

EVALUASI KINERJA *HIGH PRESSURE HEATERS* PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP: STUDI KASUS UNIT 8 DI PT POMI PAITON

Trusta Princessiss Virdalovita¹, Windi Zamrudy¹, Eko Naryono¹, Erwan Yulianto²

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

²PT Paiton Operation & Maintenance Indonesia, Jl. Surabaya – Situbondo KM. 141, Bhinor, Paiton, Probolinggo, Indonesia

tataloveyta@gmail.com; [windi.zamrudy@polinema.ac.id]

ABSTRAK

PT Paiton Operation & Maintenance Indonesia (PT POMI) merupakan sebuah perusahaan yang bergerak di bidang pengoperasian dan pemeliharaan pembangkit tenaga uap (PLTU) menggunakan batu bara sebagai bahan bakar dan menyuplai listrik di wilayah Jawa – Bali. Salah satu peralatan penting dalam pengoperasian sistem pembangkit listrik yaitu *High Pressure Heater* (HPH) yang berfungsi untuk meningkatkan temperatur air umpan sebelum masuk boiler, sehingga dapat meningkatkan efisiensi termal pembangkit listrik. Tujuan studi ini untuk mengevaluasi kinerja HPH, menentukan neraca massa dan neraca panas pada HPH, dan mengevaluasi efisiensi HPH pada PLTU Paiton Unit 8 PT POMI. Metodologi penelitian dilakukan dengan observasi lapangan dan pencatatan parameter temperatur, tekanan, dan laju alir fluida. Perhitungan efisiensi didasarkan pada perhitungan neraca massa dan neraca panas yang disuplai oleh uap ekstraksi. Hasil dari penelitian menunjukkan efisiensi HPH 6, 7 dan 8 (A + B) pada Unit 8 berkisar 88 – 94%. Kesimpulan dari studi yang dilakukan yaitu kinerja HPH unit 8 di PLTU PT POMI berjalan optimal dan efisien, namun tetap memerlukan pemeliharaan secara berkala untuk menjaga stabilitas operasi jangka panjang.

Kata kunci: *efisiensi, high pressure heater, neraca massa, neraca panas*

ABSTRACT

PT Paiton Operation & Maintenance Indonesia (PT POMI) is a company engaged in the operation and maintenance of steam power plants (PLTU) using coal as fuel and supplying in the Java – Bali region. One of the important equipment in the operation of the power plant system is the High Pressure Heater (HPH) which functions to increase the feed water temperature before entering the boiler, so as to increase the thermal efficiency of the power plant. The purpose of this study is to evaluate the performance HPH, determine the mass balance and heat balance of HPH, and evaluate the efficiency of HPH at Paiton Unit 8 PLTU PT POMI. The research methodology was carried out by field observation and recording the parameters of temperature, pressure, and fluid flow rate. The efficiency calculation is based on the calculation of mass balance and heat balance supplied by the extraction steam. The results of the study show that the efficiency of HPH 6, 7 and 8 (A + B) in unit 8 range from 88 – 94%. It can be concluded that the performance of HPH Unit 8 at PLTU PT POMI is optimal and efficient, but regular maintenance is still required to ensure long-term operational stability.

Keywords: *efficiency, high pressure heater, mass balance, heat balance*

1. PENDAHULUAN

PT Paiton Operation & Maintenance Indonesia (PT POMI) unit 8 merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan menggunakan siklus termal *Rankine* atau siklus tertutup dengan batu bara sebagai bahan bakar utama. Kapasitas produksi unit ini sebesar 615 MW dan berperan penting dalam menyediakan energi listrik di wilayah Jawa dan Bali. Dalam siklus operasionalnya air umpan dari kondensor diproses melalui serangkaian tahapan *polishing*, deaerasi, dan pemanasan bertahap menggunakan HPH sebelum masuk boiler. Pada boiler, fluida yang telah dipanaskan berubah dari fase cair menjadi uap *superheated*. Tahapan selanjutnya adalah mengalirkan uap bertekanan tinggi ke dalam *High Pressure Turbine* untuk menggerakkan sudu – sudu turbin. Proses ini mengonversi energi termal menjadi mekanis dan selanjutnya diubah menjadi energi listrik oleh generator. Uap bekas turbin kemudian dikondensasi kembali oleh kondensor, sehingga terjadi siklus tertutup yang efisien dan berkelanjutan [1].

Siklus termodinamika *rankine* banyak digunakan pada PLTU untuk mengubah energi panas *steam* menjadi energi mekanis dengan bahan bakar batubara. Efisiensi termodinamika sering menurun terjadi karena terdapat perbedaan temperatur yang besar antara *flue gas* dan uap selama proses perpindahan panas. Selain itu, kerugian efisiensi termodinamika juga terjadi karena kinerja peralatan yang kurang optimal seperti turbin dan pompa, dan keterbatasan efektivitas perpindahan panas pada HPH dan kondensor, akibat perbedaan temperatur fluida pemanas dan air umpan boiler yang relatif kecil [2]. Penggunaan HPH di PLTU berfungsi untuk mengurangi beban panas pada boiler, untuk meningkatkan efisiensi siklus termal yang besarnya tergantung pada jumlah unit HPH. Masing-masing siklus pada pembangkit listrik tenaga uap mempunyai jumlah HPH tertentu yang dapat dihitung menggunakan *software CyclePad*, untuk memperoleh peningkatan efisiensi yang optimal [3].

Cunha dkk. (2017) melaporkan bahwa penggunaan HPH 6 dan HPH 7 pada unit 270 MW mampu mencapai efisiensi 75 – 80 % karena pengoperasian dan pemeliharaan yang baik [4]. Lestari dkk, (2021) melaporkan efektivitas HPH sebesar 93,53% dengan laju perpindahan panas paling tinggi pada PT Indonesia Power [5]. Reind dkk, (2018) mencatat efisiensi rata-rata HPH pada PLTU Amurang sebesar 66,51% [6]. Studi lain oleh Vaibhav dkk, (2016) dan Oyedepo dkk, (2019) juga menyimpulkan pentingnya HPH untuk meningkatkan efisiensi sistem pembangkit terhadap PLTU [7,8].

Berdasarkan latar belakang tersebut dan mengacu pada penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa evaluasi kinerja HPH di PLTU masih sangat relevan dilakukan. Kajian ini diperlukan untuk memberikan gambaran kuantitatif tentang efisiensi HPH dan mendukung upaya peningkatan performa sistem pembangkit. Tujuan kajian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja HPH, menentukan neraca massa dan neraca panas pada HPH, dan mengevaluasi efisiensi HPH pada PLTU Paiton Unit 8 PT POMI. Dengan adanya kajian ini dapat diperoleh dasar teknis untuk peningkatan efisiensi operasional dan strategi pemeliharaan sistem pembangkit.

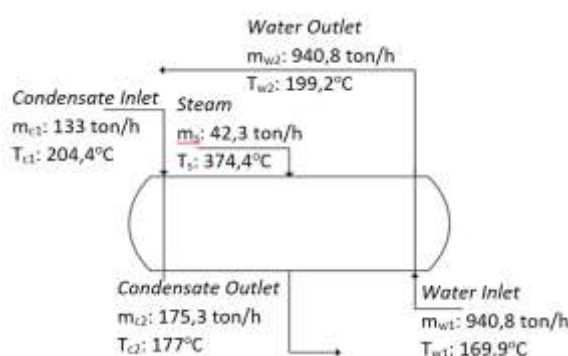
2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan deskriptif kuantitatif untuk mengevaluasi efisiensi *High Pressure Heater* (HPH) 6, 7, dan 8 (A + B) pada unit 8 PLTU PT POMI, melalui analisis termodinamika berbasis data operasional aktual. Pengumpulan data dilakukan secara langsung di lapangan (data primer) serta melalui pengambilan data sekunder dari sistem

kontrol utama (*Main Control Room/MCR*), data sheet peralatan, dokumen teknis, dan manual operasi. Analisis dilakukan dengan metode perhitungan neraca massa, neraca energi, dan efisiensi perpindahan panas, guna memperoleh gambaran kinerja HPH secara kuantitatif dan sistematis. Data operasional yang digunakan terdapat pada Gambar 1 – 6 sebagai dasar perhitungan neraca massa, neraca panas, dan efisiensi HPH. Hasil neraca massa pada Tabel 1 menunjukkan bahwa total massa masuk sama dengan massa keluar, sehingga memenuhi prinsip kekekalan massa dan menunjukkan kondisi operasi *steady state*.

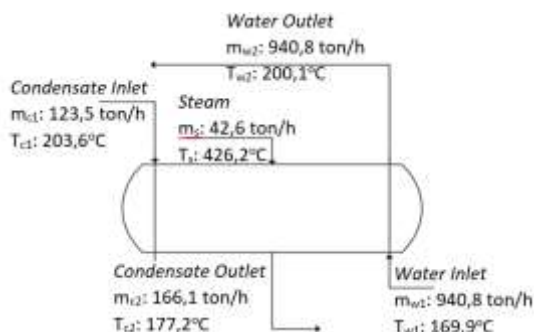
HPH 6 Unit 8

A) HPH 6A



Gambar 1. Data operasional HPH 6A pada PT POMI unit 8

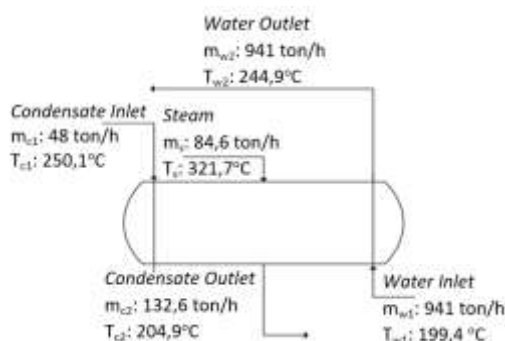
B) HPH 6B



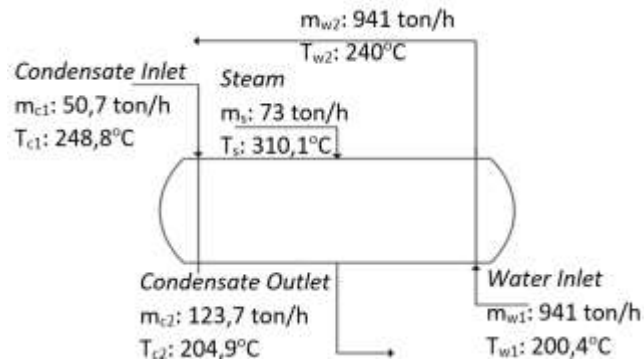
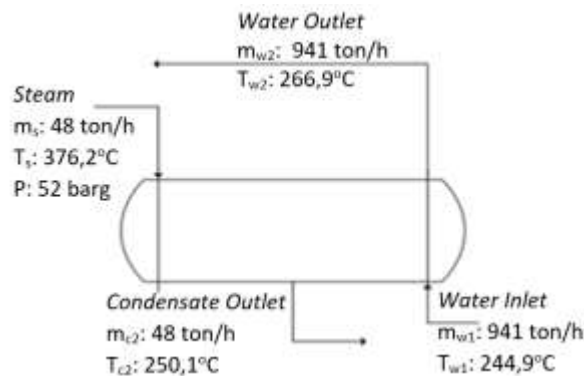
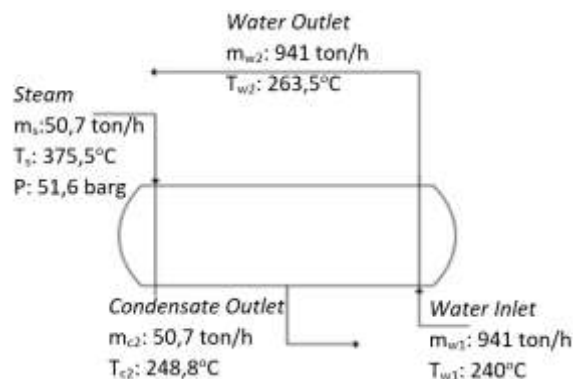
Gambar 2. Data operasional HPH 6B pada PT POMI unit 8

HPH 7 Unit 8

A) HPH 7A



Gambar 3. Data operasional HPH 7A pada PT POMI unit 8

B) HPH 7B**Gambar 4.** Data operasional HPH 7B pada PT POMI unit 8**HPH 8 Unit 8****A) HPH 8A****Gambar 5.** Data operasional HPH 8A pada PT POMI unit 8**B) HPH 8B****Gambar 6.** Data operasional HPH 8B pada PT POMI unit 8**2.1. Neraca Massa**

Perhitungan neraca massa menggunakan basis *1 hour operation*, dengan asumsi bahwa semua *steam* menjadi kondensat, massa air masuk sama dengan massa air keluar dan pada terdapat *heat lost*. Neraca massa ditunjukkan Persamaan (1)

$$m_{w1} + m_{s1} + m_{c1} = m_{w2} + m_{c2} \quad (1)$$

Keterangan:

m_{w1} : massa air masuk (kg)

m_{s1} : massa uap masuk (kg)

m_{c1} : massa kondensat masuk (kg)

m_{w2} : massa air keluar (kg)

m_{c2} : massa kondensat keluar (kg)

2.2. Neraca Panas Steam

Pada perhitungan neraca panas mengasumsikan kondisi tekanan pada fluida panas dan dingin dianggap sama. Berikut merupakan langkah-langkah dalam mencari neraca panas pada *steam*:

A. Mencari titik didih air (*saturated liquid*)

Berdasarkan tekanan operasi yang digunakan dalam mencari nilai T_{sat} dapat diketahui dengan cara menginterpolasi data pada *steam table* (Geankoplis A.2-9) [9].

B. Mencari Q_1

Dalam mencari nilai Q_1 memerlukan nilai C_p dari uap. Nilai C_p ditentukan dengan menginterpolasi temperatur uap yang relevan menggunakan *steam table* (Geankoplis A2-12) [9]. Setelah itu, nilai Q_1 dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q_1 = m_s \times C_p \times \Delta T \quad (2)$$

Keterangan:

Q_1 : panas sensibel pertama (kJ)

m_s : massa uap (kg)

C_p : kapasitas panas (kJ/kg.K)

ΔT : selisih temperatur (K)

C. Mencari Q_2

Dalam mencari nilai Q_2 (panas laten) menggunakan interpolasi h_v dan h_l pada Geankoplis A2.9a [9].

Menghitung nilai λ terlebih dahulu

$$\lambda = h_v - h_l \quad (3)$$

Menghitung nilai Q_2

$$Q_2 = m_s \times \lambda \quad (4)$$

Keterangan :

λ : panas laten spesifik (kJ/kg)

h_v : *enthalpy of saturated vapor* (kJ/kg)

h_l : *enthalpy of saturated liquid* (kJ/kg)

Q_2 : panas laten uap (kJ)

m_s : massa *steam* (kg)

D. Mencari T_{av}

$$T_{av} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \quad (5)$$

Dalam mencari nilai C_p dari Q_3 memerlukan interpolasi dari nilai T_{av}

E. Mencari Q_3

$$Q_3 = m_s \times C_p \times \Delta T \quad (6)$$

Keterangan:

Q_3 : panas sensibel kedua (kJ)

m_s : massa uap (kg)

C_p : kapasitas panas (kJ/kg.K)

ΔT : selisih temperatur (K)

F. Mencari Total Q_{steam}

$$\sum Q_{steam} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (7)$$

2.3. Neraca Panas *Water*

$$Q_w = m_w \times C_p \times \Delta T \quad (8)$$

Keterangan:

Q_w : total panas yang diserap air (kJ)

m_w : massa air (kg)

C_p : kapasitas panas (kJ/kg.K)

ΔT : selisih temperatur (K)

2.4 Efisiensi

$$\text{Efisiensi} = \left(\frac{Q_s}{Q_w} \right) \times 100\% \quad (9)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

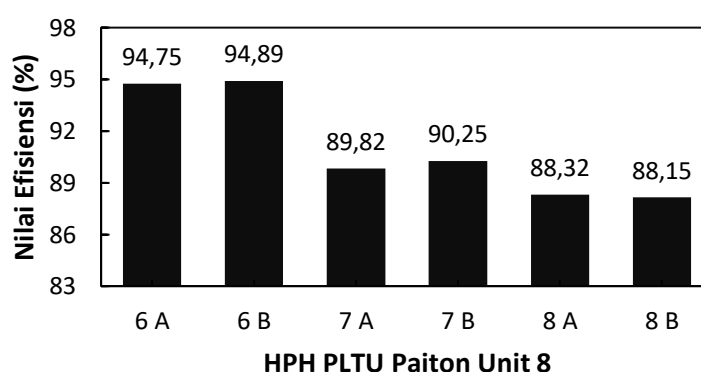
HPH merupakan peralatan penting di dalam sistem PLTU untuk meningkatkan efisiensi siklus termal. HPH bekerja dengan memanaskan air umpan boiler menggunakan energi panas yang berasal dari uap kondensat. Proses ini mengurangi konsumsi energi pada boiler dan meningkatkan efisiensi keseluruhan siklus *renkine* [10].

Perhitungan dalam HPH memerlukan perhitungan neraca massa dan neraca panas. Neraca massa dihitung untuk memastikan jumlah massa yang masuk sama dengan massa yang keluar. Neraca panas untuk menghitung transfer energi didalam sistem dengan asumsi bahwa energi panas yang diterima sama dengan energi panas yang diberikan, sesuai prinsip kekekalan energi. Pada HPH terdapat dua jenis transfer panas yaitu panas sensibel dan panas laten.

Pada Gambar 7, efisiensi termal HPH Unit 8 Berdasarkan hasil evaluasi operasional, dimana HPH 8A dan 8B menerima uap ekstraksi dari High Pressure Turbine; HPH 7A dan 7B menerima campuran uap dan kondensat; serta 6A dan 6B menerima aliran uap dan kondensat terbesar. Berdasarkan pengamatan dari Gambar 7, nilai efisiensi yang didapatkan sebesar 88,15 – 94,89%. Nilai efisiensi HPH pada PLTU PT POMI ini relatif tinggi dan masih layak dioperasikan, karena batas nilai efisiensi minimum diizinkan untuk dioperasikan atau

ditoleransi sebesar 80% [11]. Hasil penelitian yang dilakukan sesuai dengan yang dinyatakan oleh Aqilla, dkk.(2023) yang melaporkan bahwa hasil perhitungan efisiensi pada tiga zona HPH semakin meningkat. Hal ini dibuktikan dengan semakin rendahnya efisiensi kerja HPH maka akan semakin berkurang pula efisiensi kerja pada boiler, namun hal ini dapat dicegah dengan penambahan batu bara sebagai bahan bakar utama pemanasan boiler [12]. Hasil penelitian ini juga sesuai pernyataan Pambudi A., dkk.(2023) yang melaporkan bahwa perhitungan efisiensi HPH tiap unit semakin meningkat. Hal ini dikarenakan jumlah batu bara yang berpengaruh terhadap nilai produksi generator dan trafo [13].

Berikut merupakan perbandingan efisiensi termal pada HPH 6, 7 dan 8 di PLTU Paiton unit 8:



Gambar 7. Perbandingan nilai efisiensi termal pada HPH 6, 7 dan 8 di PLTU Paiton Unit 8

Pada HPH 8A efisiensi yang didapat sebesar 88,32%, dimana nilai ini menunjukkan bahwa sebagian besar energi panas dari uap pemanas berhasil ditransfer ke air umpan, yang ditunjukkan terjadinya peningkatan temperatur air dari 244,9°C menjadi 266,9°C. Efisiensi ini menunjukkan bahwa proses perpindahan panas yang cukup optimal pada unit tersebut. Sementara pada HPH 8B nilai efisiensi lebih rendah yaitu sebesar 88,15%, hal ini disebabkan karena temperatur awal air umpan yang masuk pada HPH 8B lebih rendah daripada HPH 8A sebesar 240°C. Faktor utama yang mempengaruhi kinerja HPH yaitu kondisi operasi temperatur dan tekanan uap pemanas, temperatur masuk air umpan, laju alir fluida, serta kondisi permukaan perpindahan panas [14].

HPH 7 memiliki nilai efisiensi yang menengah, yaitu sebesar 89,82% (A) dan 90,25% (B). HPH 7 menerima panas laten dari aliran uap pemanas dari turbin dan aliran panas sensibel kondensat dari unit pemanas sebelumnya. Kombinasi dua mekanisme perpindahan panas ini menghasilkan penyerapan energi yang cukup efektif oleh air umpan. Berdasarkan hasil perhitungan, HPH 6 mempunyai nilai efisiensi paling tinggi sebesar 94,75% (A) dan 94,89% (B). Kondisi ini menunjukkan bahwa pada HPH 6 proses perpindahan panasnya berjalan dengan optimal. Tingginya panas laten dari kondensasi uap memiliki peran yang besar dalam meningkatkan efisiensi, demikian juga perbedaan temperatur antara fluida panas (uap) dan air masuk cukup besar, sehingga proses transfer energi berjalan efektif.

Secara keseluruhan, perbedaan efisiensi HPH antara 6, 7, dan 8 terjadi karena perbedaan variasi distribusi aliran uap kondensat dan perbedaan temperatur fluida. Nilai efisiensi HPH 6 paling tinggi karena menerima aliran uap dan kondensat yang besar dan

temperatur air umpan yang masuk rendah. Efisiensi termal pada pembangkit listrik pada peralatan HPH dipengaruhi oleh berbagai faktor teknis dan operasional [15].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kinerja HPH PLTU Paiton unit 8 PT POMI secara umum berjalan dengan optimal, rentang efisien termal yang dihasilkan antara 88,15% hingga 94,89%. HPH 6 menunjukkan kinerja paling baik, diikuti HPH 7 dan HPH 8. Neraca massa dan neraca panas pada masing-masing HPH telah dihitung berdasarkan data operasional aktual. Perhitungan neraca massa menunjukkan kondisi *steady-state*, dan perpindahan panas sensibel dan laten berlangsung secara efektif. Efisiensi secara berturutan untuk masing-masing HPH 8 yaitu: 8A sebesar 88,32%, 8B sebesar 88,15%. Pada seri 7 efisiensi HPH 7A sebesar 89,82% dan 7B sebesar 90,25%. HPH seri 6 nilai efisiensi HPH 6A sebesar 94,75% dan 6B sebesar 93,54%. Pada pengoperasiannya diperlukan monitoring yang ketat terhadap parameter tekanan dan temperatur untukantisipasi penurunan efisiensi, demikian juga kontrol kualitas air yang dapat menyebabkan *fouling* dan korosi diperlukan untuk mendapatkan tingkat efisiensi yang optimal

Dengan mempertimbangkan pentingnya peran *High Pressure Heater* (HPH) dalam menunjang efisiensi termal siklus Rankine pada PLTU, serta potensi penurunan performa akibat permasalahan seperti *scaling*, *fouling*, dan korosi. Peneliti selanjutnya disarankan untuk menganalisis pengaruh *fouling*, *scaling*, dan korosi terhadap penurunan efisiensi HPH secara lebih mendalam. Selain itu, dapat dilakukan studi optimasi atau simulasi untuk meningkatkan efisiensi termal sistem pembangkit secara keseluruhan.

REFERENSI

- [1] A. D. Iffournamasari, S. N. M. Sukmawanta, Y. Maryanty, dan E. Yulianto, "Perhitungan Efisiensi High Pressure Heater pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT POMI Unit 3," *Jurnal Distilat*, vol. 8, no. 2, hal. 308–314, 2022.
- [2] C. Fu, R. Anantharaman, K. Jordal, dan T. Gundersen, "Thermal Efficiency of Coal Based Power Plants: from Theoretical to Practical Assessments," *Jurnal Original Research Paper*, vol. 105, hal. 530–544, 2015.
- [3] M. F. A. Hakim dan D. Rusirawan, "Review Penggunaan Feedwater Heater Pada Pembangkit Tenaga Uap," *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 13, no. 1, 2024.
- [4] A. F. V. Da Cunha, N. Fraidenraich, dan L. D. S. Silva, "Optimum Efficiency Analysis of Regenerative Cycle with Feed Water Heaters," *Journal of Power and Energy Engineering*, vol. 5, no. 8, hal. 45–55, 2017.
- [5] L. H. Lumbantobing dan J. Sutrisno, "Analisis Efektivitas High Pressure Heater Unit 1 PLTU Pangkalan Susu Operation & Maintenance," *Sinergi Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Polmed*, vol. 2, no. 2, hal. 54–61, 2021.
- [6] R. Junsupratyo, F. P. Sappu, dan A. M. Lakat, "Analisis Efisiensi Efektif High Pressure Heater (HPH) Tipe Vertikal U Shape di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Amurang Unit 1," *Jurnal Online Poros Teknik Mesin*, vol. 7, no. 1, hal. 37–45, 2018.
- [7] V. V Bode dan V. G. Gore, "Performance Analysis of Regenerative Feed Water Heating system in 270 MW Thermal Power Plant," *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 3, no. 4, hal. 1180, 2016.

- [8] K. Chand Kushwaha dan B. Koshti, "Performance Analysis and Off Design Behaviour of Feed Water Heater," vol. 3, no. 10, hal. 9–15, 2015.
- [9] J. C. Geankoplis, "Transport Processes and Separation Process Principles", 4th edition, New Jersey: Pearson Education International, 1993.
- [10] E. Devandiran, V. S. Shaisundaram, P. S. Ganesh, dan S. Vivek, "Influence of Feed Water Heaters on the Performance of Coal Fired Power Plants," *Jurnal Ijltemas*, vol. 5, no. 3, hal. 115–119, 2016.
- [11] S. Herbirowo, I. Ismail, T. Kalimantan, J. Sukarno Hatta Km, K. Joang, dan K. Timur, "Analisis Kerusakan Material pada High Pressure Heater terhadap Sumbatan Produk Korosi di Pembangkit Tenaga UAp," *Jurnal Nasional Sains dan Teknologi*, vol. 17, hal. 1–5, 2018.
- [12] A. Aqila, N. Safitri, dan Supriyadi, "Analisis Kerja High Pressure Heater Tipe Shell and Tube Heat Exchanger di Pltu PT PLN Nusantara Power Upk Nagan Raya 2 X 110 MW," *Jurnal Teknik Electro*, vol. 7, no. 2, hal. 225–233, 2023.
- [13] A. Pambudi, I. Sukmana, dan Y. E. Risano, "Pengaruh Nilai Spesifik Konsumsi Bahan Bakar (SFC) Terhadap Jumlah Pemakaian Batubara Di PT Bukit Energi Servis Terpadu PLTU Peltar 2x8 MW," *Jurnal Profesi Insinyur Universitas Lampung*, vol. 4, no. 2, hal. 133–142, 2023.
- [14] A. K. Sivathanu dan S. Subramanian, "Extended Kalman filter for fouling detection in thermal power plant reheater," *Control Engineering Practice*, vol. 73, hal. 91–99, 2018.
- [15] A. Aziz dan K. K. Ola, "Kajian Terbentuknya Scaling pada Komponen Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Skala Kecil," *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. 20, no. 1, hal. 29–36, 2019.