

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

Sardo Hita Nainggolan^{1*}, Muhamad Safi'i², Althesa Androva³, and Yafid Effendi⁴

^{1*}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Persatuan Guru
Republik Indonesia Semarang, Semarang 50232
E-mail: ^{1*}sardohitani1990@gmail.com

^{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: ²muhamadsafii@upgris.ac.id, ³althesanandrova@upgris.ac.id, ⁴yafideffendi@yahoo.com

Submitted Date: Mei 17, 2026

Reviewed Date: Mei 23, 2026

Revised Date: Mei 26, 2026

Accepted Date: Mei 30, 2026

Abstract

The 4 × 25 MW coal-fired power plant located in Sungai Tengar, West Kalimantan, operates in conjunction with a smelter-grade alumina facility and employs a BR015-4 plate-type heat exchanger as an oil cooler for the feedwater pump lubrication system. The primary function of this equipment is to maintain lubricating oil temperature within the recommended operating range. This research was conducted to evaluate the thermal performance of the heat exchanger, determine the factors influencing its effectiveness, and assess its operational conformity with manufacturer specifications. Operational data were obtained through 48 hours of continuous monitoring, including measurements of temperature and pressure as well as inspection of the internal condition of the equipment. The investigated operating parameters consisted of a maximum allowable temperature of 80°C, oil inlet temperature of 48°C, heat transfer area of 6 m², oil flow velocities of 0.8 m/s during normal operation and 1.2 m/s during preventive operation with two pumps running, and a cooling water velocity of 1.0 m/s. The analysis of heat transfer rate (Q), logarithmic mean temperature difference (LMTD), and overall heat transfer coefficient (U) revealed that under normal operating conditions, the U value reached 245.2 W/m²·°C, which is below the recommended industrial range of 400–800 W/m²·°C. This reduction was primarily caused by fouling deposits and cooling water temperatures exceeding the design specification. During preventive operation with two oil pumps active, the U value increased to 512.5 W/m²·°C while maintaining an inlet oil pressure below the safety limit of 0.40 MPa. The findings indicate that the heat exchanger remains capable of supporting feedwater pump operation effectively; however, routine cleaning and maintenance programs are necessary to improve long-term heat transfer performance.

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

Abstrak

PLTU berkapasitas 4 × 25 MW yang terintegrasi dengan fasilitas smelter grade alumina di Sungai Tengar, Kalimantan Barat, menggunakan *heat exchanger* tipe pelat model BR015-4 sebagai *oil cooler* pada sistem pelumasan *feedwater pump* (FWP). Peralatan ini berfungsi menjaga temperatur oli pelumas agar tetap berada pada rentang operasi yang aman dan optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa perpindahan panas *heat exchanger*, mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi operasinya, serta menilai kesesuaian kondisi aktual terhadap spesifikasi pabrikan. Data penelitian diperoleh melalui pengamatan selama 48 jam operasi berkelanjutan yang meliputi pengukuran temperatur, tekanan, dan inspeksi kondisi internal alat. Parameter operasi yang digunakan mencakup temperatur maksimum 80°C, temperatur oli masuk 48°C, luas permukaan perpindahan panas 6 m², kecepatan aliran oli sebesar 0,8 m/s pada kondisi normal dan 1,2 m/s saat dua pompa beroperasi, serta kecepatan aliran air pendingin sebesar 1,0 m/s. Hasil perhitungan laju perpindahan panas (Q), beda temperatur rata-rata logaritmik (LMTD), dan koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) menunjukkan bahwa pada operasi normal nilai U mencapai 245,2 W/m²·°C, lebih rendah dibandingkan standar industri sebesar 400–800 W/m²·°C. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh adanya fouling pada permukaan pelat serta temperatur air pendingin yang melebihi spesifikasi desain. Pada saat dua pompa oli dioperasikan secara bersamaan untuk kebutuhan preventif, nilai U meningkat menjadi 512,5 W/m²·°C dan telah berada dalam rentang standar yang direkomendasikan, dengan tekanan oli masuk tetap berada di bawah batas aman sebesar 0,40 MPa. Hasil penelitian menunjukkan

bahwa *heat exchanger* masih mampu memenuhi kebutuhan operasi *feedwater pump*, namun peningkatan efisiensi perpindahan panas memerlukan kegiatan pembersihan dan pemeliharaan secara berkala.

Kata kunci: *Heat Exchanger, Oil Cooler, Perpindahan Panas, Feedwater Pump, PLTU 4 × 25 MW*

I. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berkapasitas 4×25 MW yang terintegrasi dengan fasilitas smelter grade alumina berkapasitas 2 juta ton per tahun di Sungai Tengar, Kalimantan Barat, memiliki peran penting dalam penyediaan energi listrik dan uap proses bagi kegiatan industri. Sistem pembangkit menggunakan siklus Rankine subkritis dengan tekanan operasi boiler sekitar 9,5 MPa dan temperatur uap mencapai 540°C. Pada sistem tersebut, *feedwater pump* memiliki peran penting dalam mensirkulasikan air umpan menuju boiler guna menjaga kontinuitas proses pembangkitan listrik (Julianto et al., 2021).

Sistem air umpan pada PLTU tersebut didukung oleh delapan unit *feedwater pump* (FWP), yang terdiri atas empat pompa berkecepatan tetap dan empat pompa yang dikendalikan menggunakan inverter. Setiap unit dirancang untuk mengalirkan air umpan pada tekanan kerja 13,7 MPa dengan kapasitas maksimum mencapai 385 ton/jam. Untuk mempertahankan temperatur oli pelumas pada kisaran aman 45–55°C, masing-masing pompa dilengkapi dengan *heat exchanger* tipe pelat model BR015-4 yang diproduksi oleh Jiaozuo Jiaolong Hydraulic Lubricator Co., Ltd pada tahun 2015. Penggunaan *heat exchanger* tipe pelat dipilih karena memiliki efektivitas perpindahan panas yang tinggi serta kebutuhan ruang pemasangan yang relatif kecil dibandingkan tipe lainnya.

Kondisi lingkungan di lokasi penelitian memberikan tantangan tersendiri terhadap performa sistem pendinginan. Temperatur udara harian yang berkisar antara 33–36°C dengan tingkat kelembapan

mencapai 80% menyebabkan temperatur air pendingin dari Sungai Tengar meningkat hingga 32–35°C. Nilai tersebut melampaui batas temperatur yang direkomendasikan pabrikan, yaitu maksimum 30°C. Selain itu, pola operasi pembangkit yang berlangsung secara terus-menerus untuk memenuhi kebutuhan produksi alumina berpotensi mempercepat terbentuknya fouling pada permukaan pelat *heat exchanger*. Akumulasi kerak tersebut dapat meningkatkan tahanan termal, mengurangi laju perpindahan panas, dan pada akhirnya memperbesar risiko gangguan pada sistem *feedwater pump*.

Berbagai penelitian terdahulu telah membahas performa *heat exchanger* pada berbagai sektor industri. Sudrajat (2017) melaporkan bahwa fouling pada *heat exchanger* sistem Cog Booster menyebabkan penurunan laju perpindahan panas sebesar 19,45%, peningkatan fouling factor hingga $0,561 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{kW}$, dan penurunan efektivitas sebesar 3,7%. Sementara itu, Yaqin et al. (2022) menjelaskan bahwa evaluasi kinerja *heat exchanger* dapat dilakukan melalui analisis nilai LMTD dan koefisien perpindahan panas menyeluruh (U), yang dipengaruhi oleh kondisi operasi dan tingkat pengotoran permukaan.

Penelitian lain menunjukkan bahwa penumpukan fouling dapat mengurangi efisiensi perpindahan panas secara signifikan. Hariyanto et al. (2023) melaporkan bahwa fouling pada *heat exchanger* tipe pelat menyebabkan penurunan koefisien perpindahan panas dan efisiensi perpindahan energi akibat meningkatnya tahanan termal pada

permukaan perpindahan panas. Selain itu, Izza et al. (2025) menunjukkan bahwa evaluasi parameter perpindahan panas seperti efektivitas dan koefisien perpindahan panas sangat penting untuk menilai kinerja *heat exchanger* selama operasi industri.

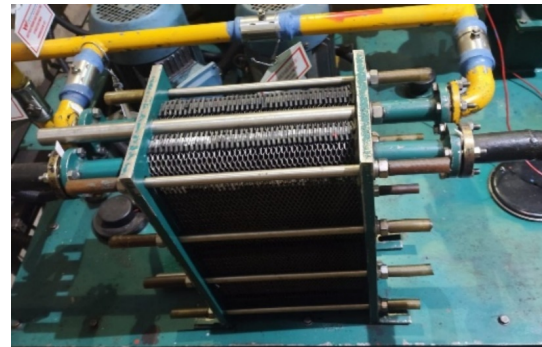
Meskipun berbagai penelitian mengenai *heat exchanger* telah banyak dilakukan, kajian yang secara khusus membahas kinerja *heat exchanger* tipe pelat sebagai *oil cooler* pada *feedwater pump* PLTU yang beroperasi secara kontinu di lingkungan tropis masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada analisis karakteristik perpindahan panas *heat exchanger* BR015-4 dengan kondisi operasi meliputi temperatur maksimum 80°C, temperatur oli masuk 48°C, luas perpindahan panas 6 m², kecepatan aliran oli 0,8 m/s dan 1,2 m/s, serta kecepatan aliran air pendingin 1,0 m/s. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi performa alat dan menyusun rekomendasi untuk meningkatkan efektivitas operasi serta program pemeliharaan.

II. Metode Penelitian

A. Physical Model

Penelitian ini menggunakan *heat exchanger* tipe pelat model BR015-4 sebagai objek utama kajian. Peralatan tersebut berfungsi sebagai *oil cooler* pada sistem pelumasan *feedwater pump* (FWP) di PLTU Sungai Tengah berkapasitas 4 × 25 MW. Mekanisme kerja *heat exchanger* didasarkan pada proses perpindahan panas antara dua fluida yang dipisahkan oleh pelat logam. Oli pelumas yang memiliki temperatur lebih tinggi mengalir pada salah satu sisi pelat, sedangkan air pendingin mengalir pada sisi yang berlawanan. Perbedaan temperatur antara kedua fluida tersebut menyebabkan terjadinya transfer

energi panas dari oli menuju air pendingin sehingga temperatur oli dapat dipertahankan dalam batas operasi yang diizinkan.



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

Karakteristik teknis *heat exchanger* yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1. Data spesifikasi tersebut digunakan sebagai acuan dalam analisis kinerja perpindahan panas dan evaluasi kesesuaian kondisi operasi aktual terhadap spesifikasi pabrikan.

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

Berdasarkan spesifikasi tersebut, *heat exchanger* dirancang untuk beroperasi pada temperatur maksimum 80°C dengan tekanan kerja hingga 0,40 MPa. Material pelat yang menggunakan Stainless Steel 316L dipilih karena memiliki ketahanan korosi yang baik terhadap fluida operasi serta mampu mendukung proses perpindahan panas

secara efektif selama pengoperasian pembangkit berlangsung.

B. Experiment Scheme

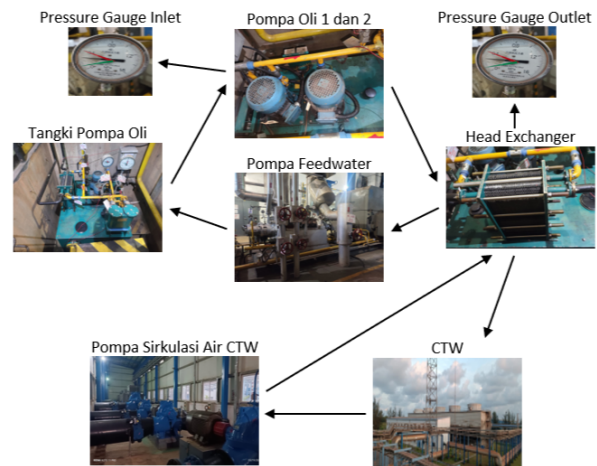
Rancangan pengujian pada *heat exchanger* tipe pelat model BR015-4 yang digunakan sebagai *oil cooler* pada sistem *feedwater pump* PLTU 4 × 25 MW ditunjukkan pada Gambar 2. Pengambilan data dilakukan secara langsung pada unit yang beroperasi dalam kondisi aktual untuk memperoleh gambaran performa perpindahan panas selama proses pembangkitan berlangsung.

Pada kondisi operasi normal, oli pelumas memasuki *heat exchanger* dengan temperatur 48°C dan kecepatan aliran sebesar 0,8 m/s. Sementara itu, air pendingin yang berasal dari Sungai Tengar dialirkan dengan kecepatan konstan 1,0 m/s dan memiliki temperatur masuk pada rentang 32–35°C. Ketika dilakukan kegiatan preventif berupa perpindahan operasi pompa oli, dua pompa dijalankan secara bersamaan sehingga kecepatan aliran oli meningkat hingga mencapai 1,2 m/s.

Proses pengambilan data dilaksanakan selama 48 jam secara berkesinambungan guna memperoleh kondisi operasi yang representatif. Parameter yang diamati selama pengujian meliputi:

- Temperatur oli pada sisi masuk (inlet) dan keluar (outlet) *heat exchanger*.
- Temperatur air pendingin pada sisi inlet dan outlet *heat exchanger*.
- Tekanan oli pada sisi inlet dan outlet.
- Tekanan air pendingin pada sisi inlet dan outlet.
- Kecepatan aliran oli serta kecepatan aliran air pendingin.

Data hasil pengukuran tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan laju perpindahan panas, selisih temperatur rata-rata logaritmik (LMTD), dan koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) untuk mengevaluasi kinerja *heat exchanger* selama operasi.



Gambar 2. Skema Eksperimen pada *Heat Exchanger Oil Cooler Pompa Feedwater*.

C. Experimental Data Reduction

Data hasil pengujian yang diperoleh selama penelitian berupa nilai rata-rata temperatur, tekanan, dan kecepatan aliran fluida pada sisi oli maupun air pendingin. Data tersebut kemudian diolah untuk menentukan parameter-parameter yang menggambarkan performa perpindahan panas *heat exchanger*.

Laju perpindahan panas (Q) dihitung berdasarkan perubahan temperatur fluida, laju aliran massa, serta kalor jenis fluida yang digunakan. Perhitungan ini mengacu pada Persamaan 1:

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

Untuk menentukan perbedaan temperatur efektif antara fluida panas dan fluida dingin sepanjang *heat exchanger*, digunakan metode Log Mean Temperature Difference (LMTD) yang dihitung menggunakan Persamaan 2:

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

Nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) digunakan untuk mengevaluasi kemampuan *heat exchanger* dalam mentransfer panas dari oli ke air pendingin. Perhitungan dilakukan menggunakan Persamaan 3:

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

Selain itu, pengaruh fouling terhadap kinerja *heat exchanger* dianalisis melalui perhitungan resistansi fouling R_f . Nilai ini menunjukkan besarnya hambatan perpindahan panas akibat terbentuknya lapisan kerak atau deposit pada permukaan pelat *heat exchanger*. Perhitungannya menggunakan Persamaan 4:

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

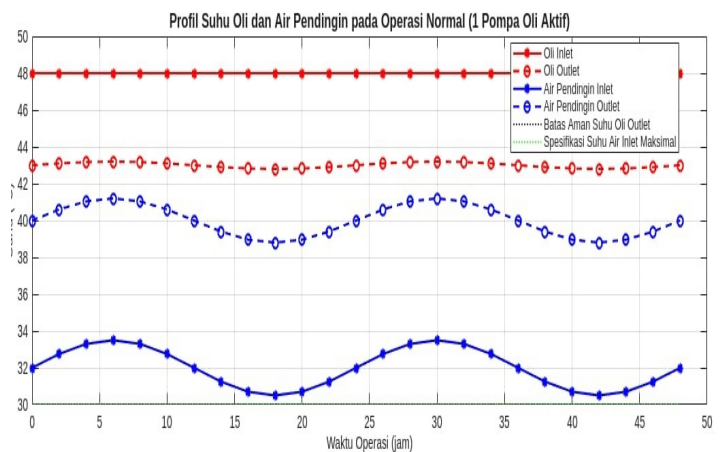
III. Hasil Dan Pembahasan

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

Pengujian dilakukan pada kondisi operasi normal dengan satu unit pompa oli yang beroperasi. Pada kondisi ini, kecepatan aliran oli tercatat sebesar 0,8 m/s, sedangkan kecepatan aliran air pendingin dipertahankan pada 1,0 m/s. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa temperatur oli mengalami penurunan dari 48°C pada sisi masuk menjadi 43°C pada sisi keluar, sehingga diperoleh selisih temperatur sebesar 5°C. Di sisi lain, temperatur air pendingin meningkat dari 32°C menjadi 40°C dengan selisih temperatur sebesar 8°C.

Berdasarkan diameter saluran oli sebesar 0,05 m dan massa jenis oli 850 kg/m³, diperoleh laju aliran massa oli sebesar 1,335 kg/s. Dengan menggunakan kapasitas panas jenis oli sebesar 2100 J/kg·°C, laju perpindahan panas (Q) yang dihitung menggunakan Persamaan (1) mencapai 13,92 kW. Selanjutnya, perhitungan menggunakan Persamaan (2) menghasilkan nilai beda temperatur rata-rata logaritmik (LMTD) sebesar 9,43°C. Dengan luas permukaan perpindahan panas sebesar 6 m², nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) yang diperoleh dari Persamaan (3) adalah 245,2 W/m²·°C.

Nilai tersebut masih berada di bawah kisaran standar *heat exchanger* tipe pelat, yaitu 400–800 W/m²·°C. Hal ini mengindikasikan bahwa performa perpindahan panas belum optimal, yang diduga dipengaruhi oleh adanya fouling pada permukaan pelat serta temperatur air pendingin yang relatif tinggi. Profil perubahan temperatur oli dan air pendingin selama pengujian ditunjukkan pada Gambar 3. Meskipun temperatur oli keluar masih berada dalam batas aman operasi ($\leq 55^\circ\text{C}$), temperatur air pendingin keluar telah melampaui nilai yang direkomendasikan pabrikan sehingga berpotensi menurunkan efisiensi perpindahan panas.



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

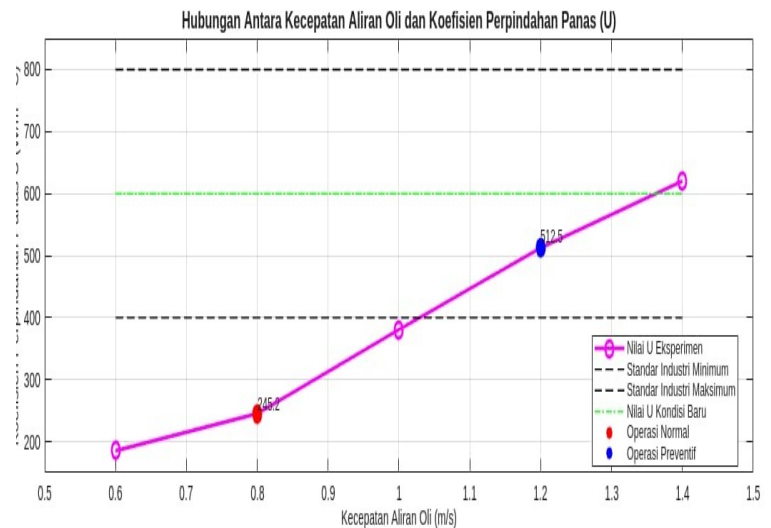
B. Karakteristik Perpindahan Panas pada Operasi 2 Pompa Oli Aktif

Pengujian berikutnya dilakukan pada kondisi dua pompa oli aktif yang digunakan selama proses perpindahan operasi secara preventif. Aktivasi kedua pompa menyebabkan kecepatan aliran oli meningkat menjadi 1,2 m/s. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa temperatur oli masuk tetap sebesar 48°C, sedangkan temperatur keluarnya turun hingga 42°C, sehingga diperoleh selisih temperatur sebesar 6°C. Pada sisi pendingin,

temperatur air meningkat dari 32°C menjadi 41,5°C dengan selisih temperatur sebesar 9,5°C.

Peningkatan kecepatan aliran oli menyebabkan laju aliran massa bertambah menjadi 2,002 kg/s. Berdasarkan perhitungan, laju perpindahan panas (Q) yang terjadi mencapai 25,23 kW dengan nilai LMTD sebesar 8,12°C. Nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) yang diperoleh sebesar 512,5 W/m²·°C. Kenaikan nilai U ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan aliran oli mampu memperbaiki proses perpindahan panas melalui peningkatan turbulensi aliran dan penurunan hambatan termal pada sisi oli.

Tekanan oli pada sisi masuk tercatat sebesar 0,37 MPa, yang masih berada di bawah batas operasi aman sebesar 0,40 MPa. Selain itu, temperatur operasi sistem juga masih berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan, yaitu 80°C. Hubungan antara kecepatan aliran oli dan nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh ditampilkan pada Gambar 4. Terlihat bahwa peningkatan kecepatan aliran oli memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan nilai U hingga mencapai 512,5 W/m²·°C, sehingga telah memenuhi rentang standar industri. Meskipun demikian, nilai tersebut masih lebih rendah dibandingkan kondisi *heat exchanger* baru yang memiliki nilai sekitar 600 W/m²·°C, yang menunjukkan bahwa pengaruh fouling pada permukaan pelat masih cukup signifikan.



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

C. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja *Heat Exchanger*:

Kinerja *heat exchanger* BR015-4 dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu fouling, temperatur air pendingin, kecepatan aliran fluida, dan kondisi lingkungan. Hasil inspeksi menunjukkan adanya lapisan kerak (fouling) dengan ketebalan sekitar 0,2–0,3 mm pada permukaan pelat. Berdasarkan nilai koefisien perpindahan panas pada kondisi baru sebesar 600 W/m²·°C, diperoleh nilai resistansi fouling sebesar 0,0040 m²·°C/W yang menyebabkan penurunan efisiensi perpindahan panas sekitar 45–60%. Kondisi ini menunjukkan bahwa fouling menjadi salah satu faktor dominan yang menghambat proses perpindahan panas.

Selain itu, temperatur air pendingin yang berada pada kisaran 32–35°C juga memengaruhi kinerja *heat exchanger* karena melebihi spesifikasi pabrikan yang mensyaratkan temperatur maksimum 30°C. Peningkatan temperatur air pendingin mengurangi perbedaan temperatur antara oli dan media pendingin sehingga laju perpindahan panas menjadi lebih rendah. Berdasarkan hasil analisis, setiap kenaikan

temperatur air pendingin sebesar 1°C dapat menurunkan nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) sekitar 3–5%.

Di sisi lain, kecepatan aliran fluida memberikan pengaruh positif terhadap performa *heat exchanger*. Peningkatan kecepatan aliran oli dari 0,8 m/s menjadi 1,2 m/s mampu meningkatkan nilai U sebesar 82,9% karena turbulensi aliran yang lebih tinggi dapat mengurangi hambatan perpindahan panas pada permukaan pelat. Sementara itu, kecepatan aliran air pendingin yang dijaga tetap sebesar 1,0 m/s memberikan kontribusi yang relatif stabil selama pengujian berlangsung.

Faktor lingkungan juga turut memengaruhi efektivitas sistem pendinginan. Temperatur udara di area PLTU yang berkisar antara 33–36°C menyebabkan temperatur air pendingin yang masuk ke *heat exchanger* menjadi lebih tinggi. Akibatnya, kemampuan air pendingin dalam menyerap panas dari oli berkurang sehingga kinerja perpindahan panas tidak dapat mencapai kondisi optimal. Oleh karena itu, kombinasi antara fouling, tingginya temperatur air pendingin, dan kondisi lingkungan tropis menjadi penyebab utama menurunnya performa *heat exchanger*, meskipun peningkatan kecepatan aliran oli terbukti mampu memperbaiki efisiensi perpindahan panas secara signifikan.

IV. Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada Tim Operasi dan Pemeliharaan PLTU Sungai Tengar atas dukungan dan bantuan yang diberikan selama proses pengumpulan data lapangan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas PGRI Semarang yang telah memberikan dukungan akademik dalam pelaksanaan analisis perpindahan panas dan penyusunan penelitian ini. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada keluarga serta rekan-rekan sejawat atas

motivasi, dukungan moral, dan semangat yang terus diberikan selama proses penelitian hingga penyelesaian naskah.

V. Simpulan Dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian, *heat exchanger* tipe pelat model BR015-4 pada sistem *feedwater pump* PLTU 4 × 25 MW masih mampu memenuhi kebutuhan pendinginan oli pelumas sesuai batas operasi yang ditetapkan. Pada kondisi operasi normal dengan satu pompa oli aktif, nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) sebesar 245,2 W/m²·°C masih berada di bawah standar industri akibat pengaruh fouling dan tingginya temperatur air pendingin. Sementara itu, pada kondisi dua pompa oli aktif dengan kecepatan aliran 1,2 m/s, nilai U meningkat menjadi 512,5 W/m²·°C dan telah memenuhi rentang standar industri. Selama pengujian, *heat exchanger* tetap beroperasi pada temperatur di bawah 80°C dan tekanan aman maksimum 0,40 MPa, serta mampu menjaga temperatur oli keluar pada kisaran 42–43°C.

Untuk meningkatkan kinerja perpindahan panas, disarankan dilakukan pembersihan permukaan pelat secara berkala guna mengurangi fouling serta optimalisasi sistem pendingin agar temperatur air masuk tetap sesuai spesifikasi pabrikan ($\leq 30^\circ\text{C}$). Selain itu, pemantauan rutin terhadap temperatur, tekanan, dan laju aliran perlu dilakukan untuk menjaga keandalan *heat exchanger* serta mendukung stabilitas operasi PLTU dan 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. *Jurnal Teknologi Separasi*, 11 (4), 790-798.

Aznam Barun, E. R. (2007). Analisis Performansi Pada Heat Exchanger Jenis Sheel And Tube Tipe Bem Dengan Menggunakan Perubahan Laju Aliran Massa Fluida Panas (Mh). Universitas Muhammadiyah Jakarta.

Eko Julianto, F. G. (2021). Performance Analysis Of Boiler Feed Water Pump Sulzer At Pltu At Pt Indonesia Chemical Alumina. *Sintek Jurnal*.

Handini Novita Sari, I. M. (2022). Pengaruh Fouling Factor Terhadap Performa Heat Exchanger Tipe Shell and Tube. *Jurnal Mekanova*, 8 (1).

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. *Jurnal Power Plant*, 6 (1).

Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2011). Fundamentals of Heat and Mass Transfer (7th ed.). Hoboken: John Wiley & Sons.

Kuppan, T. (2013). Heat Exchanger Design Handbook. Boca Raton: CRC Press.

MMT, I. H. (2026). *Pembangkit Listrik Tenaga Thermal PLTG, PLTGU, PLTU, dan PLTP*. Jakarta Barat: Institut Teknologi PLN.

Nur Sapti Marsheliyana, D. I. (2013). Desain Compact Heat Exchanger Tipe Plate Fin sebagai Pendingin Motor pada Boiler Feed Pump. *Jurnal Teknik Pomits*, 2 (3).

Rizqi Ilmal Yaqin, M. H. (2022). Analisa Perpindahan Panas Heat Exchanger Mesin Induk (Studi Kasus: Km. Sumber Mutiara) . *Jurnal Teknologi Terapan*, 8 (1).

Sudrajat, J. (2017). Analisis Kinerja Heat Exchanger Shell & Tube Pada Sistem Cog Booster Di Integrated Steel Mill Krakatau. *Jurnal Teknik Mesin*, 06 (3).

Tim Ahli PLN Primary Energy & Power Generation Academy. (2014).

Pengoperasian PLTU (Edisi I). Jakarta: PLN Pusat Pendidikan dan Pelatihan.