

Identifikasi Penyebab Menurunnya Efektivitas Kondensator PLTGU dengan RCA

Krisna Chandra Wijaya¹ dan Gun Gun R Gunadi¹

¹ Program Studi Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur, Jurusan Pascasarjana, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

Artikel info: Diterima: 12 Januari 2024 | Disetujui 29 Maret 2024 | Tersedia online: 30 April 2024
DOI: 10.32722/jmt.v5i1.6544

Abstrak

Metode Analisis Penyebab Akar (RCA) digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan faktor-faktor yang berkontribusi pada penurunan efektivitas kondensator tipe cangkang dan tabung pada PLTGU di Pabrik Semen X. Dengan menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental, penelitian ini dilakukan di Pabrik Semen X. Penelitian ini mengevaluasi fluida panas dan pendingin pada bagian masuk dan keluar kondensator, yang memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi sistem produksi energi di PLTGU. Pengukuran parameter secara langsung dan analisis fisik kondisi kondensator dilakukan dalam proses pengumpulan data. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa setelah pemeliharaan, fluida panas dan pendingin meningkatkan laju energi panas yang dilepaskan dan diterima. Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD), yang dipengaruhi oleh perubahan laju aliran dan suhu fluida, menunjukkan variasi. Dengan pemeliharaan, kinerja kondensator meningkat, meningkat dari 73,9% menjadi 75,1%. Tiga faktor utama yang mempengaruhi efektivitas kondensator diidentifikasi dalam Analisis Penyebab Akar (RCA): kerusakan kondensator, masuknya material asing, dan kondisi lingkungan seperti curah hujan dan suhu ekstrim. Untuk meningkatkan efisiensi total sistem produksi energi di PLTGU, pemeliharaan kondensator yang tepat dan pengendalian kualitas air sangat penting..

Kata-kata kunci: Kondensator, RCA, Efektivitas, PLTGU, Pemeliharaan.

Abstract

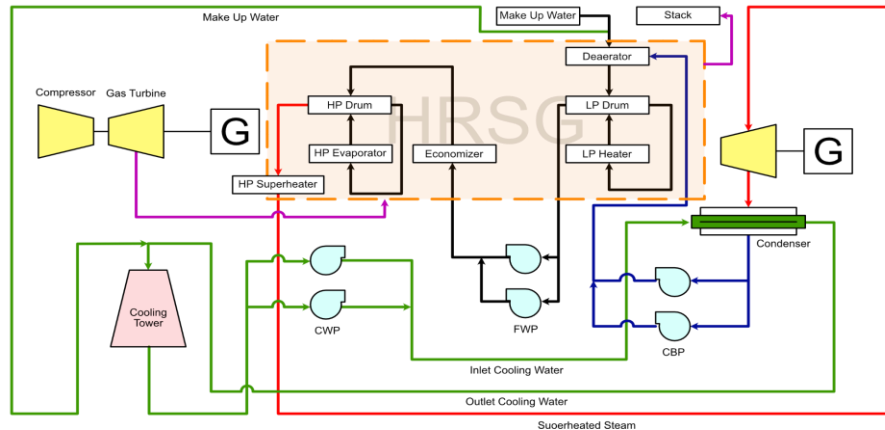
In this study, the Root Cause Analysis (RCA) method is used to find the factors that contribute to the reduction in the efficiency of shell and tube capacitors at gas and steam power plants (PLTGU) at the Semen X Plant. The study used an experimental quantitative approach to conduct the study at the Semen X Plant. The study evaluated heat and cooling fluids at the input and output of the capacitor, which are both critical to improving the efficiency of the energy production system. Parameters are directly measured, and a physical analysis of the condenser's condition is performed during the data collection process. After maintenance, heat fluids and coolants increase the rate at which heat energy is released and received, according to the calculations. The Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD), which is influenced by fluid flow rate and temperature changes, demonstrates variation. With maintenance, the capacitor performance increased, going from 73.9% to 75.1%. The root cause analysis (RCA) identified three main factors affecting a capacitor's efficiency: capacitor damage, foreign material entry, and environmental conditions such as rainfall and extreme temperatures. To improve the overall efficiency of the energy production system at PLTGU, proper maintenance of the capacitor and control of water quality are critical.

Keywords: Condenser, RCA, Efficiency, PLTGU, Maintenance.

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) adalah kombinasi dari Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) yang menggunakan gas alam untuk menggerakkan turbin gas dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakar untuk menghasilkan uap yang menggerakkan turbin uap, dengan tujuan menghasilkan listrik secara efisien [1].

Salah satu fungsi kondensor adalah mendinginkan uap atau mengubahnya menjadi cairan, mirip dengan mengkondensasikan uap dari turbin menjadi air. Suhu kondensor dan laju aliran air pendingin yang masuk sangat memengaruhi kinerjanya. Gambar 1 menunjukkan PLTGU Pabrik Semen X, yang memiliki siklus air dan uap. Siklus ini terdiri dari turbin gas buatan Rolls Royce, yang diklaim memiliki efisiensi 43%, dan turbin uap buatan ASEA Brown Boveri (ABB), yang dapat menghasilkan daya hingga 75 MW.



Gambar 1. Skema PLTGU Pabrik Semen X

Akibatnya, kondensor berperan penting dalam meningkatkan efisiensi sistem produksi energi di PLTGU, karena berfungsi mengkondensasikan uap air dari turbin menjadi air pendingin yang dapat digunakan kembali [2]. Dengan demikian, air pendingin tidak terbuang tetapi dapat digunakan kembali untuk berbagai proses [3]. Ini menghemat sumber daya dan air serta mengurangi dampak pembangkit listrik pada lingkungan.

Penelitian terkait oleh Jamal Chandra Bhuana dan Irfan Muh. Aqsha Maulana pada PLTU PT Semen Tonasa menyoroiti dampak fouling terhadap efektivitas kondensor, menunjukkan interval pemeliharaan setiap 2 tahun berpengaruh pada nilai NTU dan efektivitas kondensor [4]. Studi Didit Sumardiyanto pada PLTGU PT Indonesia Power UPP Priok tahun 2020 menggunakan metode LMTD dan ϵ -NTU untuk mengukur efektivitas kondensor, mencatat nilai serta faktor variabel yang memengaruhi kinerjanya [5]. Penelitian Hanum Aditiya mengulas kerugian kalor pada kondensor vakum di kapal MT. Enduro dengan mempertimbangkan faktor pengotoran air laut, melakukan perhitungan nilai faktor pengotor, kerugian kalor, dan efektivitas pada kondisi desain spesifik [6].

Tujuan utama penelitian ini adalah mengidentifikasi penyebab penurunan efektivitas kondensor, khususnya pada tipe *shell and tube* pada PLTGU, menggunakan metode RCA. Perubahan tekanan yang signifikan mendorong perlunya analisis dan perawatan kondensor. Metode RCA digunakan sebagai dasar untuk mengidentifikasi akar masalah efektivitas, membantu dalam mengungkap dan menganalisis penyebab utama masalah pada sistem pembangkit tenaga listrik, termasuk komponen vital seperti kondensor [7].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimental dan kausal untuk mengumpulkan data mengenai laju energi panas dari fluida panas dan fluida pendingin kondensor. Ini dilakukan di PLTGU Pabrik Semen X, yang terletak di Jl. Mayor Oking Jayaatmaja, Citeureup, Kecamatan Gn. Putri, Kabupaten Bogor. ujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menemukan dan menganalisis penurunan kinerja kondensor serta meningkatkan efektivitasnya. Tabel 1 berikut menunjukkan rincian spesifikasi kondensor yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Spesifikasi Kondensator

<i>Model number</i>	20012
<i>Manufacturer</i>	ABB Lang Ltd
<i>Material</i>	CuZn2828Sn1 DIN 17660
<i>Jumlah tube</i>	2200
Luas Perpindahan Panas	1085 m ²
Debit sirkulasi air	3200 m ³ /Hr
Koefisien Perpindahan Panas Global	160 W/m ² K

Langkah-langkah penelitian dimulai dengan pengumpulan data melalui pengukuran langsung terhadap parameter seperti suhu masuk dan keluar, tekanan masuk dan keluar, serta laju aliran massa pada bagian fluida dan air untuk mendapatkan gambaran lengkap tentang kinerja kondensator. Selanjutnya, analisis penyebab penurunan kinerja dilakukan menggunakan pendekatan *Root Cause Analysis* (RCA) untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah. Efektivitas kondensator kemudian dihitung menggunakan *konsep Log Mean Temperature Difference* (LMTD), dengan rumus yang memperhitungkan perbedaan suhu masuk dan keluar dari fluida panas dan fluida pendingin. Selain itu, perhitungan *Number of Transfer Units* (NTU) juga dilakukan untuk mengetahui sejauh mana energi panas yang ditransfer dari fluida panas ke fluida pendingin dalam sistem kondensator.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari Perhitungan Efektivitas Kondensator

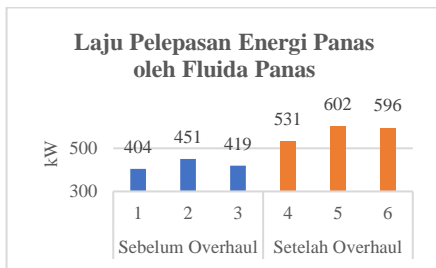
Tabel 2. Hasil dari Perhitungan Efektivitas Kondensator

Variabel	Satuan	Sebelum Pemeliharaan	Sesudah Pemeliharaan
Laju pelepasan energi panas oleh fluida panas	kW	425	584
Laju penerimaan energi panas oleh fluida pendingin	kW	383	534
Perbedaan Suhu Rata-rata Logaritmik (LMTD)	°C	15	13
Laju kapasitas panas aliran fluida pendingin	W/K		
Laju kapasitas panas aliran fluida panas	W/K		
Laju Kapasitas panas	W/K		
NTU		5	4
Efektivitas Kondensator	%	74	75

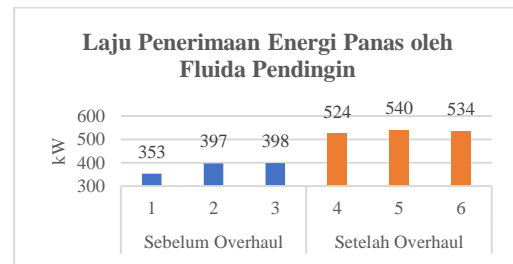
Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan efektivitas kondensator: Perhitungan efektivitas kondensator menunjukkan bahwa beberapa parameter penting telah meningkat setelah perbaikan. Laju fluida panas melepaskan energi panas dari 425 kW sebelum pemeliharaan menjadi 584 kW setelah pemeliharaan, menunjukkan bahwa kondensator melepaskan energi panas dengan lebih efisien. Selain itu, laju fluida pendingin menerima energi panas dari 383 kW menjadi 534 kW, menunjukkan bahwa fluida pendingin lebih baik dalam menyerap energi panas.

Perbedaan suhu rata-rata logaritmik (LMTD) sedikit menurun dari 15 °C menjadi 13 °C, yang dapat dianggap sebagai peningkatan efisiensi transfer panas. Penurunan LMTD biasanya menunjukkan perpindahan panas yang lebih efisien dalam sistem. Secara keseluruhan, efektivitas kondensator meningkat dari 74% menjadi 75%, meskipun ada sedikit penurunan nilai NTU dari 5 menjadi 4. Ini menunjukkan bahwa pemeliharaan berhasil meningkatkan kinerja dan efisiensi kondensator, yang memungkinkannya beroperasi dengan lebih baik dalam transfer energi panas.

Analisis Hasil dari Perhitungan Efektivitas Kondensor



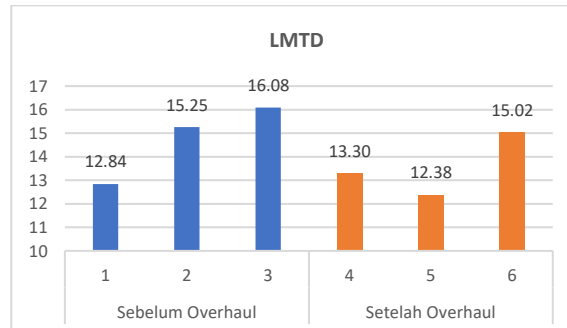
Gambar 2. Laju pelepasan energi panas oleh fluida panas



Gambar 3. Laju penerimaan energi panas oleh fluida pendingin

Berdasarkan Gambar 2 dan Gambar 3, analisis mendalam mengenai laju pelepasan dan penerimaan energi panas oleh kondensor sebelum dan setelah pemeliharaan menunjukkan beberapa poin penting. Pada Gambar 2, sebelum overhaul, laju pelepasan energi panas oleh fluida panas menunjukkan variasi dengan nilai-nilai 404 kW, 451 kW, dan 419 kW. Hal ini mencerminkan kinerja kondensor yang tidak konsisten dan kurang optimal. Setelah overhaul, nilai laju pelepasan meningkat secara signifikan menjadi 602 kW, 596 kW, dan 531 kW. Peningkatan ini menunjukkan bahwa kondensor mampu melepaskan lebih banyak energi panas dengan lebih efisien setelah pemeliharaan, yang mengindikasikan bahwa *overhaul* berhasil membersihkan atau memperbaiki komponen-komponen yang terhambat atau aus, sehingga aliran panas menjadi lebih optimal.

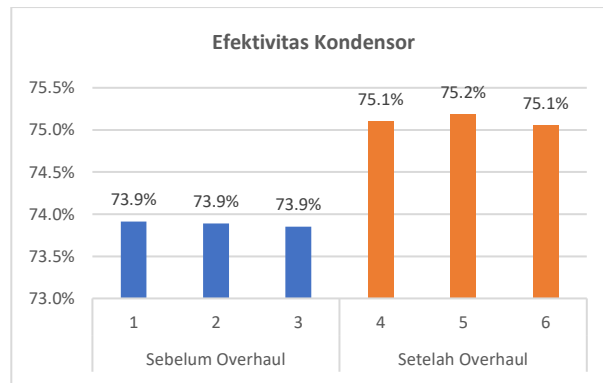
Di sisi lain, Gambar 3 menunjukkan bahwa sebelum *overhaul*, laju penerimaan energi panas oleh fluida pendingin berkisar antara 353 kW hingga 397 kW. Variasi ini menunjukkan kinerja yang bervariasi dan tidak maksimal, yang mungkin disebabkan oleh adanya *fouling* atau penumpukan kotoran yang menghambat transfer panas. Setelah *overhaul*, nilai ini meningkat secara signifikan menjadi 524 kW hingga 534 kW. Peningkatan ini mencerminkan bahwa fluida pendingin mampu menyerap lebih banyak energi panas setelah pemeliharaan, yang menunjukkan peningkatan efisiensi transfer panas. Dengan demikian, *overhaul* yang dilakukan pada kondensor berhasil meningkatkan efektivitas dan efisiensi operasi kondensor secara signifikan, memperbaiki aliran dan transfer panas, serta meningkatkan kinerja keseluruhan sistem transfer panas.



Gambar 4. Log Mean Temperature Difference (LMTD)

Berdasarkan Gambar 4 yang menunjukkan perbedaan suhu rata-rata logaritmik (*Log Mean Temperature Difference*, LMTD) sebelum dan setelah overhaul, terlihat adanya perubahan yang signifikan. Sebelum overhaul, nilai LMTD berkisar antara 12,84°C hingga 16,08°C. Nilai yang tinggi dan bervariasi ini menunjukkan adanya perbedaan suhu yang cukup besar antara fluida panas dan fluida pendingin di dalam kondensor, yang kemungkinan disebabkan oleh ketidakefisienan dalam transfer panas akibat penumpukan kotoran (*fouling*) atau kondisi fisik komponen kondensor yang tidak optimal.

Setelah *overhaul*, nilai LMTD menurun dan menjadi lebih konsisten, berkisar antara 12,38°C hingga 15,02°C. Penurunan dan stabilitas nilai LMTD ini menunjukkan bahwa setelah pemeliharaan, transfer panas menjadi lebih efisien. *Overhaul* yang dilakukan berhasil membersihkan komponen-komponen kondensor dan memperbaiki kondisinya, sehingga aliran panas antara fluida panas dan fluida pendingin menjadi lebih optimal. Ini mengindikasikan bahwa *overhaul* tidak hanya meningkatkan efisiensi kondensor tetapi juga menstabilkan performa transfer panas secara keseluruhan.



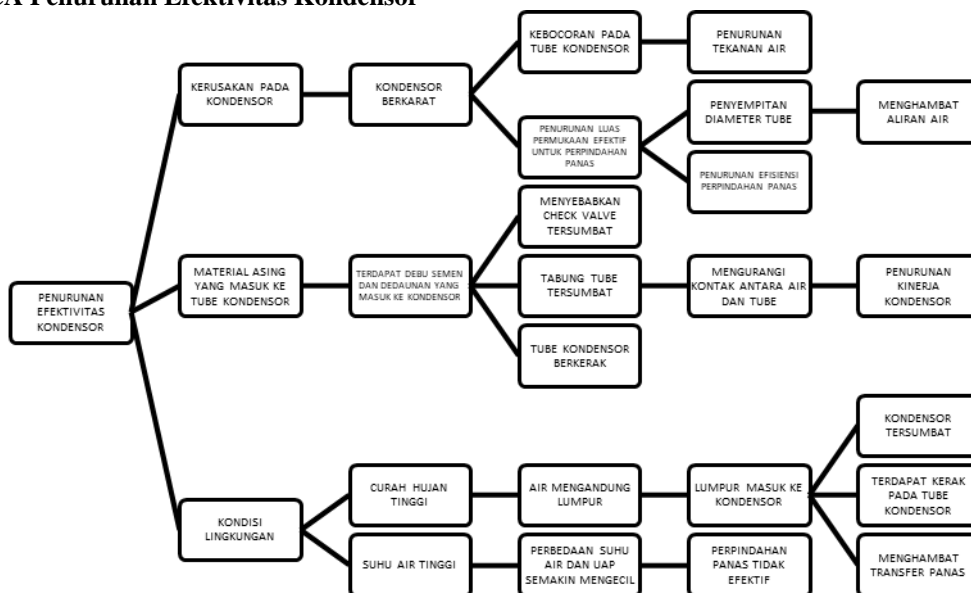
Gambar 5. Efektivitas Kondensator

Berdasarkan Gambar 5 yang menunjukkan efektivitas kondensator sebelum dan setelah *overhaul*, kita dapat melihat peningkatan yang signifikan dalam kinerja kondensator. Sebelum *overhaul*, efektivitas kondensator berada pada tingkat yang relatif konsisten namun rendah, yaitu 73,9% pada ketiga titik pengukuran. Efektivitas yang tidak optimal ini menunjukkan bahwa kondensator mengalami hambatan dalam transfer panas, kemungkinan disebabkan oleh penumpukan kotoran atau kerusakan pada komponen internalnya.

Setelah *overhaul*, efektivitas kondensator meningkat secara signifikan dan stabil di sekitar 75,1% hingga 75,2%. Peningkatan ini mencerminkan bahwa pemeliharaan yang dilakukan berhasil membersihkan atau mengganti komponen-komponen yang bermasalah, sehingga aliran dan transfer panas di dalam kondensator menjadi lebih efisien. Efektivitas yang lebih tinggi ini menunjukkan bahwa kondensator mampu bekerja lebih dekat dengan kondisi idealnya, mengurangi kerugian energi dan meningkatkan keseluruhan efisiensi sistem. Stabilitas nilai efektivitas setelah *overhaul* juga menandakan bahwa perbaikan yang dilakukan bersifat menyeluruh dan berhasil mengembalikan kinerja kondensator ke kondisi optimal.

Secara keseluruhan, grafik ini menegaskan pentingnya pemeliharaan rutin dan *overhaul* pada kondensator untuk memastikan bahwa sistem transfer panas bekerja dengan efisiensi maksimal. Peningkatan efektivitas kondensator pasca-*overhaul* akan berkontribusi pada pengurangan biaya operasional dan peningkatan umur panjang peralatan, serta meningkatkan performa keseluruhan dari sistem yang menggunakan kondensator tersebut.

Analisis RCA Penurunan Efektivitas Kondensator



Gambar 6. RCA Penurunan Efektivitas Kondensator

Berdasarkan Gambar 6 yang menunjukkan Analisis RCA (*Root Cause Analysis*) terhadap penurunan efektivitas kondensator, beberapa faktor utama penyebab penurunan kinerja kondensator dapat diidentifikasi. Analisis ini mengelompokkan penyebab ke dalam tiga kategori utama: kerusakan pada kondensator, material asing yang masuk ke tube kondensator, dan kondisi lingkungan.

Kerusakan pada kondensor mencakup masalah seperti kondensor yang berkarat, yang dapat menyebabkan kebocoran pada tube kondensor dan penurunan tekanan air. Karat juga dapat menyebabkan penyempitan diameter tube, yang menghambat aliran air dan menurunkan efisiensi perpindahan panas. Selain itu, tabung tube yang tersumbat oleh karat atau material lainnya dapat mengurangi kontak antara air dan tube, sehingga mengurangi kinerja kondensor secara keseluruhan.

Material asing yang masuk ke dalam tube kondensor, seperti debu semen dan dedaunan, dapat menyebabkan penyumbatan yang serius. Material ini biasanya terbawa oleh air yang digunakan dalam sistem pendingin dan dapat menumpuk di dalam tabung, menghalangi aliran air dan menurunkan efektivitas perpindahan panas. Penyumbatan ini mengurangi kontak antara air dan permukaan tube, yang sangat penting untuk transfer panas yang efisien.

Kondisi lingkungan juga memiliki dampak signifikan terhadap efektivitas kondensor. Curah hujan tinggi dan suhu udara yang tinggi dapat meningkatkan jumlah lumpur dan material asing lainnya yang masuk ke dalam kondensor. Air yang mengandung lumpur dan kotoran dapat menyebabkan penyumbatan pada tabung tube, yang menghambat aliran air dan menurunkan transfer panas. Selain itu, perbedaan suhu air dan uap yang semakin mengecil akibat kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan juga dapat mengurangi efisiensi perpindahan panas.

Dengan memahami akar penyebab penurunan efektivitas kondensor ini, langkah-langkah perbaikan yang tepat dapat diambil. Pemeliharaan rutin yang mencakup pembersihan tabung, pemeriksaan dan perbaikan kebocoran, serta pengendalian kualitas air sangat penting untuk menjaga kinerja kondensor. Mengatasi masalah-masalah ini secara proaktif akan meningkatkan efisiensi operasi kondensor dan memastikan sistem pendingin beroperasi dengan optimal..

4. KESIMPULAN

Studi ini menunjukkan bahwa pemeliharaan pada kondensor dapat secara signifikan meningkatkan efektivitasnya dalam mentransfer panas. Dari hasil analisis, faktor penyebab utama penurunan efektivitas kondensor meliputi kerusakan fisik pada komponen, masuknya material asing, dan perubahan lingkungan seperti cuaca yang ekstrem. Metode RCA membantu dalam mengidentifikasi akar masalah dan memberikan wawasan tentang upaya perawatan yang diperlukan.

Dalam konteks pembangkit listrik tenaga gas dan uap, menjaga kondisi fisik yang optimal, mengontrol masuknya material asing, dan memantau kondisi lingkungan menjadi penting untuk meningkatkan efisiensi kondensor. Langkah-langkah preventif dan perbaikan yang tepat berdasarkan analisis RCA dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap kinerja keseluruhan PLTGU.

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] J. C. Bhuana, I. Muh, and A. Maulana, "Analisis Efektivitas Kondensor Di PLTU PT. Semen Tonasa Btg Unit I 2×25 MW," *PoliGrid*, vol. 2, no. 1, p. 20, 2021, doi: 10.46964/poligrd.v2i1.720.
- [5] D. Sumardiyanto and A. Januar, "Penentuan Nilai Efektivitas Kondensor Di Pltgu Blok 1-2 Pt. Indonesia Power Upjp Priok," *J. Kaji. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 99–103, 2020, doi: 10.52447/jktm.v5i2.4185.
- [6] H. Aditiya, "Analisa Kerugian Kalor Pada Kondensor Vakum Akibat Dari Pengotoran Air Laut Dikapal Mt. Enduro," *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 22–26, 2013.
- [7] 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.
- [8] T. . Sitompul, *Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger)*, vol. 4, no. 1. RajaGrafindo Persada, 1993.