

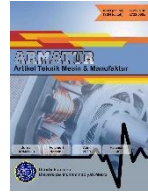


Contents list available at [Sinta](https://sinta)

ARMATUR

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

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



Analisis Perbandingan Efektivitas *Closed Cooling Water* Sebelum Dan Sesudah Pemeliharaan Pada PLTGU Blok 1 Priok POMU

Muhammad Rafli Akbar Putra Riyanto^{1*}, Muhammad Ridwan²

^{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 Jakarta 11750

ARTICLE INFO

Keywords:

*Closed cooling water (CCW),
PLTGU, effectiveness,
fouling, LMTD, maintenance.*

ABSTRACT

In the modern era, electricity has become a crucial component of various human activities. A Gas and Steam Power Plant (PLTGU) is one efficient solution that leverages the combination of gas and steam turbines. However, the effectiveness of the Closed Cooling Water (CCW) system at the Priok PLTGU is often hindered by fouling and performance degradation due to the accumulation of dirt in the heat exchanger. This research was conducted using data collection methods such as direct observation, interviews, and literature studies. Data analysis was performed quantitatively to compare the effectiveness of the Closed Cooling Water (CCW) system before and after maintenance at the Priok PLTGU Block 1. The research aims to analyze the comparison of CCW effectiveness before and after maintenance. The results showed an increase in effectiveness from 38.32% before maintenance to 46.29% after maintenance, although still below the commissioning figure of 53.75%. The maintenance carried out proved effective in improving the system's performance, but further improvements are still needed. The main factors affecting effectiveness include fouling and LMTD (Log Mean Temperature Difference). The suggestions provided emphasize the importance of routine maintenance and the use of high-quality materials to enhance CCW performance.

Pendahuluan

*Corresponding author: rafli2012055@itpln.ac.id

DOI: <https://10.24127/armatur.v6i1.7197>

Received September 11, 2024; Received in revised form March 16, 2025; Accepted March 18, 2025

Available online March 19, 2025

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring dengan perkembangan ekonomi dan pertumbuhan penduduk. Listrik menjadi kebutuhan utama yang mendukung berbagai sektor, mulai dari kebutuhan rumah tangga hingga kegiatan industri yang kompleks. Untuk memenuhi permintaan yang semakin besar, berbagai jenis pembangkit listrik telah dikembangkan, termasuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), dan Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU). Di antara berbagai jenis pembangkit, PLTGU menjadi salah satu solusi utama karena efisiensinya yang lebih tinggi dan kemampuannya untuk mengurangi emisi karbon, menjadikannya pilihan yang lebih ramah lingkungan. PLTGU menggabungkan PLTG dan PLTU dalam satu sistem, yang menghasilkan energi lebih efisien dengan memanfaatkan panas sisa dari turbin gas untuk menggerakkan turbin uap.

Dalam PLTGU, sistem pendingin memainkan peran penting dalam menjaga stabilitas operasional. Salah satu komponen vital yang digunakan adalah alat penukar panas atau *heat exchanger*, yang berfungsi untuk mengurangi suhu tinggi dari proses pembakaran dan menjaga komponen pembangkit tetap berfungsi optimal[1]. Di PLTGU Priok, sistem *Closed Cooling Water (CCW)* dengan tipe *shell and tube heat exchanger* digunakan untuk mendinginkan berbagai komponen utama seperti *ST Lube Oil Coolers*, *Condenser Evacuation Pumps*, dan *Generator Air Coolers*. *Heat exchanger* tipe ini dikenal karena kemampuannya dalam mentransfer panas secara efisien dan tahan terhadap tekanan serta suhu tinggi. Penggunaan alat ini sangat penting untuk memastikan bahwa komponen pembangkit terlindungi dari kerusakan akibat panas berlebih[2].

Namun, seiring dengan waktu, sistem pendingin sering mengalami penurunan kinerja yang disebabkan oleh

penumpukan kotoran dalam *heat exchanger*. Endapan mineral, partikel kontaminan, dan bahan organik yang terbawa oleh fluida pendingin dapat menghambat perpindahan panas, sehingga mengurangi efisiensi pendinginan. Jika masalah ini tidak ditangani secara tepat, penurunan kinerja *heat exchanger* dapat menyebabkan *overheating* pada komponen pembangkit dan meningkatkan risiko kerusakan. Oleh karena itu, pemeliharaan rutin sangat diperlukan untuk memastikan efisiensi perpindahan panas tetap optimal. Pembersihan berkala dan pemantauan kualitas fluida pendingin menjadi langkah penting untuk mencegah masalah ini dan menjaga performa sistem tetap stabil[3].

Penelitian ini berfokus pada analisis efektivitas sistem *Closed Cooling Water (CCW)* di PLTGU Priok sebelum dan sesudah dilakukan perawatan. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan perbedaan signifikan dalam performa perpindahan panas dan efisiensi sistem pendingin setelah perawatan dilakukan. Hasil analisis ini akan memberikan rekomendasi praktis terkait pemeliharaan sistem CCW, serta dapat membantu mengoptimalkan kinerja pembangkit secara keseluruhan dan mencegah kerusakan lebih lanjut akibat *overheat* pada komponen utama pembangkit listrik[4].

Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)

PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap) adalah jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan siklus gabungan antara siklus Brayton pada PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas) dan siklus Rankine pada PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap). Dalam operasinya, gas buang yang dihasilkan oleh turbin gas pada PLTG memiliki suhu yang sangat tinggi dan jika dilepaskan langsung ke atmosfer akan menyebabkan kehilangan energi yang signifikan. Untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi ini, gas buang tersebut

diarahkan ke *Heat Recovery Steam Generator (HRSG)*, yang kemudian digunakan untuk menghasilkan uap kering. Uap kering ini selanjutnya diarahkan ke turbin uap untuk memutar sudu-sudu turbin, sehingga menghasilkan energi mekanik yang nantinya digunakan untuk memutar generator dan menghasilkan listrik[5].



Gambar 1 PLTGU Priok POMU

Setelah uap digunakan untuk memutar turbin, sisa uap akan dikondensasikan kembali di dalam kondensor. Proses ini mengubah uap menjadi air yang kemudian dipompa kembali menuju deaerator untuk menghilangkan gas-gas terlarut, sebelum dipompa lagi menuju HRSG untuk siklus pemanasan ulang. Penggunaan siklus gabungan ini meningkatkan efisiensi termal keseluruhan pembangkit listrik, karena energi panas yang biasanya terbuang dapat dimanfaatkan kembali untuk menghasilkan lebih banyak listrik[6]. Desain PLTGU ini memungkinkan pengurangan konsumsi bahan bakar dan emisi yang lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit konvensional, sehingga lebih ramah lingkungan.

Heat Exchanger

Heat exchanger adalah perangkat yang dirancang untuk mentransfer panas dari satu fluida ke fluida lainnya, tanpa

menyatukan kedua fluida tersebut secara langsung. Prinsip kerja heat exchanger didasarkan pada konsep perpindahan panas antara dua fluida yang berbeda suhu melalui permukaan pertukaran panas. Ada beberapa jenis heat exchanger, tetapi prinsip kerjanya umumnya serupa. *Heat exchanger* terdiri dari dua aliran fluida yang terpisah oleh permukaan pertukaran panas. Salah satu fluida, yang mungkin merupakan fluida panas atau fluida dingin, mengalir melalui saluran atau pipa yang berada di sekitar permukaan pertukaran panas. Fluida lainnya mengalir di sekitar pipa atau saluran tersebut. Panas akan dialirkan dari fluida yang lebih panas ke fluida yang lebih dingin melalui permukaan pertukaran panas, menciptakan perpindahan panas antara keduanya[7].

$$\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,out} \quad (1)$$

$$\Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,in} \quad (2)$$

$T_{c,in}$ = Temperatur masuk fluida cair dingin

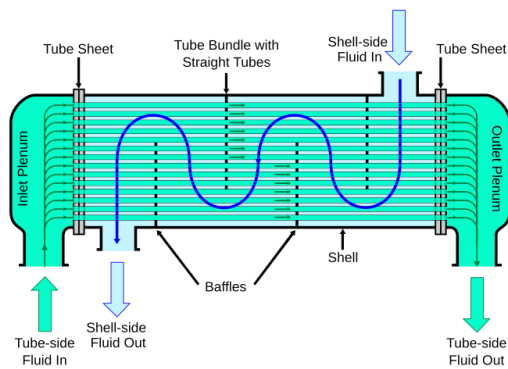
$T_{h,in}$ = Temperatur keluar fluida udara panas

$T_{c,out}$ = Temperatur masuk fluida cair dingin

$T_{h,out}$ = Temperatur keluar fluida cair panas

Cooling System

Sistem pendinginan adalah bagian penting dari banyak proses industri dan aplikasi teknis lainnya. Ini dirancang untuk menghilangkan panas yang dihasilkan oleh peralatan atau proses untuk menjaga suhu tetap stabil dan mencegah overheating, yang dapat mengakibatkan kerusakan atau penurunan kinerja peralatan. Sistem pendinginan juga diperlukan untuk menjaga suhu operasional yang optimal untuk komponen elektronik, mesin, dan sistem lainnya.



Gambar 2 Closed Cooling System

(Sumber : *Manualbook* PLTGU Priok)

$$\epsilon = \frac{\Delta T (\text{fluida minimum})}{\text{beda suhu maksimum penukar kalor}} \quad (3)$$

Keterangan:

ϵ = Efektivitas CCW (%)

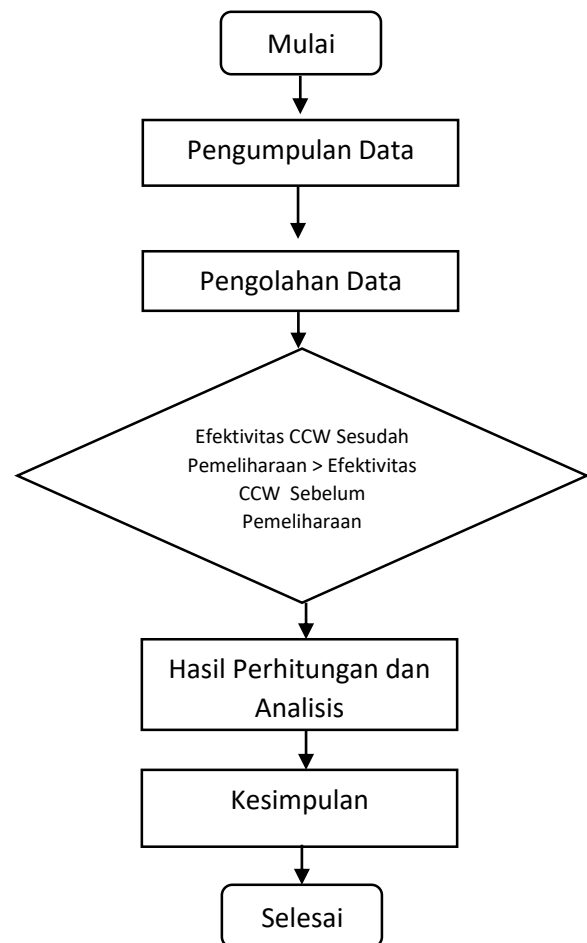
ΔT = Selisih Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

Pada sistem pendinginan air, umumnya digunakan berbagai komponen seperti *chiller*, pompa air, *heat exchanger*, dan pipa-pipa untuk mengalirkan air pendingin. *Chiller* adalah perangkat utama yang menghasilkan air dingin atau cairan pendingin lainnya, yang kemudian dialirkan melalui *heat exchanger* untuk menyerap panas dari peralatan atau proses. Pompa air bertanggung jawab untuk mengedarkan air pendingin melalui sistem, sementara pipa-pipa menghubungkan semua komponen bersama-sama.

Metode Penelitian

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui empat pendekatan utama, yaitu pengamatan langsung, pengamatan tidak langsung, wawancara, dan studi literatur. Pengamatan langsung dilakukan di lokasi PLTGU Indonesia Power UPJP Priok, khususnya pada Blok 1, dengan memantau data operasi di *CCR (Center Control Room)* untuk memperoleh informasi terkait kondisi operasional komponen utama PLTGU. Informasi yang dikumpulkan meliputi data siklus termal, suhu, dan aliran pada

komponen pembangkit yang relevan dengan proses perpindahan panas.



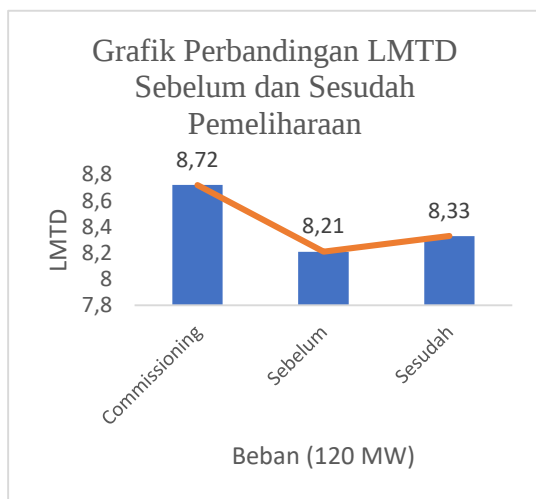
Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

Selain itu, metode pengamatan tidak langsung digunakan untuk memperoleh data spesifikasi teknis dari alat penukar kalor jenis *shell and tube* di PLTGU Blok 1 dan Blok 2 Priok. Data ini meliputi material konstruksi, jumlah dan dimensi tabung, serta aliran operasi pada sisi *shell and tube*. Proses perpindahan panas pada *heat exchanger* ini melibatkan fluida pendingin yang mengalir melalui sisi *tube* dan fluida panas yang mengalir melalui sisi *shell*, memungkinkan terjadinya perpindahan kalor dari sisi yang lebih panas ke sisi yang lebih dingin, yang ditentukan oleh perbedaan temperatur antara kedua fluida tersebut.

Wawancara juga dilakukan dengan teknisi dan operator yang bertugas di CCR dan Randal Operasional PLTGU Blok 1. Informasi yang diperoleh melalui wawancara ini mencakup pemahaman mendalam mengenai parameter operasi tiap komponen utama pada pembangkit. Terakhir, studi literatur dilakukan untuk mendukung analisis data dan memperkuat landasan teori yang digunakan dalam penelitian.

Hasil dan Pembahasan

Dalam analisis *close cooling water* dan pembahasan terkait nilai perbandingan LMTD sebelum dan sesudah perawatan, nilai efektivitas *close cooling water* sebelum dan sesudah perawatan. Berikut adalah hasil perhitungan LMTD dan Efektivitas:



Gambar 4 Grafik Perbandingan LMTD Sebelum dan Sesudah Pemeliharaan

Perhitungan LMTD sebelum pemeliharaan:

$$\Delta T_1 = T_{h, in} - T_{c, out} = (45,3 - 33,1) = 10,20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_{h, out} - T_{c, in} = (37,8 - 31,2) = 6,50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{in} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{10,9^\circ\text{C} - 6,2^\circ\text{C}}{\ln\left(\frac{10,9}{6,2}\right)} = 8,21^\circ\text{C}$$

Perhitungan LMTD sesudah pemeliharaan:

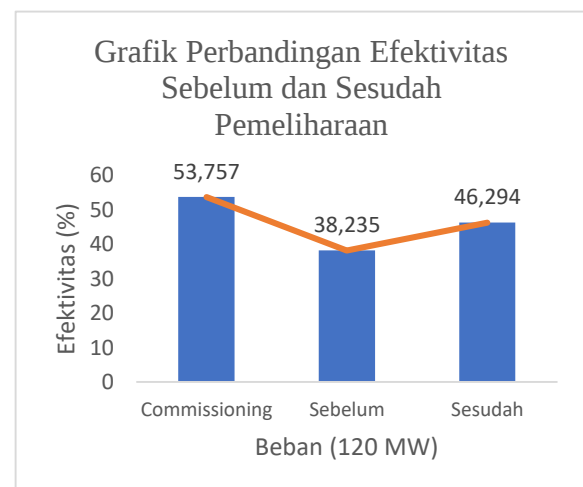
$$\Delta T_1 = T_{h, in} - T_{c, out} = (46,1 - 35,2) \text{ } ^\circ\text{C} = 10,9^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_{h, out} - T_{c, in} = (36,3 - 30,1) \text{ } ^\circ\text{C} = 6,2^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{in} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{10,9 - 6,2}{\ln\left(\frac{10,9}{6,2}\right)} = 8,33^\circ\text{C}$$

Grafik Perbandingan *Log Mean Temperature Difference (LMTD)* sebelum dan sesudah pemeliharaan menunjukkan efektivitas pemeliharaan pada sistem perpindahan panas. Pada tahap commissioning, LMTD tercatat sebesar 8,72 °C, menandakan bahwa sistem beroperasi dengan efektivitas optimal. Namun, sebelum pemeliharaan dilakukan, LMTD menurun menjadi 8,21 °C, mengindikasikan penurunan efektivitas perpindahan panas yang disebabkan oleh faktor seperti penumpukan kerak, kotoran, atau degradasi material. Penurunan ini, meskipun tidak signifikan, cukup untuk menunjukkan bahwa sistem tidak lagi bekerja seoptimal saat commissioning, sehingga memerlukan intervensi untuk memperbaiki kinerjanya.

Setelah pemeliharaan, LMTD meningkat menjadi 8,33°C. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pemeliharaan berhasil memulihkan dan meningkatkan efektivitas perpindahan panas sistem. Hasil ini positif, menegaskan bahwa pemeliharaan tidak hanya mengembalikan sistem ke kondisi awal, tetapi juga memperbaiki kinerja keseluruhan. Namun, perlu dicatat bahwa peningkatan ini juga menunjukkan perlunya pemeliharaan.



Gambar 5 Grafik Perbandingan Efektivitas Sebelum dan Sesudah Pemeliharaan

Perhitungan Efektivitas sebelum pemeliharaan:

$$\epsilon = \frac{\Delta T \text{ (fluida minimum)}}{\text{beda suhu maksimum penukar kalor}} \quad (3)$$

$$\epsilon = \frac{3,90}{10,20}$$

$$\epsilon = 38,235\%$$

Perhitungan LMTD sebelum pemeliharaan:

$$\epsilon = \frac{\Delta T \text{ (fluida minimum)}}{\text{beda suhu maksimum penukar kalor}} \quad (3)$$

$$\epsilon = \frac{5,1}{10,9}$$

$$\epsilon = 46,294\%$$

Grafik perbandingan efektivitas sistem perpindahan panas sebelum dan sesudah pemeliharaan menunjukkan perubahan yang signifikan dalam kinerja sistem. Pada tahap *commissioning*, efektivitas sistem mencapai 53,757%, yang mencerminkan bahwa sistem bekerja pada kapasitas optimal dengan kemampuan memindahkan panas secara efisien. Namun, sebelum dilakukan perawatan, efektivitas sistem mengalami penurunan drastis menjadi 38,235%, yang mengindikasikan adanya degradasi kinerja. Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh faktor-faktor seperti penumpukan kerak atau kotoran pada permukaan perpindahan panas, serta potensi masalah mekanis yang menghambat aliran panas secara efisien. Setelah dilakukan perawatan, efektivitas sistem meningkat menjadi 46,294%, menandakan adanya perbaikan kinerja yang signifikan. Meskipun tidak sepenuhnya kembali ke kondisi optimal seperti saat *commissioning*, peningkatan ini menunjukkan bahwa pemeliharaan yang dilakukan berhasil mengatasi sebagian besar hambatan yang menyebabkan penurunan efisiensi. Kendati demikian, masih ada ruang untuk perbaikan lebih lanjut agar sistem dapat kembali bekerja pada tingkat efektivitas yang lebih tinggi, mungkin dengan perawatan tambahan atau penerapan teknologi yang lebih canggih untuk mengoptimalkan kinerja sistem secara keseluruhan.

Kesimpulan

Berdasarkan data yang diperoleh, perawatan pada sistem *Closed Cooling Water (CCW)* berhasil meningkatkan efektivitas perpindahan panas. Sebelum pemeliharaan, efektivitas CCW tercatat sebesar 38,32%, yang menunjukkan penurunan dari kondisi awal saat *commissioning* dengan efektivitas 53,75%. Setelah dilakukan pemeliharaan, efektivitas meningkat menjadi 46,29%, menunjukkan adanya perbaikan sebesar 26,90% dibandingkan sebelum pemeliharaan. Meskipun belum mencapai efektivitas optimal seperti saat *commissioning*, peningkatan ini membuktikan bahwa pemeliharaan memberikan dampak positif. Beberapa faktor yang mempengaruhi efektivitas CCW meliputi kondisi lingkungan, penumpukan kotoran di inlet, serta usia pakai mesin, yang perlu diperhatikan dalam pemeliharaan lebih lanjut untuk mengoptimalkan kinerja sistem.

Referensi

- [1] Agil Diswanto. (2018). Optimisasi Pada *Design Heat Exchanger Tipe Shell and Tube* Menggunakan *Twisted Tape*. 93.
- [2] Dewi, I., Br.Ginting, M. P., & Ibrahim, H. (2022). Analisis Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube Pada Pendingin Tertutup Untuk Air Demin (*Close Cooling Water Heat Exchanger*) Di S.T 1.0 PLTGU UPDK Belawan. Konferensi Nasional Sosial dan Engineering Politeknik Negeri Medan, 1226–1236.
- [3] Putri, F., & Hasnira. (2023). Pengaruh Perubahan Temperatur Demin Water Terhadap Heat Transfer Lube Oil System Before and After Maintenance Heat Exchanger Type Plate PLTGU Panaran. *Jurnal Rekayasa Energi*, 2(1), 33–39. <https://doi.org/10.31884/jre.v2i1.15>
- [4] Sumarno, F. G., Program, S. P., Teknik, S., Energi, K., Teknik, J., Politeknik, M., Semarang, N., & Sudarto, J. H.

- (2015). Perpindahan Panas pada Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger di Sektor Pembangkitan PLTGU Cilegon. *EKSERGI Jurnal Teknik Energi*, 11(3), 85–90.
- [5] D., & Arafah, R. A. (2022). Sebelum dan Sesudah Overhaul Turbine Inspection Dengan Variasi Beban PLTGU PRIOK POMU BLOK 4 . 2.
- [6] Gusnita, N., & Said, K. S. (2017). Analisa Efisiensi dan Pemanfaatan Gas Buang Turbin Gas Alsthom Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Kapasitas 20 Mw. 14(2), 209–218.
- [7] Walikrom, R., Muin, A., Teknik Mesin, J., Teknik, F., & Tridinanti Palembang, U. (2018). 40 Studi Kinerja Plate Heat Exchanger Pada Sistem Pendingin PLTGU. *Jurnal Teknik Mesin*, 1(1), 2621–3354.
- [8] P, C. H., & Zayadi, A. (2014). Studi Perbandingan Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube Tembaga-Aluminium Untuk Pitch Segiempat. 17(November), 79–93.
- [9] Silitonga, P. S. M. (2020). *ANALISIS TERMODINAMIKA TERHADAP KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS DAN UAP (PLTGU)* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Indonesia).
- [10] Sekulić, D. P., & Sha, R. K. (2023). Fundamentals Of Heat Exchanger Design. *Fundamentals Of Heat Exchanger Design*, 1–736. <https://doi.org/10.1002/9781119883296>