengkondensasikan uap air yang dihasilkan dari turbin dan membuatnya menjadi air pendingin yang dapat digunakan kembali. Namun, seringkali terjadi penurunan efektivitas kondensor yang dapat mengakibatkan penurunan kinerja dan efisiensi keseluruhan PLTGU. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab penurunan efektivitas menggunakan metode Root Cause Analysis (RCA) untuk mengidentifikasi penyebab utama dari penurunan efektivitas kondensor pada PLTGU. Hasil analisis pada penelitian ini menunjukkan bahwa adanya penurunan efektivitas kondensor yang disebabkan oleh penyumbatan benda asing didalam tube sehingga mengakibatkan adanya penurunan temperatur dan massflow. Dampak dari fenomena tersebut, kondensor mengalami penurunan kinerja.

Kata-kata kunci: Kondensor, Kinerja, Efektivitas, RCA

Abstract

Condensers have a vital role in increasing the efficiency and effectiveness of energy production systems in power plants in cement plants. Its function is to condense the steam produced by the turbine and make it into cooling water that can be reused. However, there is often a decrease in the effectiveness of the condenser, which can decrease the overall performance and efficiency of the PLTGU. This study aims to analyse the causes of decreased effectiveness using the Root Cause Analysis (RCA) method to identify the leading causes of decreased effectiveness of the condenser in PLTGU. The analysis results in this study indicate a decrease in the effectiveness of the condenser caused by a blockage of foreign bodies in the tube, resulting in a decrease in temperature and mass flow. The impact of this phenomenon, the condenser performance decreased.

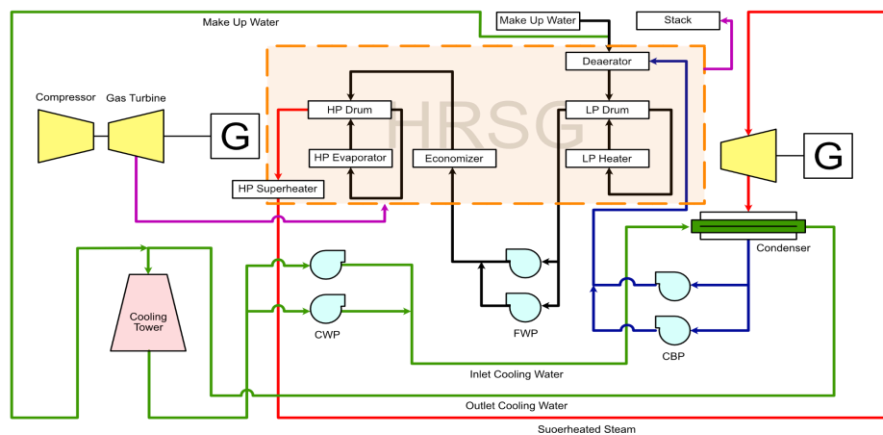
Keywords: Condenser, Performance, Effectiveness, RCA

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU) merupakan gabungan antara pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) dan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang digunakan untuk menghasilkan listrik dengan efisiensi yang tinggi. PLTG menggunakan gas alam sebagai bahan bakar untuk menggerakkan turbin gas, sedangkan PLTU menggunakan batu bara sebagai bahan bakar untuk menghasilkan uap yang digunakan untuk menggerakkan turbin uap. Namun pada PLTGU, panas dari gas buang dari PLTG digunakan untuk menghasilkan uap yang digunakan sebagai fluida kerja di PLTU. Dan bagian yang digunakan untuk menghasilkan uap tersebut adalah HRSG (Heat Recovery Steam Generator).[1]

PLTGU milik Pabrik Semen X merupakan gabungan dari Turbin gas buatan Rolls Royce yang mampu membangkitkan energi hingga 75 MW dengan efisiensi yang diklaim oleh perusahaan manufakturnya yakni diangka 43% dan Turbin Uap buatan ASEA Brown Boveri (ABB) yang mampu menghasilkan energi listrik mencapai 15 MW. PLTGU pada Perusahaan ini memiliki siklus air dan uap yang terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Skema PLTGU Pabrik Semen X

Oleh karena itu, kondensator memainkan peran yang sangat penting dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem produksi energi pada pembangkit tenaga listrik di pabrik semen.[2] Fungsinya adalah mengkondensasikan uap air yang dihasilkan dari turbin dan membuatnya menjadi air pendingin yang dapat digunakan kembali yang digunakan sebagai pendingin tidak terbuang begitu saja, melainkan dapat digunakan kembali dalam proses berulang kali.[3] Hal ini membantu dalam penghematan sumber daya dan air, serta mengurangi dampak lingkungan dari pembangkit tenaga listrik.

Root Cause Analysis adalah metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab dari suatu permasalahan atau kegagalan dalam sebuah proses atau sistem. Dalam pembangkit tenaga listrik, RCA dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis penyebab utama dari permasalahan atau kegagalan pada suatu sistem atau komponen, seperti kondensator.[4]

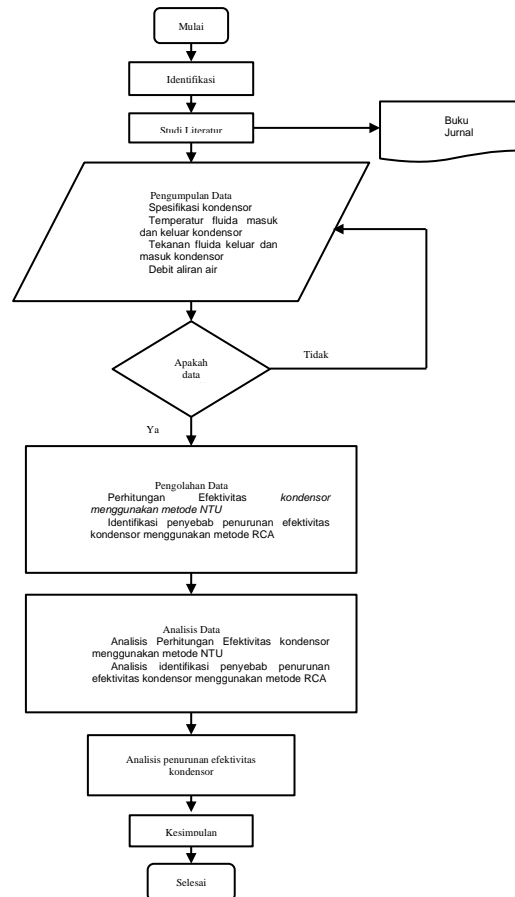
Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian kali ini yaitu mengetahui nilai efektivitas kondensator dan menentukan penyebab penurunan efektivitas kondensator

2. METODE PENELITIAN

Diagram Alir

Diagram alir ini menjelaskan proses yang dilakukan secara sistematis. Proses penelitian dapat dilihat pada gambar.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Data Variabel Kondensor

Data variabel yang terdapat pada tabel 1 merupakan data yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan efektivitas kondensor.

Tabel 1. Data Variabel Kondensor

Tanggal	Data Temperatur Fluida Pendingin °C		Data Temperatur Fluida Panas °C		Mass Flow uap panas kg/s	Mass Flow air kg/s
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet		
01/11/2022	32,1	42,8	53,5	47,9	17,6	16,3
02/11/2022	32,2	43,1	53,5	47,9	17,5	16,1
03/11/2022	32,5	42,8	53,6	47,9	17,3	16
04/11/2022	32,5	42,8	53,4	47,9	17,7	16
05/11/2022	32,8	42,8	53,3	47,9	17,3	16,1
06/11/2022	32,8	43,0	53,3	47,9	17,4	16,4
07/11/2022	32,7	44,1	57,2	49,1	17,2	15,8
08/11/2022	32,6	44,6	57,1	52,0	17,4	15,6

09/11/2022	32,7	44,7	57,1	52,0	17,3	16,3
10/11/2022	33,6	45,0	57,5	51,8	17,3	16
11/11/2022	32,4	44,5	57,0	51,9	17,3	15,9
12/11/2022	32,6	44,9	57,5	52,0	17,3	15,9
13/11/2022	31,9	44,9	57,8	51,9	17,2	16,2
14/11/2022	32,8	44,3	57,5	51,9	17,4	15,9
15/11/2022	32,9	44,8	57,6	51,9	16,9	16,4
16/11/2022	32,8	44,6	57,3	51,9	17,2	16,2
18/11/2022	31,8	44,4	57,1	51,9	17,3	15,4
19/11/2022	32,0	44,5	57,5	51,9	17,4	15,7
24/11/2022	33,3	47,3	56,1	48,3	18,2	18
25/11/2022	32,1	47,3	55,6	48,8	18,4	18,1
26/11/2022	32,1	47,1	56,3	47,4	18,3	18,1
27/11/2022	31,3	47,2	54,6	47,2	18,3	18,1
28/11/2022	33,1	47,2	55,6	47,0	18,5	18
29/11/2022	32,0	46,6	56,0	48,7	18,3	18,1
30/11/2022	32,2	47,2	55,5	47,2	18	18,1
01/12/2022	32,5	46,6	57,3	51,9	18,2	18
02/12/2022	32,5	47,1	58,6	51,9	18,4	18
03/12/2022	32,2	46,7	58,5	51,9	18,4	18,1
04/12/2022	32,1	46,7	58,5	52,0	18,6	18
05/12/2022	33,1	47,2	58,9	51,9	18,1	18,1

Perhitungan Efektivitas Kondensor

1. Laju energi panas yang dilepaskan oleh fluida panas
Laju energi panas yang dilepaskan oleh fluida panas adalah jumlah energi panas yang dilepaskan oleh fluida panas ketika mengalir melalui kondensor.[5]

$$Q = \dot{m} \times C_p (T_1 - T_2)$$

- Keterangan :
- \dot{m} : Massflow fluida panas (kg/s)
 - C_p : Panas jenis fluida panas (J/KgK)
 - T_1 : Temperatur rata-rata aliran fluida panas saat masuk ke dalam Kondensor (°C)
 - T_2 : Temperatur rata-rata aliran fluida panas saat keluar Kondensor (°C)

2. Laju energi panas yang diterima oleh fluida pendingin

Laju energi panas yang diterima oleh fluida pendingin adalah jumlah energi panas yang diterima oleh fluida pendingin ketika mengalir melalui kondensor.[5]

$$Q = \dot{m} \times C_p(T_4 - T_3)$$

Keterangan :
 \dot{m} : Massflow fluida pendingin (kg/s)
 C_p : Panas jenis fluida pendingin (J/KgK)
 T_1 : Temperatur rata-rata aliran fluida pendingin saat masuk ke dalam Kondensor (°C)
 T_2 : Temperatur rata-rata aliran fluida pendingin saat keluar Kondensor (°C)

3. Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD)

Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD) adalah besaran yang digunakan untuk menghitung perbedaan suhu rata-rata antara fluida panas dan fluida pendingin yang mengalir dalam kondensor.[6]

$$\Delta T_{m,CF} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)}$$

Dimana :
 $\Delta T_1 = T_{ho} - T_{ci}$
 $\Delta T_2 = T_{hi} - T_{co}$

Keterangan :
 T_{ho} : Temperatur keluar fluida panas (°C)
 T_{hi} : Temperatur masuk fluida panas (°C)
 T_{ci} : Temperatur masuk fluida pendingin (°C)
 T_{co} : Temperatur keluar fluida pendingin (°C)

4. Laju kapasitas panas aliran fluida pendingin

$$C_c = \dot{m}_c C_{p,c}$$

Keterangan :
 \dot{m}_c : Massflow fluida pendingin (kg/s)
 $C_{p,c}$: Panas jenis fluida panas (J/KgK)

5. Laju kapasitas panas aliran fluida panas

$$C_h = \dot{m}_h C_{p,h}$$

Keterangan :
 \dot{m}_c : Massflow fluida panas (kg/s)
 $C_{p,c}$: Panas jenis fluida panas (J/KgK)

6. Laju Kapasitas panas

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}}$$

Keterangan :
 C_{min} : Nilai C terendah antara C_h dan C_p
 C_{max} : Nilai C tertinggi antara C_h dan C_p

7. NTU

Number of Transfer Units (NTU) merupakan besaran tanpa dimensi yang biasanya digunakan sebagai petunjuk dalam perhitungan efektivitas kondensor yang menggambarkan banyaknya transfer panas yang terjadi antara fluida panas dan fluida pendingin.[5]

$$NTU \equiv \frac{UA}{C_{min}}$$

Keterangan :
 U : Koefisien perpindahan panas kondensor
 A : Luas permukaan perpindahan panas di dalam kondensor

8. Efektivitas Kondensor

Efektivitas Kondensor (Condenser Effectiveness) merupakan rasio antara jumlah energi panas yang ditransfer dari fluida panas ke fluida pendingin dengan energi panas yang dilepaskan oleh fluida panas.[5], [6]

$$\varepsilon = \frac{2}{1 + C + (1 + C^2)^{0,5}} \times \frac{1 + \exp[-NTU(1 + C^2)^{0,5}]}{1 - \exp[-NTU(1 + C^2)^{0,5}]}$$

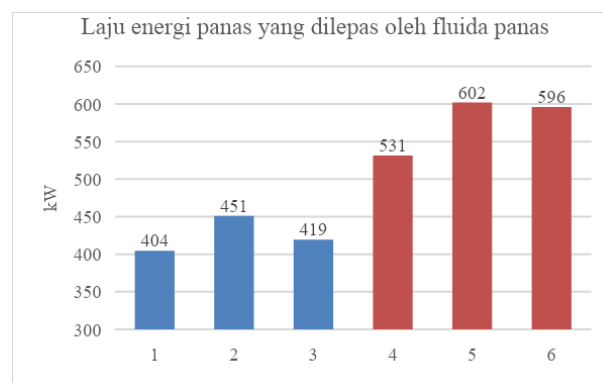
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan Efektivitas Kondensor

Tabel 2. Hasil Perhitungan Efektivitas Kondensor

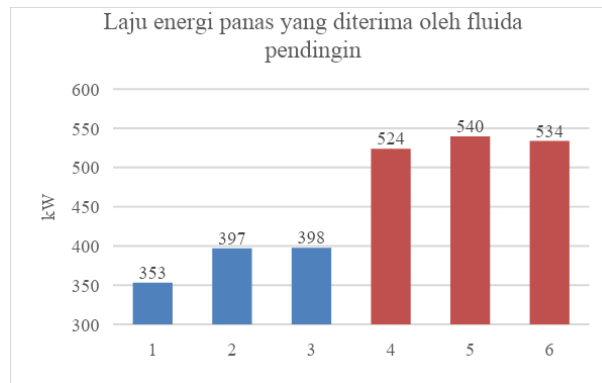
Variabel	Satuan	Sebelum Pemeliharaan	Setelah Pemeliharaan
Laju energi panas yang dilepaskan oleh fluida panas	kW	424,9	583,8
Laju energi panas yang diterima oleh fluida pendingin	kW	382,6	534,2
Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD)	°C	14,7	13,4
Laju kapasitas panas aliran fluida pendingin	W/K		
Laju kapasitas panas aliran fluida panas	W/K		
Laju Kapasitas panas	W/K		
NTU		4,7	4,5
Efektivitas Kondensor	%	73,9	75,1

Analisis Hasil Perhitungan Efektivitas Kondensor



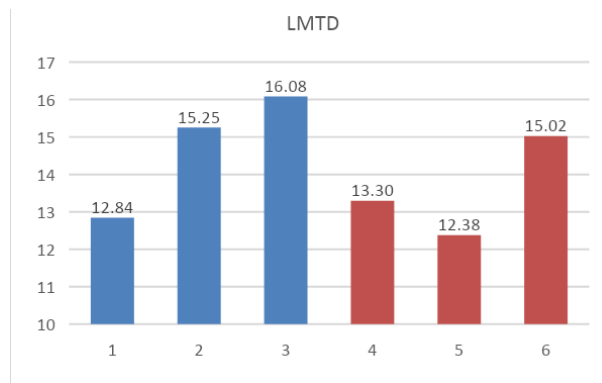
Gambar 3. Laju energi panas yang dilepas oleh fluida panas

Pada grafik diatas terlihat bahwa unit kondensor setelah dilakukannya pemeliharannya mengalami kenaikan performa. Hal ini terbukti dengan meningkatnya laju energi panas dari sebelum dan setelah dilakukannya pemeliharaan. Nilai rata-rata laju energi panas pada 3 minggu sebelum pemeliharaan sebesar 425 kW, sedangkan pada 3 minggu setelah dilakukannya pemeliharaan meningkat menjadi 584 kW. Kenaikan performa ini dapat terjadi karena kondensor dilakukan pemeliharaan dan menyebabkan meningkatnya massflow dan selisih temperatur pada fluida panas.



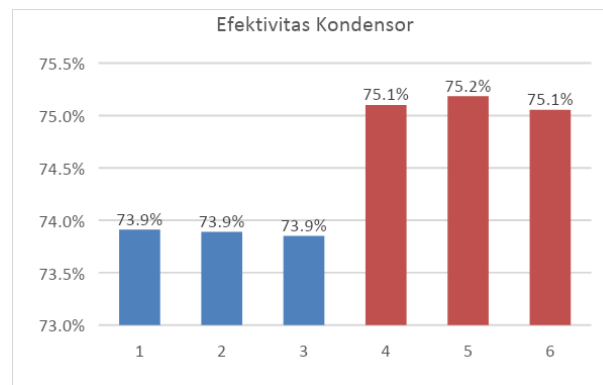
Gambar 4. Laju energi panas yang diterima oleh fluida pendingin

Dalam grafik tersebut terlihat bahwa setelah dilakukannya pemeliharaan pada unit kondensor, terjadi peningkatan performa. Hal ini terbukti dengan adanya peningkatan laju energi panas yang diterima oleh air (fluida pendingin) setelah dilakukan pemeliharaan. Pada periode 3 minggu sebelum pemeliharaan, rata-rata laju energi panas hanya mencapai 382,6 kW, namun setelah dilakukannya pemeliharaan, angka tersebut meningkat menjadi 534,2 kW. Hal ini dapat meningkat karena adanya perubahan positif berupa peningkatan mass flow dan selisih temperatur yang terdapat pada air pendingin.



Gambar 5. Log Mean Temperature Difference

Pada minggu pertama sebelum pemeliharaan, nilai LMTD adalah 12,8°C. Ini menunjukkan adanya perbedaan suhu yang signifikan antara fluida panas dan pendingin pada sistem saat itu. Pada minggu kedua sebelum pemeliharaan, nilai LMTD mencapai 15,3°C, menunjukkan perbedaan suhu yang cukup besar antara fluida panas dan pendingin. Pada minggu ketiga sebelum pemeliharaan, nilai LMTD mencapai 16,1°C, menunjukkan perbedaan suhu yang signifikan antara kedua fluida. Namun, pada minggu keempat setelah pemeliharaan, nilai LMTD meningkat menjadi 13,3°C. Pada minggu kelima setelah pemeliharaan, nilai LMTD mengalami penurunan menjadi 12,4°C. Namun pada minggu keenam, nilai LMTD meningkat menjadi 15,0°C, menunjukkan adanya peningkatan dalam perbedaan suhu yang mempengaruhi transfer panas. LMTD ini mengalami fluktuasi yang disebabkan oleh perubahan laju aliran fluida dan variasi suhu fluida panas serta fluida pendingin dapat menyebabkan fluktuasi pada nilai LMTD (Perbedaan Suhu Rata-Rata Logaritmik) dalam kondensor. Laju aliran fluida yang berubah mempengaruhi waktu kontak antara fluida panas dan fluida pendingin di dalam kondensor, yang pada gilirannya mempengaruhi efisiensi proses perpindahan panas. Selain itu, perubahan suhu fluida panas dan fluida pendingin juga berkontribusi pada variasi LMTD, karena perbedaan suhu antara kedua fluida akan berubah sesuai dengan fluktuasi suhu masing-masing. Semua ini menunjukkan pentingnya menjaga stabilitas laju aliran dan suhu fluida dalam kondensor untuk mencapai efisiensi yang optimal dalam sistem produksi energi di pembangkit tenaga listrik pabrik semen.

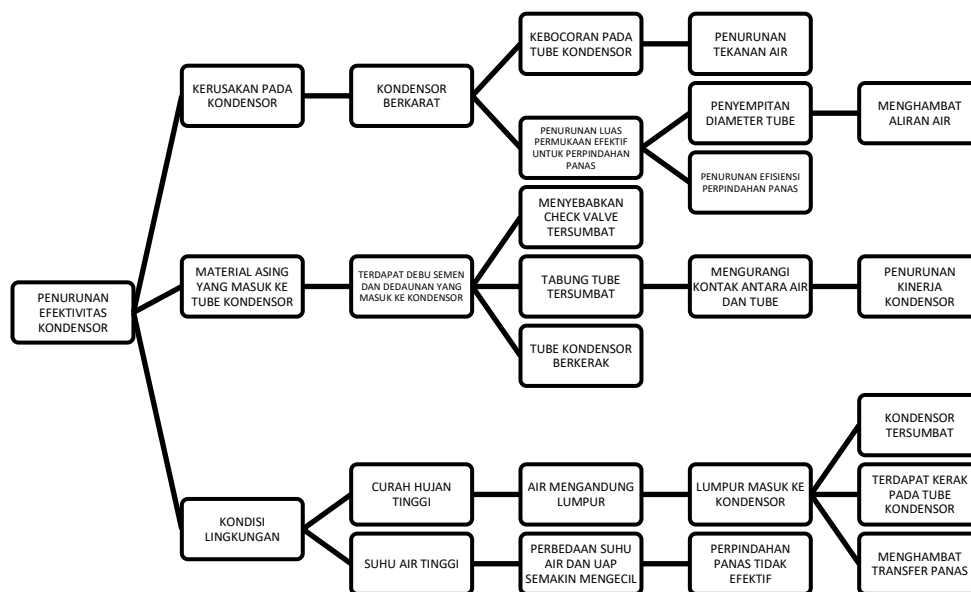


Gambar 6. Efektivitas Kondensator

Pada Gambar di atas terlihat bahwa efektivitas kondensator mengalami kenaikan signifikan akibat pemeliharaan. Hal ini terbukti setelah kondensator mengalami pemeliharaan, rata-rata efektivitas kondensator setelah pemeliharaan langsung naik menjadi 75,1% setelah sebelumnya berada di angka 73,9%.

Setelah dilakukan pemeliharaan, terjadi perubahan kearah positif dalam efektivitas kondensator. Grafik menunjukkan peningkatan efektivitas kondensator setelah perbaikan dan pemeliharaan dilakukan. Hal ini menunjukkan bahwa tindakan yang diambil selama pemeliharaan telah berhasil meningkatkan performa kondensator dalam mentransfer panas dengan lebih efisien.

Analisis RCA Penurunan Efektivitas Kondensator



Gambar 7. RCA Penurunan Efektivitas Kondensator

Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa terdapat tiga faktor utama yang dapat menyebabkan penurunan efektivitas pada kondensator, yaitu kerusakan pada kondensator, terdapat material asing yang masuk ke kondensator, dan kondisi lingkungan. Kerusakan pada kondensator, terutama akibat karat pada sisi tube, dapat menyebabkan dampak yang signifikan terhadap penurunan efektivitas kondensator. Kebocoran yang muncul akibat karat dapat mengganggu aliran fluida antara fluida panas dan fluida pendingin, mengurangi efisiensi perpindahan panas. Selain itu, penurunan luas permukaan yang efektif karena korosi pada tube dapat mengurangi area permukaan yang digunakan untuk perpindahan panas, juga mengurangi efisiensi kondensator secara keseluruhan. Akumulasi karat yang menyempitkan diameter tube juga dapat menghambat aliran fluida, mengurangi laju perpindahan panas antara kedua fluida. Semua ini menyebabkan penurunan efisiensi perpindahan panas dan kinerja kondensator secara keseluruhan. Oleh karena itu, perawatan dan pencegahan terhadap kerusakan kondensator, termasuk masalah karat, sangat penting untuk menjaga kinerja dan efisiensi sistem produksi energi pada pembangkit tenaga listrik di pabrik semen.

Faktor kedua yang dapat mempengaruhi efektivitas kondensor adalah adanya material asing yang masuk ke dalam kondensor dari lingkungan sekitarnya. Material asing ini bisa berupa partikel debu, dedaunan, ataupun kontaminan lainnya yang dapat menyebabkan beberapa masalah dalam kinerja kondensor. Ketika material asing menempel pada permukaan dalam tabung kondensor, dapat menyebabkan penyumbatan atau pengurangan aliran fluida, menghambat perpindahan panas dan mengurangi efisiensi kondensor. Selain itu, material asing yang terjebak di antara celah-celah tabung dapat menyebabkan peningkatan tekanan drop dalam kondensor, mengurangi efisiensi perpindahan panas. Beberapa faktor penyebab masalah ini termasuk kontaminasi lingkungan, kualitas air sebagai fluida pendingin, serta kegagalan atau kurangnya efektivitas sistem filtrasi. Penggunaan sistem filtrasi yang efektif, pemantauan teratur terhadap kualitas air atau fluida pendingin, dan pemeliharaan yang tepat pada sistem filtrasi dapat membantu mengatasi masalah material asing yang mempengaruhi kinerja kondensor. Dengan menjaga kebersihan dan kualitas fluida yang mengalir dalam kondensor, kita dapat meminimalkan risiko terjadinya masalah akibat material asing dan meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem produksi energi pada pembangkit tenaga listrik di pabrik semen.

Kondensor sangat rentan terhadap faktor lingkungan tertentu, seperti curah hujan yang tinggi dan cuaca yang terlalu panas. Saat curah hujan tinggi, kualitas air yang digunakan sebagai pendingin dapat menurun karena terkontaminasi oleh partikel dan kotoran yang terbawa oleh air hujan. Hal ini menyebabkan akumulasi kerak dan endapan pada permukaan pipa kondensor, menghambat efektivitas pendinginan dan transfer panas. Di sisi lain, cuaca yang terlalu panas menyebabkan suhu air pendingin meningkat, yang mengakibatkan perbedaan suhu yang diperlukan untuk mentransfer panas menjadi lebih kecil. Ini menyebabkan kondensor tidak dapat mengeluarkan panas dengan efektif, menyebabkan peningkatan suhu fluida panas secara keseluruhan. Suhu air pendingin yang tinggi juga dapat mengganggu aliran fluida dalam kondensor dan mengurangi efisiensi perpindahan panas. Untuk mengatasi masalah ini, penting untuk memantau dan mengelola kualitas air pendingin serta mengoptimalkan operasi kondensor agar tetap berkinerja optimal dalam berbagai kondisi lingkungan.

4. KESIMPULAN

Kondensor adalah komponen penting dalam sistem perpindahan panas yang berperan dalam mentransfer panas dari fluida panas ke fluida pendingin. Fungsinya adalah untuk menghilangkan panas dari fluida panas dan mendinginkannya melalui serangkaian tabung atau pipa yang memiliki permukaan luas. Dari penjelasan yang telah dijabarkan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Efektivitas kondensor 3 minggu sebelum dilakukan pemeliharaan memiliki rata-rata 73,9 % dan setelah dilakukannya pemeliharaan memiliki rata-rata 75,1 %. Terjadi peningkatan dalam efektivitas kondensor setelah dilakukan pemeliharaan. Peningkatan ini menunjukkan bahwa perbaikan dan pemeliharaan yang dilakukan selama pemeliharaan telah memberikan dampak positif terhadap kinerja kondensor.
2. Beberapa faktor pemicu penurunan performa pada kondensor. Pertama, terdapat kerusakan pada kondensor berupa karat yang mengakibatkan kebocoran pada sisi tube di kondensor. Kedua, terbawanya debu dan lumpur pada sisi tube akibat filter yang tidak di maintenance secara berkala. Ketiga, Kondisi lingkungan yakni faktor cuaca yang berubah tak menentu mengakibatkan fluida pendingin dari cooling tower memiliki suhu yang tidak stabil dan mengakibatkan kondensor mengalami penurunan performa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT Indocement Tunggul Prakarsa Tbk, teman-teman Sarjana Terapan Teknik Pembangkit Tenaga Listrik dan jajarannya Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta

REFERENSI

- [1] B. Setyoko, "ANALISA EFISIENSI PERFORMA HRSG (Heat Recovery Steam Generation) PADA PLTGU," *56 Traksi*, vol. 4, no. 2, p. 31, 2006.
- [2] M. Ashar, S. Ihsan, I., and S. Ramadhan, "Analisis Variabel-Variabel Penentu Cleanliness Factor Dan Performance Factor Untuk Meningkatkan Kinerja Kondensor Unit 1 Pltu Sektor Asam-Asam," *Al-Jazari J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 2, 2018, doi: 10.31602/al-jazari.v3i2.1622.
- [3] A. Rosyada, A. R. Anhar, and I. Silanegara, "Analisis Kinerja Kondensor Unit Iv Sebelum Dan Sesudah Overhaul," *Politeknologi*, vol. 16, no. 3, pp. 233–238, 2017.
- [4] N. Sri Novi Fitri Yani, R. Rosa Lina, and F. Sains dan Teknologi, "Usulan Perbaikan Efektivitas

Kinerja Pekerja Di Departemen Veneer Dengan Menggunakan Overall Labor Effectiveness (Ole) Dan Root Cause Analysis (Studi Kasus : Pt. Asia Forestama Raya),” *Majapahit Techno*, vol. 5, no. 2, pp. 1–5, 2015.

- [5] C. Soekardi, “Teknik Perpindahan Energi Panas Penerapan pada Sistem Termal Instalasi Industri,” 2019.
- [6] T. . Sitompul, *Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger)*, vol. 4, no. 1. RajaGrafindo Persada, 1993.