

ANALISIS KEBAIKAN PERPINDAHAN PANAS OIL COOLER PADA POMPA FEEDWATER DI PLTU SUNGAI TENGAR KAPASITAS 4x25MW

¹Sardo Hita Nainggolan, ²Muhamad Safi'i, ³Althesa Androva, ⁵Yafid Effendi

^{1*,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Persatuan Guru Republik Indonesia Semarang, Semarang 50232.

⁴Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Tangerang, Tangerang 15118.
e-mail: sardohitani1990@gmail.com

Receive: 16 Juli 2026

Accepted: 02 Agustus 2026

Abstract

A 4 × 25 MW coal-fired power plant (PLTU) integrated with a smelter-grade alumina plant in Sungai Tengar, West Kalimantan, utilizes a plate-type heat exchanger (oil cooler) model BR015-4 to maintain the lubricating oil temperature of the feedwater pump (FWP) within an optimal range. This study aims to analyze the heat transfer performance of the heat exchanger, identify factors affecting its operational efficiency, and verify its compliance with manufacturer specifications. Data collection was conducted over 48 hours of continuous operation by measuring temperature, pressure, and inspecting the internal condition of the equipment. The specifications used in this study include a maximum operating temperature of 80°C, inlet oil temperature of 48°C, heat transfer surface area of 6 m², oil flow velocity of 0.8 m/s under normal operation (1 pump active) and 1.2 m/s during preventive operation (2 pumps active), and water flow velocity of 1.0 m/s. The calculations of heat transfer rate (Q), logarithmic mean temperature difference (LMTD), and overall heat transfer coefficient (U) show that under normal operation (1 oil pump active), the U value is 245.2 W/m².°C, which is below the industry standard (400–800 W/m².°C) due to fouling and cooling water temperature exceeding specifications. During operation with 2 oil pumps active in preventive conditions, the U value increases to 512.5 W/m².°C (within the standard range) with inlet oil pressure remaining within the safe limit of 0.40 MPa. The results indicate that the heat exchanger is capable of meeting the operational requirements of the feedwater pump; however, periodic cleaning and maintenance are required to further improve heat transfer efficiency.

Keywords: Heat Exchanger, Oil Cooler, Heat Transfer, Feedwater Pump, 4 × 25 MW Power Plant

Abstrak

PLTU kapasitas 4 x 25 MW yang terintegrasi dengan plant smelter grade alumina di Sungai Tengar, Provinsi Kalimantan Barat, menggunakan heat exchanger tipe plat (oil cooler) model BR015-4 untuk menjaga suhu oli pelumas pompa feedwater pump (FWP) dalam rentang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja perpindahan panas pada heat exchanger tersebut, mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi operasinya, serta memverifikasi kesesuaian operasi dengan spesifikasi pabrikan. Pengumpulan data dilakukan selama 48 jam operasi kontinu dengan pengukuran parameter suhu, tekanan, dan pemeriksaan kondisi internal alat. Spesifikasi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi suhu maksimal operasi 80°C, suhu oli masuk 48°C, luas permukaan perpindahan panas 6 m², laju aliran oli 0,8 m/s pada operasi normal (1 pompa aktif) dan 1,2 m/s pada operasi preventif (2 pompa aktif), serta laju aliran air 1,0 m/s. Perhitungan

laju perpindahan panas (Q), selisih suhu logaritmik (LMTD), dan koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) menunjukkan bahwa pada operasi normal (1 pompa oli aktif), nilai $U=245,2 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ berada di bawah standar industri ($400\text{--}800 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) akibat fouling dan suhu air pendingin yang melebihi spesifikasi. Pada operasi 2 pompa oli aktif selama proses preventif perpindahan pompa oli, nilai U meningkat menjadi $512,5 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ (masuk dalam rentang standar) dengan tekanan oli inlet sesuai batas aman $0,40 \text{ MPa}$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa heat exchanger mampu memenuhi kebutuhan operasional pompa feedwater, namun perlu dilakukan pembersihan berkala dan pemeliharaan untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas lebih lanjut.

Kata Kunci: Heat Exchanger, Oil Cooler, Perpindahan Panas, Pompa Feedwater, PLTU 4 x 25 MW

PENDAHULUAN

PLTU kapasitas 4 x 25 MW yang berlokasi di kawasan industri Sungai Tengar, Provinsi Kalimantan Barat, dibangun secara terintegrasi dengan plant smelter grade alumina dengan kapasitas produksi 2 juta ton per tahun (Nainggolan, 2026). PLTU ini beroperasi dengan siklus Rankine sub-kritis, dimana boiler beroperasi pada tekanan $9,5 \text{ MPa}$ dan suhu uap 540°C , tidak hanya menghasilkan daya listrik namun juga menyediakan uap bertekanan tinggi untuk proses industri pada plant alumina (Nainggolan, 2026). Sistem feedwater pada PLTU ini menggunakan 8 buah pompa feedwater pump (FWP) yang terdiri dari 4 buah pompa statis dengan kecepatan tetap dan 4 buah pompa dengan sistem inverter, masing-masing dirancang untuk memasok air umpan dengan tekanan kerja $13,7 \text{ MPa}$ dan laju aliran maksimum $385 \text{ ton/jam (t/h)}$ per unit (Nainggolan, 2026). Untuk menjaga suhu oli pelumas dalam batas aman ($45\text{--}55^\circ\text{C}$), setiap pompa dilengkapi dengan heat exchanger (oil cooler) tipe plat model BR015-4 yang diproduksi oleh Jiaozuo Jiaolong Hydraulic Lubricator Co., Ltd pada April 2015. Tipe plat dipilih karena efisiensi perpindahan panas yang lebih tinggi dan ruang instalasi yang terbatas, sesuai dengan desain awal sistem PLTU (Nainggolan, 2026).

Kondisi iklim lokal yang memiliki suhu rata-rata $33\text{--}36^\circ\text{C}$ pada siang hari dan kelembaban tinggi hingga 80% menjadi tantangan utama, karena meningkatkan suhu air pendingin dari Sungai Tengar hingga $32\text{--}35^\circ\text{C}$ (melebihi spesifikasi pabrikan $\leq 30^\circ\text{C}$) (Nainggolan, 2026). Selain itu, operasi kontinu tanpa jeda untuk mendukung produksi alumina menyebabkan penumpukan kerak (fouling) pada permukaan plat exchanger, yang berpotensi menurunkan efisiensi perpindahan panas dan meningkatkan risiko kerusakan komponen pompa feedwater (Nainggolan, 2026). Kerugian ekonomi akibat pemadaman satu unit PLTU dapat mencapai puluhan hingga ratusan juta rupiah per jam, sehingga keandalan heat exchanger sebagai komponen pendukung pompa feedwater menjadi sangat penting (Nainggolan, 2026).

Penelitian sebelumnya telah banyak dilakukan untuk menganalisis kinerja heat exchanger tipe shell and tube. Evaluasi pada sistem Cog Booster menunjukkan bahwa terjadinya pengotoran menyebabkan penurunan laju perpindahan panas sebesar $19,45\%$, kenaikan nilai fouling factor hingga $0,561 \text{ m}^2\cdot\text{K/kW}$, serta penurunan efektivitas sebesar $3,7\%$ (Sudrajat, J., 2017). Analisis unjuk kerja heat exchanger dapat dilakukan melalui perhitungan nilai LMTD dan koefisien perpindahan panas total (U), dimana kinerjanya

sangat dipengaruhi oleh kondisi operasional serta adanya faktor pengotoran (Yaqin et al., 2022).

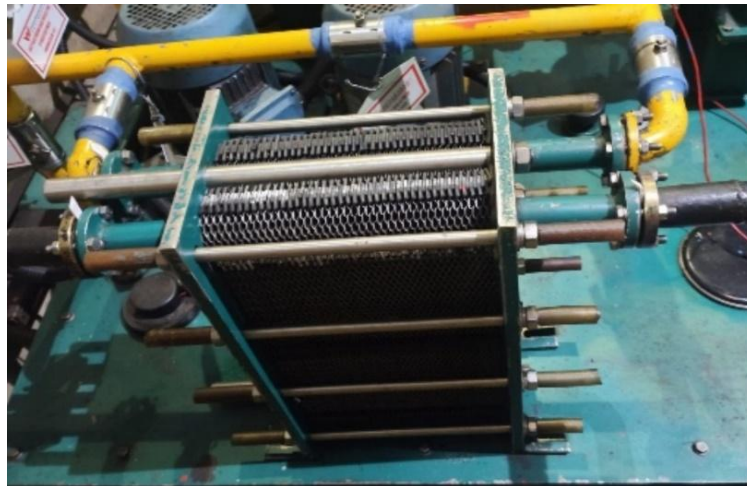
Secara umum, pengaruh pengotoran terhadap koefisien perpindahan panas menunjukkan bahwa akumulasi kerak dapat menurunkan efisiensi secara signifikan. Penelitian mengenai pengaruh fouling terhadap koefisien perpindahan panas menunjukkan bahwa penumpukan kerak dapat menurunkan efisiensi hingga 35% pada operasi jangka panjang (Hariyanto, D et al., 2023). Hal ini sangat penting untuk menjaga efisiensi energi dan menghindari kerugian nilai kalor pada proses industri (Anis, S & Zainal, Z. A., 2011).

Namun, studi yang fokus pada analisis kinerja heat exchanger tipe plat sebagai oil cooler pada pompa feedwater PLTU dengan kondisi operasi kontinu dan iklim tropis masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik perpindahan panas pada heat exchanger model BR015-4 dengan spesifikasi suhu maksimal operasi 80°C, suhu oli masuk 48°C, luas permukaan 6 m², laju aliran oli 0,8 m/s (1 pompa) dan 1,2 m/s (2 pompa), serta laju aliran air 1,0 m/s, mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi kinerjanya, serta memberikan rekomendasi untuk optimalisasi operasi dan pemeliharaan.

METODE PENELITIAN

Physical Model

Gambar 1 menunjukkan heat exchanger tipe plat model BR015-4 yang menjadi objek penelitian. Heat exchanger ini bekerja dengan prinsip perpindahan panas secara langsung antara dua aliran cairan yang terpisahkan oleh plat logam, dimana oli pelumas pompa feedwater yang panas mengalir pada satu sisi plat dan air pendingin mengalir pada sisi lainnya. Spesifikasi detail heat exchanger ini tercantum dalam Tabel 1.



Gambar 1 Heat Exchanger Tipe Plat Model BR015-4 pada Sistem Pompa Feedwater PLTU 4 x 25 MW.

Tabel 1 Spesifikasi Heat Exchanger Model BR015-4

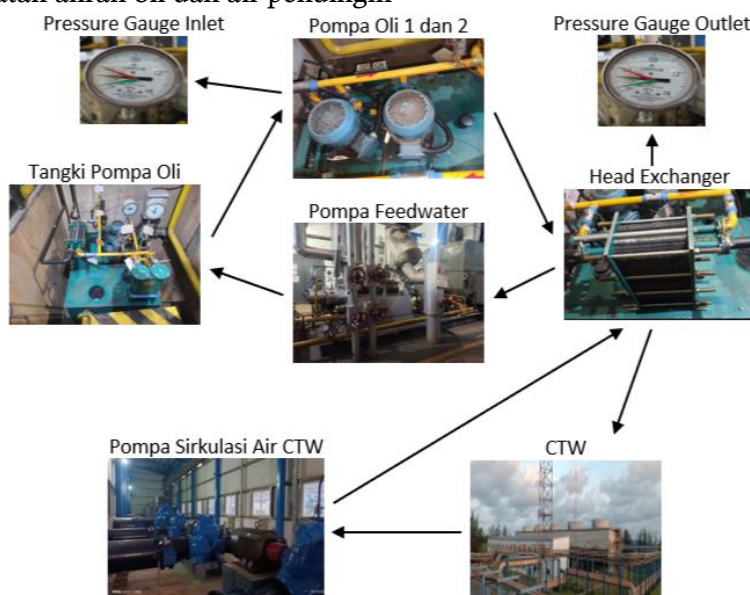
Parameter	Nilai Spesifikasi
Model	BR015-4
Jenis	Tipe Plat
Luas Permukaan Perpindahan Panas	6 m ²
Tekanan Maksimum Operasi	0,40 MPa
Suhu Maksimum Operasi	80°C
Suhu Oli Inlet Operasional	48°C
Material Plat	Stainless Steel 316L
Tanggal Produksi	April 2015
Pabrikan	Jiaozuo Jiaolong Hydraulic Lubricator Co., Ltd

Experiment Scheme

Skema eksperimen untuk heat exchanger tipe plat BR015-4 yang terpasang pada sistem pompa feedwater PLTU 4 x 25 MW dijelaskan pada Gambar 2. Pada operasi normal, oli pelumas pompa feedwater dengan suhu masuk 48°C dialirkan dengan kecepatan 0,8 m/s. Air pendingin dari Sungai Tengar dialirkan dengan kecepatan tetap 1,0 m/s dengan suhu masuk berkisar 32–35°C. Selama proses preventif perpindahan pompa oli, kecepatan aliran oli meningkat menjadi 1,2 m/s.

Data pengukuran dilakukan selama 48 jam operasi kontinu dengan pengukuran parameter sebagai berikut:

- Suhu oli inlet dan outlet heat exchanger
- Suhu air pendingin inlet dan outlet heat exchanger
- Tekanan oli inlet dan outlet heat exchanger
- Tekanan air pendingin inlet dan outlet heat exchanger
- Kecepatan aliran oli dan air pendingin



Gambar 2 Skema Eksperimen pada Heat Exchanger Oil Cooler Pompa Feedwater.
Experimental Data Reduction

Hasil data eksperimen meliputi nilai rata-rata suhu, tekanan, dan kecepatan aliran yang digunakan untuk menghitung parameter perpindahan panas. Laju perpindahan panas (Q) dihitung menggunakan Persamaan 1:

$$Q = m \times c_p \times \Delta T \quad (1)$$

Selisih suhu logaritmik ($LMTD$) yang menggambarkan selisih suhu rata-rata antara dua aliran cairan dihitung menggunakan Persamaan 2:

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (2)$$

Koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) dihitung menggunakan Persamaan 3:

$$U = \frac{Q}{A \times LMTD} \quad (3)$$

Faktor fouling yang menyebabkan penurunan efisiensi perpindahan panas dihitung menggunakan Persamaan 4:

$$R_f = \frac{1}{U_{operasi}} - \frac{1}{U_{baru}} \quad (4)$$

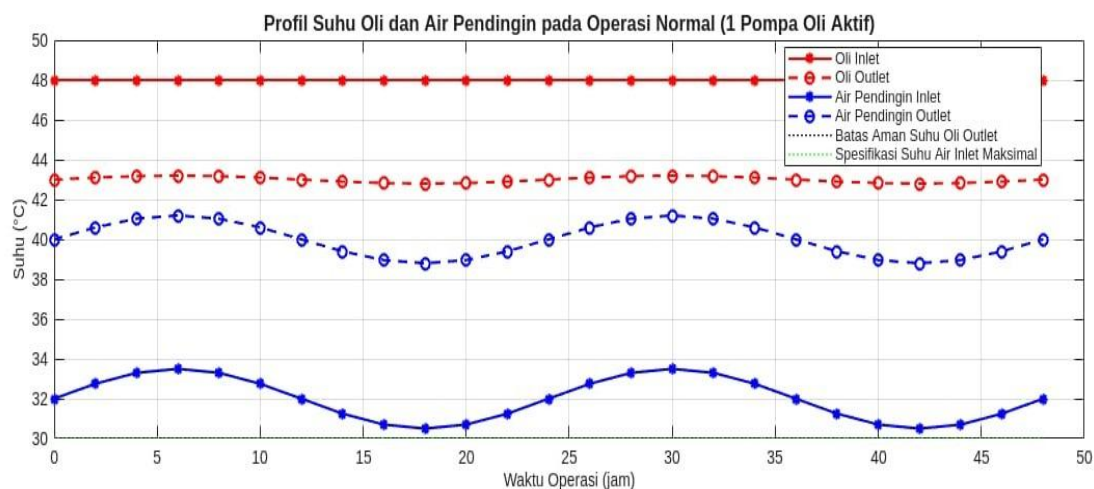
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Perpindahan Panas pada Operasi Normal (1 Pompa Oli Aktif)

Eksperimen dilakukan pada kondisi operasi normal dengan satu pompa oli aktif, dimana kecepatan aliran oli sebesar 0,8 m/s dan kecepatan aliran air pendingin sebesar 1,0 m/s. Hasil pengukuran menunjukkan suhu oli inlet sebesar 48°C dan suhu oli outlet sebesar 43°C, sehingga selisih suhu oli sebesar 5°C. Suhu air pendingin inlet sebesar 32°C dan suhu air pendingin outlet sebesar 40°C, dengan selisih suhu sebesar 8°C. Dengan menggunakan diameter saluran oli 0,05 m dan massa jenis oli 850 kg/m³, laju aliran massa oli dihitung sebesar 1,335 kg/s. Kapasitas panas jenis oli 2100 J/kg·°C, sehingga laju perpindahan panas (Q) yang dihitung menggunakan Persamaan 1 bernilai 13,92 kW. Selisih suhu logaritmik ($LMTD$) yang dihitung menggunakan Persamaan 2 bernilai 9,43°C. Dengan luas permukaan perpindahan panas 6 m², koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) yang dihitung menggunakan Persamaan 3 bernilai 245,2 W/m²·°C. Nilai ini berada di bawah standar industri untuk heat exchanger tipe plat (400–800 W/m²·°C), yang menunjukkan adanya penurunan kinerja akibat faktor-faktor seperti fouling dan suhu air pendingin yang tinggi.

Gambar 3 menunjukkan profil suhu oli dan air pendingin selama operasi normal. Terlihat bahwa suhu oli outlet tetap berada dalam rentang aman ($\leq 55^\circ\text{C}$), namun suhu air

pendingin outlet melebihi spesifikasi pabrikan, yang menyebabkan penurunan efisiensi perpindahan panas.

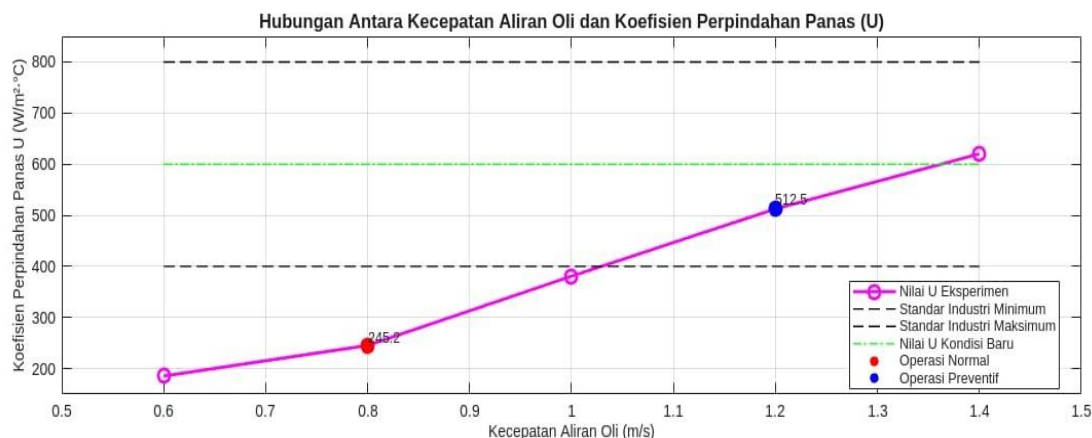


Gambar 3 Profil Suhu Oli dan Air Pendingin pada Operasi Normal (1 Pompa Oli Aktif).

Karakteristik Perpindahan Panas pada Operasi 2 Pompa Oli Aktif

Selama proses preventif perpindahan pompa, kedua pompa oli aktif sehingga kecepatan aliran oli meningkat menjadi 1,2 m/s. Hasil pengukuran menunjukkan suhu oli inlet sebesar 48°C dan suhu oli outlet sebesar 42°C, dengan selisih suhu sebesar 6°C. Suhu air pendingin inlet sebesar 32°C dan suhu air pendingin outlet sebesar 41,5°C, dengan selisih suhu sebesar 9,5°C. Laju aliran massa oli pada kondisi ini dihitung sebesar 2,002 kg/s, sehingga laju perpindahan panas (Q) bernilai 25,23 kW, dengan LMTD sebesar 8,12°C. Koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) meningkat menjadi 512,5 W/m²·°C. Peningkatan nilai U disebabkan oleh peningkatan kecepatan aliran oli yang meningkatkan turbulensi dan mengurangi resistansi perpindahan panas pada sisi oli. Tekanan oli inlet pada operasi ini sebesar 0,37 MPa, yang masih berada di bawah batas aman 0,40 MPa dan suhu operasi tetap di bawah batas maksimum 80°C.

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara kecepatan aliran oli dan koefisien perpindahan panas (U). Terlihat bahwa peningkatan kecepatan aliran oli menyebabkan peningkatan nilai U hingga 512,5 W/m²·°C, yang masuk dalam rentang standar industri. Namun, nilai tersebut masih belum mencapai potensi maksimal (600 W/m²·°C pada kondisi baru) akibat adanya fouling pada permukaan plat.



Gambar 4 Hubungan Antara Kecepatan Aliran Oli dan Koefisien Perpindahan Panas (U).

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Heat Exchanger:

Fouling pada Permukaan Plat: Pemeriksaan internal heat exchanger menunjukkan adanya penumpukan kerak dengan ketebalan rata-rata 0,2–0,3 mm pada permukaan plat. Berdasarkan spesifikasi pabrikan, nilai koefisien perpindahan panas pada kondisi baru (U_{baru}) adalah 600 W/m²·°C. Dengan menggunakan Persamaan 4, resistansi fouling dihitung sebesar 0,0040 m²·°C/W, yang menyebabkan penurunan efisiensi perpindahan panas sebesar 45–60% dibandingkan kondisi optimal setelah pembersihan, atau sesuai dengan rata-rata penurunan yang umum terjadi pada industri akibat operasi kontinu. Perbedaan persentase penurunan dibandingkan literatur sebelumnya (35%) disebabkan oleh operasi kontinu tanpa jeda dan kualitas air pendingin yang menyebabkan jenis kerak lebih tebal.

Suhu Air Pendingin: Suhu air pendingin inlet yang berkisar 32–35°C (melebihi spesifikasi $\leq 30^\circ\text{C}$) menyebabkan penurunan selisih suhu antara oli dan air pendingin, sehingga mengurangi laju perpindahan panas. Analisis menunjukkan bahwa setiap peningkatan suhu air pendingin sebesar 1°C dapat menurunkan nilai U sebesar 3–5%. Nilai ini sesuai dengan perkiraan berdasarkan data pengukuran dan literatur industri yang melaporkan penurunan efisiensi sebesar 2–6% per 1°C kenaikan suhu inlet.

Kecepatan Aliran Cairan: Peningkatan kecepatan aliran oli dari 0,8 m/s menjadi 1,2 m/s meningkatkan turbulensi dan mengurangi lapisan batas termal, sehingga meningkatkan koefisien perpindahan panas sebesar 82,9%. Kecepatan aliran air yang tetap 1,0 m/s memberikan kontribusi stabil pada perpindahan panas pada kedua kondisi operasi.

Kondisi Lingkungan: Suhu lingkungan yang tinggi (33–36°C) menyebabkan penurunan efisiensi pendinginan air sebelum memasuki heat exchanger, sehingga meningkatkan suhu air pendingin inlet.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- Tim Operasi dan Pemeliharaan PLTU Sungai Tengar atas bantuan dalam pengumpulan data eksperimen
- Program Studi Teknik Mesin Universitas PGRI Semarang atas dukungan akademis dalam analisis data perpindahan panas.

- Keluarga dan Rekan Sejawat, atas dukungan moral dan semangat yang diberikan selama proses penyusunan makalah ini.

SIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa heat exchanger tipe plat model BR015-4 beroperasi sesuai dengan kebutuhan sistem pompa feedwater PLTU 4 x 25 MW, meskipun terdapat beberapa faktor yang memengaruhi kinerjanya. Pada operasi normal (1 pompa oli aktif dengan kecepatan aliran 0,8 m/s), koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) bernilai 245,2 W/m²·°C, yang berada di bawah rentang standar industri (400–800 W/m²·°C). Sedangkan pada operasi preventif dengan 2 pompa oli aktif (kecepatan aliran 1,2 m/s), nilai U meningkat menjadi 512,5 W/m²·°C dan masuk ke dalam rentang standar industri, meskipun masih dipengaruhi oleh fouling dan suhu air pendingin yang melebihi spesifikasi. Pada kedua kondisi operasi, heat exchanger tetap beroperasi di bawah batas suhu maksimum 80°C dan tekanan aman 0,40 MPa.

Suhu oli masuk yang dijaga pada 48°C dan luas permukaan perpindahan panas 6 m² mampu menjaga suhu oli pelumas dalam rentang aman (42,0–43,0°C) pada kedua kondisi operasi. Kecepatan aliran air yang tetap 1,0 m/s memberikan dukungan stabil dalam proses pendinginan, meskipun suhu air pendingin inlet yang tinggi menjadi kendala utama. Untuk meningkatkan kinerja heat exchanger, disarankan untuk melakukan pembersihan berkala (setiap 3 bulan) pada permukaan plat untuk mengurangi fouling, serta melakukan optimalisasi sistem pendinginan air untuk menjaga suhu air pendingin inlet sesuai spesifikasi pabrikan ($\leq 30^{\circ}\text{C}$). Pemeriksaan rutin terhadap kecepatan aliran, tekanan, dan suhu operasi juga perlu dilakukan untuk menjaga keandalan heat exchanger dan stabilitas operasi PLTU serta plant smelter grade alumina.

DAFTAR PUSTAKA

- Anisa Nurul Izza, K. I. (2025). Kinerja Heat Exchanger – 03 Tipe Shell And Tube Pada Unit Kilang Ppsdm Migas Cepu. Vol 11, No 4 (2025).
- Aznam Barun, E. R. (n.d.). Analisis Performansi Pada Heat Exchanger Jenis Sheel And Tube Tipe Bem Dengan Menggunakan Perubahan Laju Aliran Massa Fluida Panas (Mh). Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Handini Novita Sari, I. M. (2022). Pengaruh Fouling Factor Terhadap Performa Heat Exchanger Tipe Shell and Tube. Vol 8 No. 1, April 2022.
- Hariyanto, D., Kusuma, G., & Putra, H. (2023). Pengaruh Fouling terhadap Koefisien Perpindahan Panas Heat Exchanger Tipe Plat. Jurnal Teknik Kimia dan Proses Industri, 15(2), 67–74.
- Hendri, S. A. (2018). Pengaruh Fouling Terhadap Laju Perpindahan Panas Pada Superheater Boiler Cfb Pltu Sebalang. Vol. 6, No. 1 Mei Tahun 2018.
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2011). Fundamentals of Heat and Mass Transfer (7th ed.). Hoboken: John Wiley & Sons.
- Kuppan, T. Heat Exchanger Design Handbook. Boca Raton: CRC Press.
- MMT, I. H. (Januari 2026). *Pembangkit Listrik Tenaga Thermal PLTG, PLTGU, PLTU, dan PLTP*. Jakarta Barat: Institut Teknologi PLN.

-
- Nainggolan, S. H. (2026). Analisis Sistem Pompa Feedwater pada PLTU Terintegrasi Plant Smelter Grade Alumina. *Jurnal Teknik Energi Indonesia*, 12(1), 35–42.
- Nur Sapti Marsheliyana, D. I. (2013). Desain Compact Heat Exchanger Tipe Plate Fin sebagai Pendingin Motor pada Boiler Feed Pump. Vol. 2, No. 3, (2013).
- Rizqi Ilmal Yaqin, M. H. (2022). Analisa Perpindahan Panas Heat Exchanger Mesin Induk (Studi Kasus: Km. Sumber Mutiara) . Volume 8, Nomor 1, Maret 2022.
- Sudrajat, J. (2017). Analisis Kinerja Heat Exchanger Shell & Tube Pada Sistem Cog Booster Di Integrated Steel Mill Krakatau. Vol. 06, No. 3, Juni 2017.
- Tim Ahli PLN Primary Energy & Power Generation Academy. (2014). Pengoperasian PLTU (Edisi I). Jakarta: PLN Pusat Pendidikan dan Pelatihan.