

EVALUASI KINERJA ALAT *HIGH PRESSURE HEATER* PT PLN NUSANTARA POWER UP TANJUNG AWAR – AWAR

Paska Maryanti Sinaga¹, Eko Naryono¹, Rizqi Rajiv Effendi²

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

²PT PLN Nusantara Power UP Tanjung Awar - Awar, Jl. Tanjung Awar – Awar, Desa Wadung,

Kecamatan Jenu, Kabupaten Tuban, 62352, Indonesia

Sinagapaska31@gmail.com ; [eko.naryono@polinema.ac.id]

ABSTRAK

PT PLN Nusantara Power UP Tanjung Awar – Awar merupakan salah satu pembangkit listrik tenaga uap di Indonesia dengan bahan bakar utama batubara. Prinsip kerja dari pembangkit listrik ini adalah memanaskan air dan mengubah air menjadi uap kering dalam boiler menggunakan panas dari pembakaran batubara. Sebelum air memasuki boiler, air dipanaskan pada alat penukar panas yaitu high pressure heater (HPH). Pada PLTU ini, terdapat tiga alat high pressure heater (HPH) yaitu HPH 1, HPH 2, dan HPH 3. Pemanasan air umpan sebelum menuju boiler bertujuan untuk meningkatkan kinerja boiler dan mengurangi penggunaan batubara pada produksinya. Dengan tujuan tersebut, maka menjadi penting untuk menjaga efektifitas kinerja dari alat HPH. Penurunan efisiensi efektivitas kinerja alat HPH dapat menyebabkan suhu air umpan yang masuk boiler lebih rendah, sehingga dibutuhkan pemanasan yang lebih besar dalam boiler. Evaluasi ini bertujuan untuk menghitung kinerja alat HPH dengan menggunakan metode The American Society of Mechanical Engineers Performance Test Codes (ASME PTC) 12.1. Pada Evaluasi ini dilakukan perhitungan nilai TTD (Terminal Temperature Difference), DCA (Drain Cooler Approach), dan TR (Temperature Rise) yang kemudian dibandingkan dengan data desain dari setiap alat HPH. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kinerja alat high pressure heater di PLTU Tanjung Awar – Awar masih berfungsi dengan baik karena nilai TTD, DCA, dan TR berada pada batas desain. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai TTD untuk HPH 1, 2, dan 3 masing-masing adalah 5.35°C; 4.37°C; dan 3.5°C, sedangkan nilai DCA masing-masing adalah 6.3°C; 8°C; dan 4.2°C. Adapun nilai TR untuk HPH 1, 2, dan 3 berturut-turut adalah 35.4°C; 35°C; dan 23.3°C.

Kata kunci: *drain cooler approach, high pressure heater, temperature rise, terminal temperature difference*

ABSTRACT

PT PLN Nusantara Power UP Tanjung Awar - Awar is one of the steam power plants in Indonesia with the main fuel is coal. The working principle of this power plant is to heat water and convert water into dry steam in a boiler using heat from coal combustion. Before the water enters the boiler, the water is first heated in the heat exchanger, which is the high pressure heater (HPH). In this PLTU, there are three high pressure heater (HPH) tools, which are HPH 1, HPH 2, and HPH 3. Heating the feed water before heading to the boiler aims to improve boiler performance and reduce the use of coal in its production. With this goal, it is important to maintain the effective performance of the HPH itself. A decrease in the efficiency of the effectiveness of HPH equipment performance can cause lower feedwater temperatures entering the boiler, so that greater heating is needed in the boiler. This evaluation aims to calculate the performance of the high pressure heater using The American Society of Mechanical Engineers Performance Test Codes (ASME PTC) 12.1 method. In this evaluation, the TTD (Terminal Temperature Difference), DCA (Drain Cooler Approach), and TR (Temperature Rise) values are calculated which are then compared with the design data of each HPH equipment. The evaluation results indicate that the performance of the high pressure heater at the Tanjung Awar - Awar PLTU is still functioning properly because the TTD, DCA, and TR values are at the design level.

Corresponding author: Eko Naryono

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: eko.naryono@polinema.ac.id



Keywords: *drain cooler approach, high pressure heater, temperature rise, terminal temperature difference*

1. PENDAHULUAN

PT PLN Nusantara Power UP Tanjung Awar – Awar dengan kapasitas 2×350 MW merupakan salah satu pembangkit listrik tenaga uap di Indonesia berbahan bakar batubara. Proses produksi uap diawali dengan pemanasan air umpan dalam boiler menghasilkan uap air atau *steam* yang digunakan untuk memutar turbin. Putaran turbin menghasilkan energi mekanik untuk memutar generator sehingga menghasilkan listrik. Guna meningkatkan efisiensi sistem pembangkit, PLTU ini memanfaatkan uap sisa pemutaran turbin untuk memanaskan air umpan boiler dalam *feedwater heater*, yang merupakan alat penukar panas. Alat ini berfungsi untuk memanaskan air umpan pada tahap awal sehingga meningkatkan kinerja boiler dan mengurangi konsumsi batubara [1]. *Feedwater heater* terdiri dari dua jenis, yaitu *open feedwater heaters* dan *closed feedwater heaters* [2]. Penggunaan *closed feedwater heaters* dapat dilakukan pada dua kondisi yaitu pada tekanan tinggi dan pada tekanan rendah. Alat penukar panas pada tekanan tinggi disebut *high pressure heater* (HPH) sedangkan alat penukar panas pada tekanan rendah disebut *low pressure heater* (LPH). PLTU Tanjung Awar – Awar menggunakan tiga HPH yaitu HPH 3, HPH 2, dan HPH 1 yang disusun secara seri untuk memanaskan air umpan secara bertahap atau bertingkat sehingga suhu air umpan boiler naik setelah melewati HPH 3, HPH 2 dan HPH 1 dengan sumber panas dari uap ekstraksi dari turbin [3]. Dengan perannya tersebut, maka perlu untuk menjaga kinerja pemanasan dari alat HPH dalam menaikkan suhu air umpan boiler. Penurunan efektifitas pada alat ini akan menyebabkan kurangnya efisiensi produksi pabrik, peningkatan kinerja boiler, dan peningkatan konsumsi batubara. Guna menjaga efisiensi produksi pabrik, PT PLN Nusantara Power UP Tanjung Awar – Awar melakukan evaluasi peralatan HPH secara rutin untuk memastikan kinerja alat dan sebagai dasar dalam menentukan kondisi operasi yang akan dijalankan.

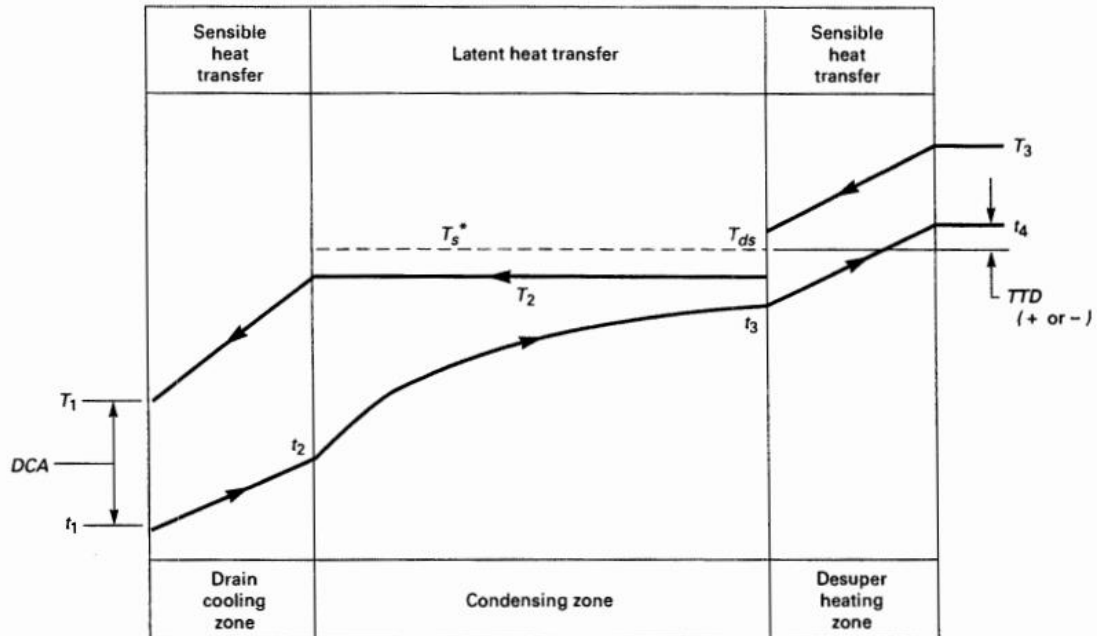
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ifvournamasari, dkk. (2023) di PT POMI unit 3 dilakukan perhitungan efisiensi HPH menggunakan metode perhitungan neraca massa dan neraca panas. Dari hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan diperoleh efisiensi HPH sebesar 94% [4]. Penelitian yang dilakukan sapatrui, dkk. (2023) tentang evaluasi heater di pembangkit listrik dengan perhitungan efisiensi heater diperoleh bahwa efisiensi heater berkisar antara 88,16% - 92,91% dengan batas efisiensi minimal adalah 80% [5]. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja high pressure heater (HPH) dengan menggunakan metode The American Society of Mechanical Engineers Performance Test Codes (ASME PTS) 12.1 yaitu dengan menghitung nilai TTD (Terminal Temperature Difference), DCA (Drain Cooler Approach), dan TR (Temperature Rise). Hasil perhitungan yang diperoleh kemudian akan dibandingkan dengan nilai desain HPH pabrik sehingga diketahui kemampuan kinerja alat high pressure heater (HPH).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengumpulan data suhu dan tekanan umpan masuk dan umpan keluar dari alat penukar panas. Pengumpulan data dilakukan selama 6 hari, yang sumber informasinya berasal dari ruang CCR (*Central Control Room*). Untuk mengevaluasi kinerja alat ini digunakan beberapa indikator penentu sesuai

panduan pada standar ASME PTC 12.1. Indikator kinerja ini berdasarkan nilai TTD, DCA dan TR [6].

Menurut ASME PTC 12.1 ketiga area ini digambarkan menjadi skema berikut.



Gambar 1. Zona – Zona Pada Feedwater Heater [7]

Berdasarkan Gambar 1 dapat diketahui bahwa *Terminal Temperature Difference* (TTD) adalah selisih antara temperatur ekstraksi uap jenuh pada tekanan masuknya dengan temperatur keluaran air umpan yang dinyatakan dengan persamaan 1.

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

Dimana T_{sat} adalah temperatur saturasi atau suhu jenuh pada tekanan HPH dalam satuan °C dan $T_{fw\ out}$ adalah temperatur air umpan keluar HPH dengan satuan °C.

Nilai DCA berdasarkan Gambar 2 merupakan selisih antara temperatur keluaran uap ekstraksi dengan temperatur air umpan yang masuk ke HPH. Persamaan untuk menghitung nilai DCA dinyatakan dalam persamaan 2.

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

Dimana nilai T_d merupakan suhu kondensat keluar HPH dalam satuan °C dan $T_{fw\ in}$ merupakan temperatur air umpan masuk HPH dalam satuan °C.

Perhitungan selanjutnya adalah *Temperature Rise* (TR), yaitu selisih suhu air umpan masuk dan suhu air umpan keluar HPH. Tujuan dari perhitungan untuk mengetahui seberapa besar suhu air umpan yang dapat dinaikkan dalam alat HPH. Persamaan yang digunakan pada perhitungan ini dinyatakan pada persamaan 3.

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

Hasil perhitungan TTD, DCA, dan TR kemudian dibandingkan dengan spesifikasi pabrik yang ditunjukkan pada Tabel 1 untuk menentukan kinerja HPH.

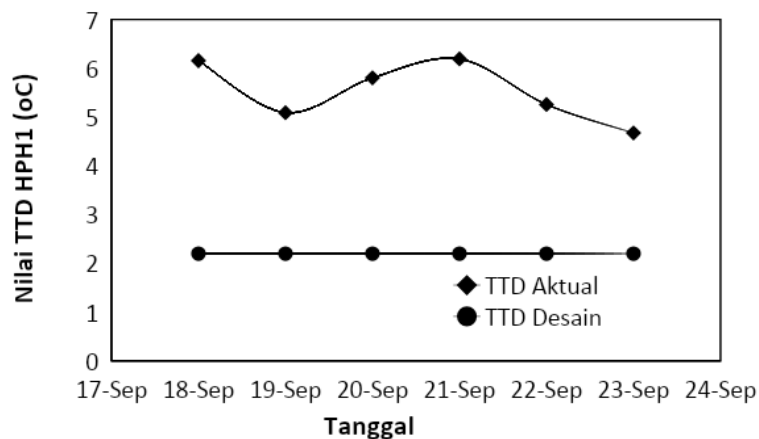
Tabel 1. Nilai desain TTD, DCA, dan TR pada masing – masing HPH

Parameter	HP Heater 3	HP Heater 2	HP Heater 1
TTD	3.5	4.7	2.2
DCA	1.2	8.2	6.3
TR	21	37	35

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Kinerja HP Heater Berdasarkan Nilai TTD

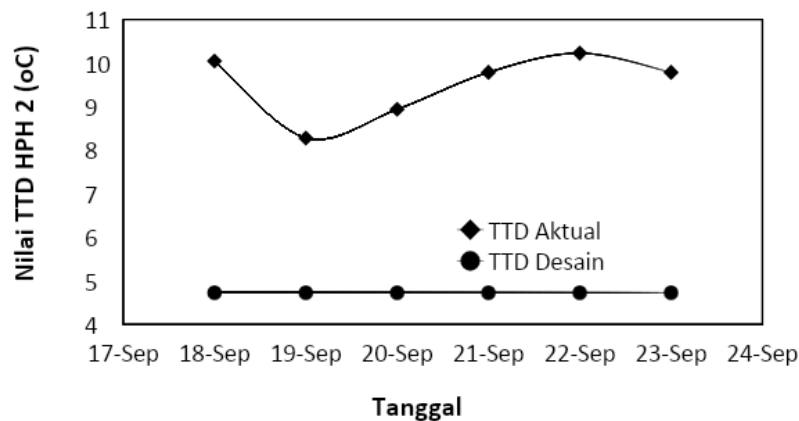
TTD (*Terminal Temperature Difference*) merupakan parameter yang menunjukkan kinerja *feedwater heater* pada zona *desuperheating*. Perbandingan TTD aktual dan desain HP Heater 1, 2 dan 3 ditunjukkan pada Gambar 2, 3, dan 4.



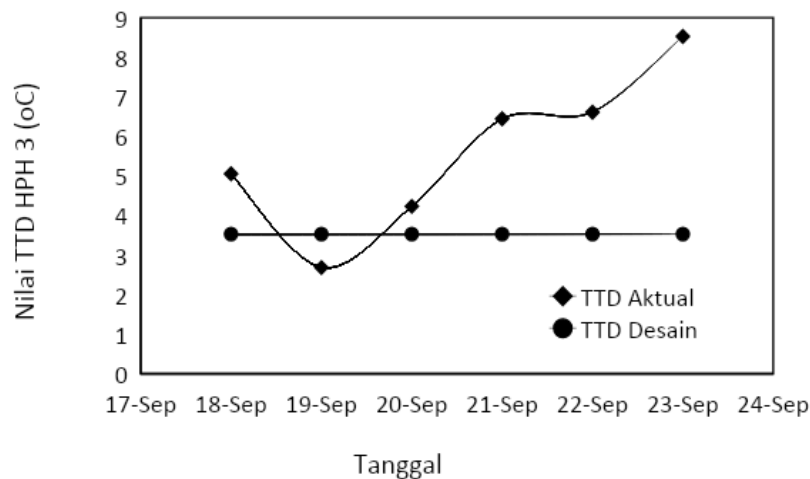
Gambar 2. Nilai TTD HP heater 1

Hasil perhitungan dari data hasil pengamatan selama enam hari diketahui bahwa nilai TTD aktual HP Heater 1 lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai desainnya (Gambar 2). Nilai TTD rata-rata aktual HP Heater 1 adalah 5.35 °C sedangkan nilai TTD desainnya adalah 2.2 °C. Kenaikan nilai TTD ini sebesar 143% yang menunjukkan terjadi penurunan kinerja HP Heater 1 dalam proses transfer panas.

Pada Gambar 3 ditunjukkan perbandingan nilai *terminal temperature difference* (TTD) aktual dan TTD desain dari *high pressure heater* (HPH) 2. Nilai TTD aktual HPH 2 lebih tinggi dari nilai TTD desainnya, rata-rata TTD aktual HP Heater 2 adalah 9.5 °C sedangkan TTD desain 4.37 °C, kenaikan nilai TTD sebesar 117%. Kondisi ini menunjukkan bahwa penukaran panas yang kurang maksimal pada HPH 2 pada zona *desuperheating*-nya.



Gambar 3. Nilai TTD HP heater 2



Gambar 4. Nilai TTD HP heater 3

Berdasarkan Gambar 4 ditunjukkan bahwa nilai TTD (*Terminal Temperature Difference*) HP Heater 3 mengalami kenaikan sebesar 59.71% selama enam hari pengamatan. Nilai TTD desain HP Heater 3 adalah 3.5 °C sedangkan nilai TTD aktual rata-rata sebesar 5.59 °C. Kenaikan ini menunjukkan terjadi penurunan kinerja alat *high pressure heater* 3.

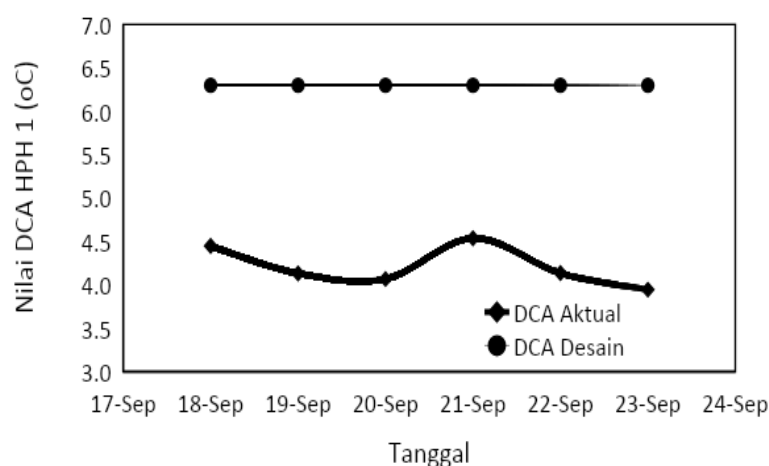
Berdasarkan nilai TTD HP Heater yang digunakan pada unit 1 diketahui bahwa HP Heater 3 lebih efisien dibandingkan dengan HP heater 2 dan HP heater 1. Hal ini menunjukkan berkurangnya kinerja *high pressure heater* pada unit 1 PT PLN Nusantara Power UP Tanjung Awar-Awar. Semakin tinggi nilai TTD dibanding desain maka semakin berkurang nilai efektifitas atau kinerja alat. Kondisi sebaliknya, semakin kecil nilai TTD atau mendekati nilai desain maka kinerja alat HP Heater semakin baik [8]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh J.R. Almedilla, dkk. (2018) dinyatakan bahwa nilai TTD HP Heater berbanding lurus dengan penyesuaian beban pembangkit [6]. Semakin rendah beban atau daya keluaran maka semakin rendah nilai TTD dan sebaliknya. Perubahan beban yang tidak menentu setiap hari akan mempengaruhi nilai TTD. Pada beban yang rendah, aliran uap ekstraksi yang masuk ke HP heater akan berkurang, sehingga suhu yang masuk ke zona *desuperheating* juga menurun.

Kenaikan nilai TTD HP *Heater* juga dipengaruhi oleh level *drain* uap ekstraksi yang tidak sesuai [9]. Semakin tinggi level *drain* ekstraksi dalam heater maka semakin kecil nilai TTD yang dihasilkan karena semakin kecil perbedaan suhu air dengan sumber panas atau uap. Semakin rendah level *drain* ekstraksi maka semakin besar nilai TTD karena suhu uap ekstraksi yang masuk tinggi. Kenaikan nilai TTD juga dapat dipengaruhi oleh level air dalam alat penukar panas. Jika level air umpan terlalu tinggi maka akan mengakibatkan induksi air ke turbin melalui pipa ekstraksi uap, penurunan efisiensi termal, dan penurunan efisiensi turbin. Kondisi level air terlalu rendah dapat mengakibatkan kerusakan pada *shell*, *baffle*, dan *tube*. Hal ini diakibatkan aliran panas yang terlalu tinggi yang dapat menimbulkan kerusakan peralatan serta penurunan efisiensi termal [10].

Kondisi lain yang dapat mempengaruhi nilai TTD ini adalah faktor kekotoran atau *fouling* pada sisi *tube heater* [11][12]. *Fouling* dapat terjadi karena adanya endapan atau lapisan kotor yang menempel pada permukaan penukar panas sehingga dapat menghambat transfer panas antara fluida dingin dan fluida panas [13] [14]. Peningkatan nilai TTD HP *heater* juga dipengaruhi oleh adanya kebocoran pada *heater* [9]. Kebocoran pada sisi *tube* mengakibatkan banyaknya air yang keluar dari sistem sehingga terjadi penurunan level air dalam *heater* dan penurunan suhu air umpan. Kebocoran pada bagian *shell heater* akan menyebabkan masuknya uap panas ke dalam *tube* dan terjadi kontak langsung dengan air umpan. Kondisi ini menyebabkan perbedaan suhu antara air umpan dan uap menjadi lebih tinggi sehingga nilai TTD akan semakin besar [15].

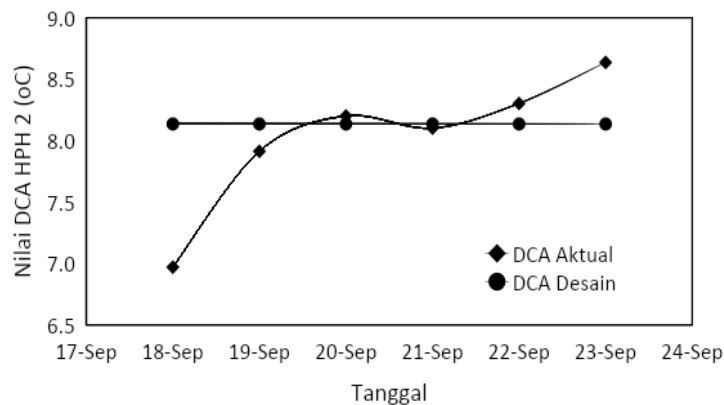
3.2. Analisis Kinerja HP *Heater* Berdasarkan Nilai DCA

Parameter lain yang digunakan untuk menentukan kinerja alat *high pressure heater* adalah nilai DCA (*Drain Cooler Approach*). Nilai DCA menunjukkan efektifitas perpindahan panas pada *feedwater heater* pada zona *subcooling*. Gambar 5, 6 dan 7 berikut ini merupakan hasil perbandingan antara nilai DCA aktual dan DCA desain HP *Heater* 1,2 dan 3.



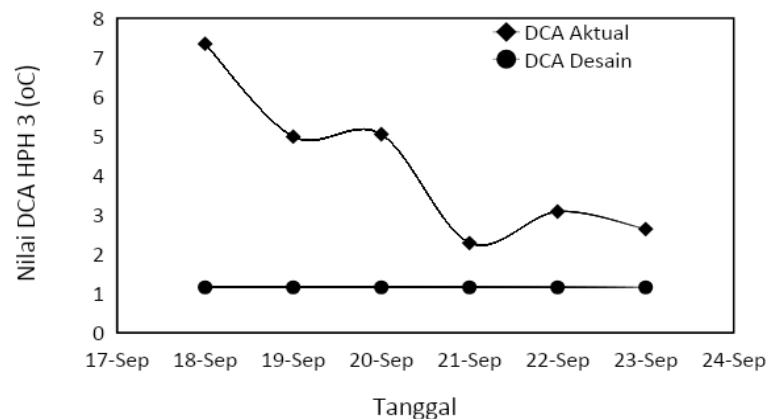
Gambar 5. Nilai DCA HP *heater* 1

Berdasarkan Gambar 5 ditunjukkan bahwa nilai DCA aktual HP *Heater* 1 lebih rendah dibandingkan dengan nilai desainnya di mana nilai rata-rata aktualnya adalah 4.2°C sedangkan nilai desainnya adalah 6.3°C. Penurunan nilai DCA ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan pertukaran panas yang terjadi pada zona *subcooling* HP *Heater* 1.



Gambar 6. Nilai DCA HP heater 2

Pada Gambar 6 ditunjukkan nilai DCA HP Heater 2 sama dengan nilai DCA desain HP Heater 2. Nilai desain DCA HP Heater 2 sebesar 8 °C dan nilai aktual rata-rata adalah 8.02 °C. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja alat HP Heater 2 masih baik dan layak dioperasikan.

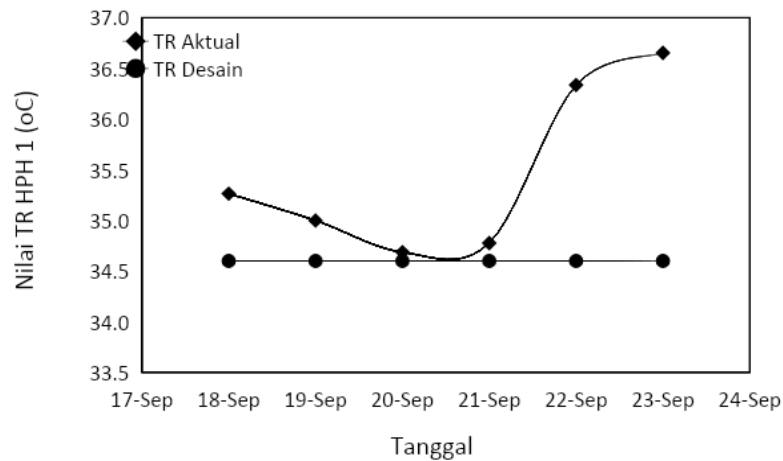


Gambar 7. Nilai DCA HP heater 3

Pada Gambar 7 ditunjukkan bahwa nilai DCA HP Heater 3 mendekati nilai desainnya dengan rata-rata nilai DCA adalah 8 °C, yang menunjukkan terjadi peningkatan kinerja alat karena semakin rendahnya nilai DCA. Semakin rendah nilai DCA maka semakin baik kinerjanya dan sebaliknya semakin tinggi nilai DCA, semakin rendah kinerja *feedwater heater* [1]. Perbedaan nilai DCA pada *high pressure heater* dapat dipengaruhi oleh tingkat atau level air. Apabila level air menurun maka nilai DCA akan semakin tinggi akibat semakin besarnya panas dari uap yang diserap oleh air dalam alat penukar panas [16]. Berdasarkan hasil evaluasi performa kinerja *high pressure heater* yang digunakan pada PT PLN Nusantara Power UP Tanjung Awar-Awar pada unit 1 masih baik dan layak dioperasikan.

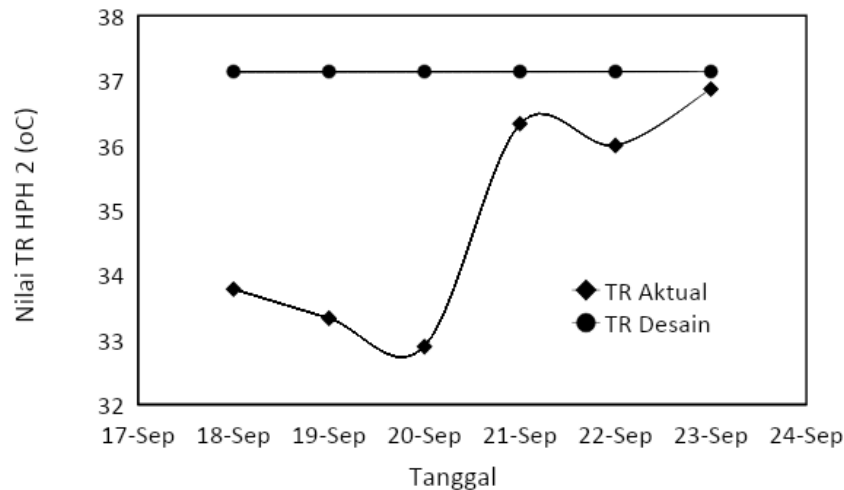
3.3. Analisis Kinerja HP Heater Berdasarkan Nilai TR

Parameter lain yang digunakan untuk menentukan kinerja *high pressure heater* adalah nilai TR (*Temperature Rise*). Nilai TR menunjukkan peningkatan suhu air umpan yang melewati alat penukar panas. Perbandingan nilai TR aktual dan design juga dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja alat HP Heater.



Gambar 8. Nilai TR HP heater 1

Berdasarkan Gambar 8 ditunjukkan bahwa terjadi kenaikan nilai TR setelah hari ke 3 pengamatan. Kenaikan nilai TR menunjukkan terjadi peningkatan efektivitas kerja dari HP Heater 1. Penurunan TR hari pertama sampai hari kedua menunjukkan adanya penurunan performa namun masih pada ambang batas yang diperbolehkan, karena nilai TR berada di atas batas desain dari HP Heater 1 dengan rata-rata nilai TR adalah 35.4 °C. Peningkatan nilai TR dari alat HP Heater diatas nilai desain menunjukkan besarnya kenaikan suhu yang terjadi dan sebaliknya.

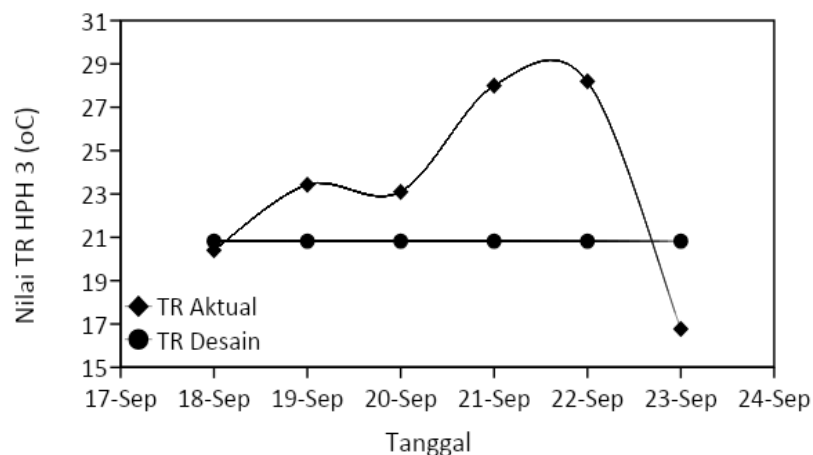


Gambar 9. Nilai TR HP heater 2

Berdasarkan Gambar 9 diketahui bahwa nilai TR HP Heater 2 berada dibawah nilai desain. Rata-rata nilai TR aktual HP Heater 2 adalah 35 °C sedangkan nilai TR desain 37.1 °C, hal ini menunjukkan bahwa HP Heater 2 mengalami penurunan efisiensi. Berdasarkan pengamatan selama enam hari, nilai TR meningkat setiap harinya mendekati nilai desain yang menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kinerja dari alat HP Heater 2.

Berdasarkan Gambar 10 ditunjukkan nilai TR HPH 3 stabil yaitu terjadi kenaikan mulai hari pertama sampai hari kelima dan menurun pada hari keenam. Nilai rata-rata TR aktual HP Heater 3 adalah 23.32 °C sedangkan nilai TR desainnya adalah 21 °C yang menunjukkan kinerja HPH 3 masih baik dan layak untuk beroperasi. Semakin tinggi nilai TR aktual maka semakin

baik kinerja dari HP *Heater* dan semakin banyak panas yang diserap oleh air umpan yang masuk sistem. Penurunan dan peningkatan nilai TR dapat dipengaruhi oleh perubahan beban pembangkit. Semakin tinggi beban pabrik maka semakin banyak uap yang dibutuhkan sehingga semakin banyak air umpan yang akan dipanaskan. Dengan demikian perubahan beban dapat mempengaruhi kinerja alat penukar panas [17]. Perubahan nilai TR juga dapat dipengaruhi oleh level air dalam alat penukar panas. Level air umpan terlalu tinggi menyebabkan proses perpindahan panas dari ekstraksi uap tidak optimal. Hal ini akibat semakin besar air dalam HPH yang menyebabkan semakin besar ekstraksi uap dan waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan air umpan tersebut [9].



Gambar 10. Nilai TR HP heater 3

Hasil analisis nilai TTD, DCA, dan TR dari HPH 3 selama enam hari menunjukkan adanya kenaikan nilai TTD sebesar 59,71% dari nilai desain dan nilai DCA dan TR berada pada batas desain alat HPH 3. Hasil ini menandakan bahwa meskipun ada sedikit penurunan dalam transfer panas pada zona *desuperheating*, kinerja HPH 3 masih baik dan stabil dalam meningkatkan suhu air umpan. Pada HPH 2, peningkatan nilai TTD sebesar 117% menunjukkan adanya penurunan kinerja alat pada zona *desuperheating* dengan nilai DCA sesuai dengan desain dan nilai TR yang semakin meningkat yang menunjukkan kinerja alat semakin baik. Kinerja HPH 1 menunjukkan hasil TTD naik 143% dengan nilai DCA berada di bawah batas desain yang menunjukkan alat beroperasi dengan baik. Secara keseluruhan, kinerja HPH 1, 2, dan 3 berdasarkan metode ASME PTC 12.1 masih berfungsi dengan baik dan layak dioperasikan karena nilai TTD, DCA, dan TR berada dalam batas desain. Hal ini menunjukkan bahwa alat HPH yang digunakan oleh PT PLN Nusantara Power UP Tanjung Awar-Awar masih memenuhi kriteria kinerja untuk operasi yang aman dan efisien meskipun ada penurunan kinerja yang dipengaruhi oleh perubahan beban pabrik.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan evaluasi diperoleh bahwa berdasarkan nilai TTD, DCA, dan TR, kinerja HPH 3, HPH 2, dan HPH 1 pada PT PLN Nusantara Power UP Tanjung Awar – Awar berfungsi dengan baik . Adapun faktor yang mempengaruhi kenaikan dan penurunan nilai TTD (*Terminal Temperature Difference*), DCA (*Drain Cooler Approach*), dan TR

(*Temperature Rise*) adalah adanya perubahan beban pembangkit, level drain uap dan air, dan laju alir air umpan maupun laju alir uap ekstraksi.

Berdasarkan evaluasi ini, disarankan agar dilakukan perhitungan evaluasi kinerja alat *High Pressure Heater* dengan rentang beberapa tahun terakhir sehingga dapat diketahui faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja alat.

REFERENSI

- [1] A. Nurfitriani, Belyamin, dan Fachruddin, "Analisis Performa High Pressure Heater (HPH) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, hal. 1190–1198, 2019.
- [2] M. D. Wandono, "Rancangan Closed Feedwater Heater untuk Boiler dengan Kapasitas 45 MWt," Tugas Akhir, Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 2017.
- [3] M.B. Fazabih, "Analisa Performa High Pressure Heater 1 Pada Unit 1 PLTU 3 Jawa Timur Tanjung Awar-Awar Tuban," Tugas Akhir, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, 2015.
- [4] 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," *Distilat Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 8, no. 2, hal. 308–314, 2023.
- [5] Y. A. Saputri, K. Sa'diyah, dan E. Yulianto, "Analisis Efisiensi Heater Pada Pengolahan Steam Unit 7 Pembangkit Listrik Tenaga Uap," *Distilat Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 8, no. 1, hal. 54–63, 2023.
- [6] J. R. Almedilla, L. L. Pabilona, dan E. P. Villanueva, "Feed Water Heaters Performance Indicators and Characteristics on the 405MW Coal-Thermal Power Plant," *Mindanao Journal of Science Technolgy*, vol. 16, hal. 171–186, 2018.
- [7] ASME, *Closed Feedwater Heaters*. New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2000.
- [8] K. C. Kushwaha dan B. Koshti, "Performance Analysis and Off Design Behaviour of Feed Water Heater," *International Journal Research in Aeronautical Mechanical Engineering*, vol. 3, no. 10, hal. 9–15, 2015.
- [9] H. B. P. Parapa, "Dampak Perubahan Parameter Closed Feedwater Heater terhadap Heat Rate Losses pada PLTU Kapasitas 110 MW," *Cyclotron Jurnal Teknik Elektro*, vol. 4, no. 1, hal. 1–4, 2021.
- [10] A. A. Kumar dan A. Buckshumiyam, "Performance Analysis of Regenerative Feedwater Heaters in 210MW Thermal Power Plant," *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 8, no. 8, hal. 1490–1495, 2017.
- [11] W. A. K. D. Kusuma, "Analisa Penyebab Kerusakan Pada High Pressure Heater (HPH) 2 Di Workshop Peralatan Industri Berat (PIB) PT. Barata Indonesia (Persero)," Magang Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2020.
- [12] V. V. Bode, P. V. G. Gore, P. G. Student, P. R. P. P. Welfare, dan E. Trust, "Performance Analysis of Regenerative Feed Water Heating system in 270 MW Thermal Power Plant," *International Research Journal of Engineering Technology*, vol. 04, no. 03, hal. 1180–1186, 2016.
- [13] M. A. Antar dan S. M. Zubair, "The Impact of Fouling on Performance Evaluation of

- Multi-zone Feedwater Heaters,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 27, no. 14–15, hal. 2505–2513, 2007.
- [14] M. R. Zain dan A. Mustain, “Evaluasi Efisiensi Heat Exchanger (He - 4000) Dengan Metode Kern,” *Distilat Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 6, no. 2, hal. 415–421, 2023.
- [15] I. A. Saputra, “Kajian Terminal Temperatur Difference, Drain Cooler Approach, Dan Efektivitas Pada High Pressure Heater Terhadap Net Plant Heat Rate Pltu Ombilin,” Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jakarta, 2021.
- [16] 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.
- [17] J. R. Almedilla, L. L. Pabilona, dan E. P. Villanueva, “Performance Evaluation and Off Design Analysis of the HP and LP Feed Water Heaters on a 3 × 135 MW Coal Fired Power Plant,” *Journal of Applied Mechanical Engineering*, vol. 07, no. 03, hal. 8–20, 2018.