

Pengaruh Overhaul Terhadap Kinerja High Pressure Heater Unit 3 PLTU Banten Lontar

Eri Prabowo¹, Trassanda Scudetto Widestomo Putra², Fikry Ramadani³
Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Perusahaan Listrik Negara, Jakarta, Indonesia
Email: eriprabowo@itpln.ac.id, Trassanda2410505@ITPLN.AC.ID, fikriry@gmail.com

Abstract

This study analyzes the effect of overhaul on the performance of High Pressure Heater (HPH) 1, 2, and 3 in Unit 3 of PLTU Banten 3 Lontar at a constant load of 294 MW. The analysis used actual operational data before overhaul (July 2018) and after overhaul (December 2018). Heater performance was evaluated using terminal temperature difference (TTD), drain cooler approach (DCA), temperature rise (TR), logarithmic mean temperature difference (LMTD), capacity heat ratio (C), and thermal effectiveness. The results show that overhaul generally improved HPH performance. The strongest improvement occurred in HPH 1, where DCA decreased from 26.68°C to 4.38°C, LMTD decreased from 42.81°C to 20.62°C, and effectiveness increased from 0.72 to 0.95. HPH 2 showed the only TTD improvement, from 0.79°C to 0.66°C, while HPH 1 and HPH 3 experienced slightly higher TTD after overhaul. Even so, the consistent decline in DCA and the increase in effectiveness for all heaters indicate that tube cleaning, leakage testing, tube plugging, and gasket replacement restored heat transfer performance. Therefore, overhaul is an effective maintenance action to improve HPH thermal performance, with the most significant impact observed in HPH 1.

Keywords: high pressure heater; overhaul; performance; LMTD; effectiveness

Abstrak

Penelitian ini menganalisis pengaruh overhaul terhadap kinerja High Pressure Heater (HPH) 1, 2, dan 3 pada Unit 3 PLTU Banten 3 Lontar pada beban konstan 294 MW. Analisis dilakukan menggunakan data operasi aktual sebelum overhaul (Juli 2018) dan sesudah overhaul (Desember 2018). Kinerja heater dievaluasi berdasarkan parameter terminal temperature difference (TTD), drain cooler approach (DCA), temperature rise (TR), logarithmic mean temperature difference (LMTD), capacity heat ratio (C), dan thermal effectiveness. Hasil penelitian menunjukkan bahwa overhaul secara umum meningkatkan kinerja HPH. Peningkatan paling nyata terjadi pada HPH 1, dengan penurunan DCA dari 26,68°C menjadi 4,38°C, penurunan LMTD dari 42,81°C menjadi 20,62°C, dan kenaikan efektivitas dari 0,72 menjadi 0,95. Perbaikan TTD hanya terjadi pada HPH 2, yaitu dari 0,79°C menjadi 0,66°C, sedangkan HPH 1 dan HPH 3 mengalami sedikit kenaikan TTD setelah overhaul. Meskipun demikian, penurunan DCA dan kenaikan efektivitas pada seluruh heater menunjukkan bahwa pembersihan tube, pengujian kebocoran, plugging tube, dan penggantian gasket mampu memulihkan performa perpindahan panas. Dengan demikian, overhaul merupakan tindakan pemeliharaan yang efektif untuk meningkatkan kinerja termal HPH, terutama pada HPH 1.

Kata kunci: high pressure heater; overhaul; kinerja; LMTD; efektivitas

1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan kebutuhan dasar yang terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk, pengembangan industri, dan kemajuan teknologi. Di Indonesia, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) masih menjadi salah satu pemasok daya skala besar yang penting karena mampu menghasilkan energi listrik secara kontinyu dengan kapasitas tinggi [1]. Pada sistem PLTU, efisiensi termal pembangkit sangat dipengaruhi oleh kualitas pemanasan air umpan sebelum memasuki boiler. Salah satu komponen utama yang berperan dalam proses pemanasan air umpan adalah feedwater heater. Pada sisi tekanan tinggi, peralatan ini dikenal sebagai High Pressure Heater (HPH), yaitu alat penukar kalor yang memanfaatkan uap ekstraksi turbin untuk menaikkan temperatur feedwater sebelum air memasuki economizer dan boiler [2,3]. Dengan meningkatnya temperatur air umpan, kebutuhan kalor dari boiler menjadi lebih kecil sehingga efisiensi siklus Rankine dapat ditingkatkan.

Secara konstruksi, HPH pada PLTU umumnya menggunakan tipe shell-and-tube heat exchanger karena mampu beroperasi pada tekanan dan temperatur tinggi. Uap ekstraksi mengalir pada sisi shell, sedangkan feedwater mengalir pada sisi tube. Pada three-zone heater, perpindahan panas terjadi dalam tiga zona, yaitu desuperheating, condensing, dan subcooling [4-6]. Kinerja perpindahan panas di dalam HPH dipengaruhi oleh kebersihan permukaan tube, kondisi drain, kebocoran, serta stabilitas operasi pada sisi shell dan tube. Dalam pengoperasian jangka panjang, kinerja HPH dapat menurun akibat fouling pada tube, kerusakan mekanis, kebocoran, atau akumulasi non-condensable gas. Penurunan ini

akan mengurangi kemampuan HPH untuk mentransfer panas, menurunkan temperatur air umpan, dan pada akhirnya meningkatkan beban panas boiler [1,3]. Oleh karena itu, kegiatan overhaul diperlukan untuk memulihkan kondisi alat melalui tindakan seperti pembersihan tube, pengujian kebocoran, plugging tube yang bocor, dan penggantian komponen sealing.

PLTU Banten 3 Lontar berkapasitas 3 x 315 MW dan pada setiap unitnya memiliki tiga tingkat HPH, yaitu HPH 3, HPH 2, dan HPH 1. Feedwater dipanaskan secara bertahap mulai dari HPH 3, kemudian HPH 2, dan terakhir HPH 1. Uap ekstraksi untuk HPH 1 dan HPH 2 berasal dari high-pressure turbine, sedangkan HPH 3 menerima uap dari intermediate-pressure turbine [4]. Karena HPH merupakan bagian dari sistem regeneratif, perubahan performanya akan berpengaruh pada pemanasan air umpan dan efisiensi keseluruhan siklus. Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan indikator terminal temperature difference (TTD), drain cooler approach (DCA), logarithmic mean temperature difference (LMTD), dan efektivitas untuk menilai performa HPH [1-3,7-9]. Namun, evaluasi berbasis data sebelum dan sesudah overhaul pada kondisi beban yang sama tetap penting agar efek pemeliharaan dapat dilihat secara lebih objektif. Penelitian pada air preheater juga menunjukkan bahwa overhaul dan perbaikan seal dapat menurunkan kebocoran serta meningkatkan efektivitas perpindahan panas pada komponen pemanas regeneratif pembangkit [10]. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh overhaul terhadap kinerja HPH Unit 3 PLTU Banten 3 Lontar pada beban 294 MW dan mengidentifikasi heater yang menerima dampak perbaikan paling besar.

2. Metode Penelitian

2.1. Data dan Kondisi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan memanfaatkan data operasi aktual High Pressure Heater Unit 3 di PLTU Banten 3 Lontar. Perbandingan dilakukan pada dua kondisi operasi dengan beban pembangkit yang sama, yaitu 294 MW, agar pengaruh perbedaan beban terhadap parameter kinerja dapat diminimalkan. Data sebelum overhaul diambil dari performance test bulan Juli 2018, sedangkan data sesudah overhaul berasal dari performance test bulan Desember 2018.

Data yang digunakan meliputi tekanan, temperatur, dan entalpi feedwater pada sisi inlet dan outlet masing-masing heater, tekanan dan temperatur uap ekstraksi pada sisi inlet, serta temperatur dan entalpi drain water pada sisi outlet. Selain itu, digunakan pula data spesifikasi utama HPH untuk mendukung interpretasi hasil. Aktivitas overhaul yang menjadi dasar evaluasi mencakup pembersihan tube, leak test, plugging tube yang bocor, dan penggantian gasket manhole.

2.2. Spesifikasi Objek Penelitian

Objek penelitian terdiri dari tiga unit heater, yaitu HPH 1, HPH 2, dan HPH 3. Ketiganya merupakan shell-and-tube heat exchanger yang bekerja secara seri pada sisi feedwater. Spesifikasi pokok peralatan diringkas pada Tabel 1. Perbedaan model, luas perpindahan panas, dan tekanan desain menunjukkan bahwa setiap heater memiliki karakteristik kerja yang berbeda walaupun berada dalam satu rangkaian sistem.

Tabel 1. Spesifikasi Utama High Pressure Heater Unit 3

Parameter	HPH 1	HPH 2	HPH 3
Model	JG-1025-3-3	JG-1110-3-2	JG-885-3-1
Total Area of Heater	1260	1260	885
Heat Exchange Area of Hot Stage	109	88	73
Heat Exchange Area of Condensing Stage	755	791	581
Heat Exchange Area of Cooling Stage	161	231	231
Design Pressure (MPa)	7.49	4.50	2.07
Design Temperature (°C)	420	350	440
Max. Pressure Drop Water Side (MPa)	0.10	0.10	0.10
Manufacturer	SPEC	SPEC	SPEC

2.3. Parameter dan Persamaan Kinerja

Penilaian kinerja HPH dilakukan dengan menghitung enam parameter utama, yaitu TTD, DCA, temperature rise (TR), LMTD, capacity heat ratio (C), dan thermal effectiveness. TTD menunjukkan selisih antara temperatur jenuh uap ekstraksi dan temperatur feedwater keluar heater; semakin kecil nilainya, semakin baik pendekatan termal pada terminal heater [7]. DCA merupakan selisih antara temperatur drain keluar dan temperatur feedwater masuk; nilai DCA yang lebih kecil menunjukkan proses pendinginan drain yang lebih baik [7].

TR menunjukkan kenaikan temperatur feedwater di setiap heater. LMTD dipakai untuk mewakili gaya pendorong perpindahan panas rata-rata logaritmik pada konfigurasi aliran berlawanan arah [9]. Sementara itu, C^* menggambarkan perbandingan kapasitas panas minimum terhadap kapasitas panas maksimum dari dua fluida, dan efektivitas digunakan untuk membandingkan laju perpindahan panas aktual terhadap laju perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi [3,5]. Pada sistem yang sama dan beban yang sebanding, kombinasi penurunan DCA, kenaikan efektivitas, dan perbaikan temperatur keluaran feedwater dapat digunakan sebagai indikator keberhasilan overhaul.

$$TTD = T_{sat} - T_{fw,out} \quad (1)$$

dengan T_{sat} adalah temperatur jenuh uap ekstraksi dan $T_{fw,out}$ adalah temperatur feedwater keluar heater.

$$DCA = T_{drain} - T_{fw,in} \quad (2)$$

dengan T_{drain} adalah temperatur drain keluar heater dan $T_{fw,in}$ adalah temperatur feedwater masuk heater.

$$TR = T_{fw,out} - T_{fw,in} \quad (3)$$

$$LMTD = (\Delta T_1 - \Delta T_2) / \ln(\Delta T_1 / \Delta T_2) \quad (4)$$

dengan $\Delta T_1 = T_{st,in} - T_{fw,out}$ dan $\Delta T_2 = T_{drain} - T_{fw,in}$ untuk konfigurasi aliran berlawanan arah.

$$C = C_{min} / C_{max} \quad (5)$$

$$\varepsilon = Q / Q_{max} \quad (6)$$

Rumus yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Persamaan (1) sampai Persamaan (6).

Perlu dicatat bahwa data sebelum dan sesudah overhaul berada pada beban yang sama, namun beberapa kondisi operasi seperti tekanan feedwater dan tekanan uap ekstraksi tidak identik. Oleh karena itu, interpretasi hasil tidak hanya didasarkan pada satu parameter, tetapi pada kecenderungan beberapa indikator kinerja secara bersama-sama.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Operasi Sebelum dan Sesudah Overhaul

Data operasi utama pada kondisi sebelum dan sesudah overhaul diringkas pada Tabel 2. Pada seluruh heater terlihat adanya perubahan temperatur uap ekstraksi, temperatur drain, dan temperatur keluaran feedwater antara kedua kondisi. Meskipun beban unit sama, tekanan feedwater dan tekanan uap ekstraksi sesudah overhaul sedikit lebih rendah dibanding sebelum overhaul. Hal ini penting karena dapat mempengaruhi nilai temperatur jenuh, beda temperatur terminal, dan gaya pendorong perpindahan panas.

Tabel 2. Ringkasan Data Operasi Utama pada Beban 294 MW

Parameter	HPH1 Sebelum	HPH1 Sesudah	HPH2 Sebelum	HPH2 Sesudah	HPH3 Sebelum	HPH3 Sesudah
P uap ekstraksi masuk (bar a)	57.08	54.96	35.65	34.00	17.17	16.09
T uap ekstraksi masuk (°C)	340.02	331.52	265.18	264.09	411.11	405.39
T feedwater masuk (°C)	244.45	241.91	209.79	207.36	177.70	177.70
T feedwater keluar (°C)	275.61	274.05	244.45	241.91	209.79	207.36
T drain keluar (°C)	271.13	246.29	218.06	212.70	188.45	183.97

3.2. Perubahan Parameter Termal

Hasil perhitungan parameter kinerja ditunjukkan pada Tabel 3. Dari sisi TTD, hanya HPH 2 yang menunjukkan perbaikan, yaitu dari 0,79°C menjadi 0,66°C. Sebaliknya, TTD HPH 1 meningkat dari 2,12°C menjadi 2,95°C dan TTD HPH 3 meningkat dari 2,16°C menjadi 2,72°C. Kenaikan TTD biasanya menunjukkan bahwa temperatur feedwater keluar masih lebih jauh dari temperatur jenuh uap ekstraksi. Dengan demikian, dilihat dari parameter ini saja, pengaruh overhaul belum seragam pada seluruh heater.

Berbeda dengan TTD, nilai DCA menurun pada ketiga heater. Penurunan paling besar terjadi pada HPH 1, yaitu dari 26,68°C menjadi 4,38°C atau turun sebesar 22,30°C. HPH 2 turun dari 8,27°C menjadi 5,34°C, sedangkan HPH 3 turun dari 10,75°C menjadi 6,27°C. Karena DCA berhubungan dengan proses pendinginan drain, penurunan ini menunjukkan bahwa sesudah overhaul perpindahan panas pada zona drain cooler berjalan lebih baik. Hasil ini juga mengindikasikan bahwa pembersihan tube dan perbaikan kebocoran memberi pengaruh nyata terhadap pemulihan performa heater.

Untuk parameter TR, HPH 1 mengalami kenaikan dari 31,16°C menjadi 32,14°C, yang berarti kenaikan temperatur feedwater sedikit membaik sesudah overhaul. Sebaliknya, HPH 2 turun tipis dari 34,66°C menjadi 34,55°C dan HPH 3 turun dari 32,09°C menjadi 29,66°C. Penurunan TR pada HPH 2 dan HPH 3 menunjukkan bahwa perbaikan overhaul tidak selalu langsung tercermin pada semua sisi terminal temperatur. Perbedaan tekanan operasi dan distribusi panas antar zona kemungkinan ikut mempengaruhi hasil ini.

3.3. Evaluasi LMTD, Capacity Heat Ratio, dan Efektivitas

Nilai LMTD menurun pada ketiga heater, yaitu dari 42,81°C menjadi 20,62°C pada HPH 1, dari 13,55°C menjadi 11,82°C pada HPH 2, dan dari 65,04°C menjadi 55,55°C pada HPH 3. Pada sistem dengan duty yang tetap sebanding, penurunan LMTD yang disertai kenaikan efektivitas dapat diinterpretasikan sebagai indikasi bahwa heater mampu mentransfer panas lebih efektif dengan beda temperatur rata-rata yang lebih kecil. Perubahan terbesar kembali terjadi pada HPH 1, sehingga dapat dikatakan bahwa HPH 1 menerima manfaat overhaul paling signifikan.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Kinerja HPH Sebelum dan Sesudah Overhaul

Parameter	HPH1 Sebelum	HPH1 Sesudah	HPH2 Sebelum	HPH2 Sesudah	HPH3 Sebelum	HPH3 Sesudah
TTD (°C)	2.12	2.95	0.79	0.66	2.16	2.72
DCA (°C)	26.68	4.38	8.27	5.34	10.75	6.27
TR (°C)	31.16	32.14	34.66	34.55	32.09	29.66
LMTD (°C)	42.81	20.62	13.55	11.82	65.04	55.55
C*	0.047	0.048	0.045	0.049	0.036	0.033
Efektivitas	0.72	0.95	0.85	0.90	0.95	0.97

Perubahan capacity heat ratio relatif kecil. Nilai C HPH 1 naik dari 0,047 menjadi 0,048, HPH 2 naik dari 0,045 menjadi 0,049, sedangkan HPH 3 turun dari 0,036 menjadi 0,033. Karena perubahan C sangat kecil, maka peningkatan kinerja yang terjadi lebih mungkin disebabkan oleh membaiknya kondisi permukaan perpindahan panas dan berkurangnya gangguan operasi, bukan karena perubahan besar pada keseimbangan kapasitas panas kedua fluida.

Parameter yang paling konsisten menunjukkan perbaikan adalah thermal effectiveness. Efektivitas HPH 1 meningkat dari 0,72 menjadi 0,95, HPH 2 naik dari 0,85 menjadi 0,90, dan HPH 3 naik dari 0,95 menjadi 0,97. Kenaikan tertinggi terjadi pada HPH 1 sebesar 0,23. Temuan ini menunjukkan bahwa secara umum overhaul berhasil mengembalikan kemampuan heater untuk memanfaatkan uap ekstraksi secara lebih optimal. Jika dikaitkan dengan operasi pembangkit, peningkatan efektivitas HPH berpotensi menurunkan kebutuhan panas di boiler dan pada akhirnya mendukung efisiensi termal siklus, walaupun penelitian ini tidak secara khusus menghitung heat rate pembangkit.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa evaluasi pengaruh overhaul tidak boleh hanya berdasarkan satu indikator. TTD dan TR memperlihatkan bahwa HPH 1 dan HPH 3 masih memerlukan perhatian lanjutan, namun penurunan DCA dan kenaikan efektivitas pada seluruh heater memberikan bukti yang lebih kuat bahwa kegiatan overhaul tetap memberikan pengaruh positif terhadap performa termal HPH. Oleh karena itu, monitoring pasca-overhaul sebaiknya difokuskan pada konsistensi temperatur terminal, khususnya pada HPH 1 dan HPH 3.

3.4. Implikasi Operasional Pasca-Overhaul

Tabel 4. Besar Perubahan Nilai Parameter Akibat Overhaul

Heater	ΔTTD (°C)	ΔDCA (°C)	ΔTR (°C)	$\Delta LMTD$ (°C)	$\Delta \epsilon$
HPH 1	+0.83	-22.30	+0.98	-22.19	+0.23
HPH 2	-0.13	-2.93	-0.11	-1.73	+0.05
HPH 3	+0.56	-4.48	-2.43	-9.49	+0.02

Perubahan nilai akibat overhaul diringkas pada Tabel 4. Jika dilihat dari besarnya perubahan, HPH 1 adalah heater yang mengalami pemulihan paling kuat. Penurunan DCA sebesar 22,30°C disertai kenaikan efektivitas sebesar 0,23 menunjukkan bahwa sebelum overhaul HPH 1 kemungkinan mengalami degradasi permukaan perpindahan panas yang lebih serius dibanding dua heater lainnya. Sesudah pembersihan dan perbaikan, heater ini mampu kembali bekerja jauh lebih dekat dengan kondisi ideal. HPH 2 memperlihatkan pola perbaikan yang paling seimbang. Nilai TTD membaik, DCA menurun, LMTD menurun, dan efektivitas meningkat menjadi 0,90. Walaupun perubahan TR sangat kecil, HPH 2 dapat dipandang sebagai heater dengan respons overhaul yang paling stabil. Hal ini menunjukkan bahwa parameter terminal dan parameter global perpindahan panas sama-sama bergerak ke arah yang positif.

Pada HPH 3, efektivitas absolut sesudah overhaul tetap menjadi yang tertinggi, yaitu 0,97. Namun kenaikan TTD dan penurunan TR mengindikasikan bahwa performa terminal heater ini masih dipengaruhi oleh kondisi operasi sesudah overhaul, terutama perubahan tekanan uap ekstraksi dan distribusi panas pada setiap zona. Dengan kata lain, efektivitas tinggi tidak selalu berarti seluruh indikator membaik dalam arah yang sama. Dari sudut pandang operasional, hasil ini menegaskan bahwa evaluasi pasca-overhaul perlu dilakukan secara bertahap. Uji performa tidak cukup hanya membandingkan temperatur keluaran, tetapi juga harus meninjau temperatur jenuh, kondisi drain, dan kecenderungan efektivitas. Untuk peralatan HPH, pemantauan yang berkelanjutan terhadap TTD, DCA, kebocoran tube, dan kebersihan permukaan pemanas akan membantu menentukan apakah tindakan overhaul berikutnya perlu difokuskan pada tube bundle, sistem drain, atau pengendalian kondisi operasi.

3.5. Keterbatasan Penelitian dan Arah Lanjutan

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam menafsirkan hasil. Pertama, evaluasi hanya dilakukan pada satu titik beban, yaitu 294 MW, sehingga variasi performa HPH pada beban rendah atau beban mendekati maksimum belum terwakili. Kedua, walaupun kondisi sebelum dan sesudah overhaul dibandingkan pada beban yang sama, tekanan feedwater dan tekanan uap ekstraksi tidak sepenuhnya identik. Hal ini berarti sebagian perubahan nilai parameter masih mungkin dipengaruhi oleh perbedaan kondisi operasi, bukan semata-mata oleh aktivitas overhaul.

Keterbatasan lain adalah bahwa analisis didasarkan pada data performa dan parameter termal yang diturunkan dari temperatur, tekanan, dan entalpi, tanpa pengukuran langsung terhadap fouling factor, overall heat-transfer coefficient, atau distribusi temperatur pada masing-masing zona heater. Dengan demikian, penelitian ini lebih tepat digunakan untuk menilai kecenderungan perbaikan kinerja secara operasional daripada untuk menjelaskan seluruh mekanisme degradasi internal yang terjadi pada tube bundle atau sisi shell.

Untuk penelitian lanjutan, evaluasi dapat diperluas dengan analisis pada beberapa tingkat beban, perhitungan pengaruh terhadap heat rate dan konsumsi batubara, serta integrasi pendekatan NTU atau eksergi untuk melihat kerugian termodinamika secara lebih mendalam. Pengembangan tersebut akan membantu menentukan prioritas pemeliharaan yang lebih akurat dan menghubungkan performa HPH secara langsung dengan efisiensi pembangkit.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan pada beban 294 MW, overhaul memberikan pengaruh positif terhadap kinerja High Pressure Heater Unit 3 PLTU Banten 3 Lontar, meskipun tingkat perbaikannya tidak sama pada setiap heater. Perbaikan yang paling konsisten ditunjukkan oleh penurunan DCA pada seluruh heater, yaitu 22,30°C pada HPH 1, 2,93°C pada HPH 2, dan 4,48°C pada HPH 3. Efektivitas juga meningkat pada seluruh heater, dari 0,72 menjadi 0,95 pada HPH 1, dari 0,85 menjadi 0,90 pada HPH 2, dan dari 0,95 menjadi 0,97 pada HPH 3.

Overhaul memberikan dampak paling besar pada HPH 1, yang ditunjukkan oleh penurunan LMTD sebesar 22,19°C, penurunan DCA sebesar 22,30°C, serta kenaikan efektivitas sebesar 0,23. HPH 2 merupakan satu-satunya heater yang menunjukkan perbaikan TTD, sedangkan HPH 1 dan HPH 3 masih mengalami kenaikan TTD setelah overhaul. Hal ini menunjukkan bahwa evaluasi keberhasilan overhaul harus dilakukan secara multiparameter, bukan hanya berdasarkan satu indikator.

Untuk menjaga keberlanjutan performa HPH, diperlukan inspeksi rutin terhadap kondisi tube, pengujian kebocoran secara periodik, pemantauan temperatur terminal, serta evaluasi performa pasca-overhaul pada berbagai kondisi operasi. Langkah ini penting agar potensi peningkatan efisiensi pemanasan feedwater dapat dipertahankan dalam jangka panjang.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada PT Indonesia Power UJP PLTU Banten 3 Lontar atas izin pengambilan data dan dukungan selama penelitian, serta kepada pihak pembimbing yang telah memberikan arahan dalam penyusunan penelitian ini.

Daftar Rujukan

- [1] Budiman A, Syarief A, Isworo H. Analisis perpindahan panas dan efisiensi efektif High Pressure Heater (HPH) di PLTU Asam-Asam. *J Ilm Tek Mesin Unlam*. 2014;3(2):76-82.
- [2] Junsupratyo R, Sappu FP, Lakat AMA. Analisis efisiensi efektif High Pressure Heater (HPH) tipe vertikal U-shape di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Amurang Unit 1. *Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi*. 2017;7:37-45.
- [3] Gahana D, Alfian C, Supriyadi D, Li M. Analisis kinerja High Pressure Heater (HPH) tipe shell and tube heat exchanger. *J Sci Appl Technol*. 2018;2(2):23-33.
- [4] Hidayat WR. Analisis perpindahan kalor High Pressure Heater PLTU Banten 3 Lontar Unit 1. 2016.
- [5] Cengel YA. *Heat Transfer: A Practical Approach*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill; 2018.
- [6] Argaputra RR. Analisis perpindahan panas pada multipass shell and tube heat exchanger berdasarkan Number of Transfer Unit (NTU). 2017.
- [7] Suardjaja IM, Junaidi D, Rohmat TA. Kesetimbangan massa dan kalor serta efisiensi pembangkitan listrik tenaga uap pada berbagai perubahan beban dengan memvariasikan jumlah feedwater heater. *Prosiding Seminar Nasional VI*. 2010:413-422.
- [8] Megadwiwan. Feedwater heater. *J Ilm Teknik Mesin Polban*. 2011.
- [9] Poernomo H. Pembuatan alat monitoring mesin penukar panas (heat exchanger) untuk menganalisis unjuk kerja dan karakteristiknya. *Teknik Permesinan Kapal*. 2013;10(3):164-174.
- [10] Prabowo, Eri -. "Analisis Air Leakage terhadap Unjuk Kerja Air Preheater A Sebelum dan Sesudah Overhaul di Pltu Adipala 1 X 660 Mw PT. PLN (Persero)." *Power Plant*, vol. 8, no. 2, 2020, doi:[10.33322/powerplant.v8i2.1542](https://doi.org/10.33322/powerplant.v8i2.1542)