

Analisis Efektivitas *High Pressure Heater* (HPH) 7 PT. Z

Raharja Puja Gustika^{1,*}, Ignatius Riyadi Mardiyanto¹, dan Indriyani¹

¹Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung 40012

E-mail : raharja.puja.tken21@polban.ac.id*

Abstract

High Pressure Heater (HPH) is a component that plays an important role in cycle efficiency because HPH is an initial heating device used to increase cycle efficiency by heating feed water before entering the boiler. This study was conducted to analyze the effectiveness of the High Pressure Heater at PT. Z. This determination is based on 2011 commissioning data and actual data from March to August 2023. Based on the results of the calculation of HPH 7, the effectiveness of subcooling zone commissioning data is 76.04%, condensing zone is 87.63% and desuperheating zone is 95.21%, while the effectiveness of actual data on subcooling zone is 75.69%, condensing zone is 85.62% and desuperheating zone is 94.48%. The results obtained show that HPH 7 is still in good effectiveness so it does not need to be overhauled. However, HPH 7 needs further monitoring because there are indications of rising condensate water levels, tube leaks, or insufficient venting from the analysis results.

Keywords: PLTU, High Pressure Heater, Close Feedwater Heater, Effectiveness

Abstrak

High Pressure Heater (HPH) merupakan komponen yang berperan penting dalam efisiensi siklus karena HPH adalah alat pemanas awal yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi siklus dengan cara memanaskan air umpan sebelum memasuki boiler. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis efektivitas High Pressure Heater PT. Z. Penentuan ini berdasarkan data commissioning tahun 2011 dan data aktual pada bulan Maret s.d Agustus 2023. Berdasarkan hasil dari perhitungan HPH 7 didapatkan efektivitas data commissioning subcooling zone sebesar 76,04%, condensing zone sebesar 87,63% dan desuperheating zone sebesar 95,21%, sedangkan efektivitas data aktual pada subcooling zone sebesar 75,69%, condensing zone sebesar 85,62% dan desuperheating zone sebesar 94,48%. Dari hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa HPH 7 masih berada dalam efektivitas yang baik sehingga tidak perlu dilakukan overhaul. Akan tetapi, HPH 7 perlu dilakukan pemantauan lebih lanjut karena muncul indikasi level air kondensat naik, tube leak, atau venting tidak cukup dari hasil analisis.

Kata kunci : PLTU, High Pressure Heater, Close Feedwater Heater, Efektivitas

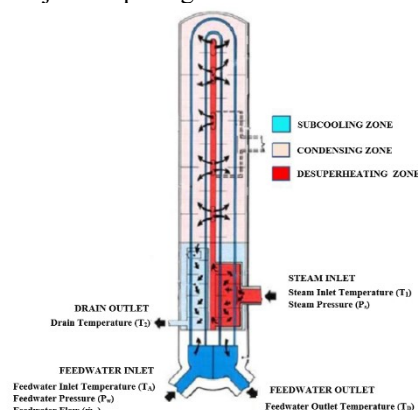
1. Pendahuluan

High Pressure Heater (HPH) merupakan perangkat penukar panas yang banyak digunakan di sektor pembangkit listrik tenaga uap. Alat ini berfungsi guna memanasi air umpan sebelum masuk pada boiler, dengan melibatkan uap panas yang diambil dari turbin sebagai media pemanas. HPH terdiri dari sebuah selubung (*shell*) yang mengandung uap serta sejumlah tabung (*tube bundle*) di bagian dalamnya yang berisi air umpan. Perbedaan suhu antara fluida di dalam tabung dan di dalam selubung memungkinkan terjadinya transmisi panas antara aliran fluida dalam tabung dan fluida di luar tabung.

High Pressure Heater (HPH) bisa meminimalisir beban kerja boiler dikarenakan air umpan dipanaskan terlebih dahulu di HPH sebelum masuk ke boiler. Dengan demikian, suhu air umpan sudah tinggi saat memasuki boiler, sehingga jumlah panas yang dibutuhkan boiler guna merubah air umpan menjadi uap menjadi lebih sedikit. Penurunan keefektifan HPH tidak hanya mengurangi efisiensi termal PLTU, tetapi juga dapat meningkatkan biaya operasional dan risiko kegagalan sistem. Keefektifan dari HPH di PT. Z tidak diukur dan dianalisis secara mendalam, sehingga muncul kekhawatiran bahwa efektivitas HPH dapat menurun yang berpotensi mengganggu operasi di

PLTU. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan efektivitas HPH.

HPH yang digunakan di PT. Z adalah jenis *three zone heater*, yaitu *desuperheating*, *condensing*, dan *subcooling/drain cooling zone*. *Three zone heater* HPH ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gambar 1. High Pressure Heater

Berikut merupakan penjelasan dari gambar 1:

1. Desuperheating zone

Desuperheating zone adalah zona dimana terjadinya pertukaran panas antara uap ekstraksi HP Turbin dengan air pengisi yang keluar dari *heater*, sehingga uap mengalami penurunan temperatur

hingga mendekati temperatur saturasinya sebelum masuk ke dalam zona *condensing*, sedangkan air pengisi akan memiliki temperatur yang melebihi atau kurang dari temperatur saturasi.

2. *Condensing zone*

Condensing zone adalah zona dimana uap yang mendekati kondisi jenuh masuk melewati area baffle, di bagian shell uap langsung diembunkan. Uap akan melepaskan panas laten kondensasi ke air umpan (*feedwater*) sehingga suhu air umpan akan meningkat sedangkan uap yang kehilangan panas laten akan mulai mengembun menjadi kondensat pada suhu konstan. *Condensing zone* terdiri dari *shell*, *channel*, *steam inlet*, *drains inlet*, *drains outlet*, *baffle* dan *tube supports*. Terdapat venting pada *condensing zone* untuk membuang *non-condensable gas*.

3. *Subcooling zone*

Subcooling zone adalah zona kondensat uap yang memiliki suhu saturasi bersentuhan dengan air umpan yang memiliki suhu di bawah saturasi, sehingga kondensat uap melepaskan panasnya ke air umpan. Kondensat uap ini akan dialirkan ke *feedwater heater* yang bertekanan lebih rendah karena dapat memberikan panas tambahan untuk memanaskan air umpan yang lebih dingin.

Perhitungan *High Pressure Heater*.

1. Menghitung entalpi spesifik *inlet* uap (h_1) menggunakan tabel A-4 [8]
2. Menghitung entalpi spesifik *oulet* uap (h_2) menggunakan tabel A-5 [8]
3. Menghitung temperatur pengembunan (T_{sat}) menggunakan tabel A-3 [8]
4. Mencari entalpi spesifik pengembunan ($h_{sat,f}$) dan ($h_{sat,g}$) menggunakan tabel A-2 [8]
5. Menghitung entalpi spesifik *inlet* air umpan (h_A) menggunakan tabel A-5 [8]
6. Menghitung entalpi spesifik *oulet* air umpan (h_D) menggunakan tabel A-5 [8]
7. Menghitung laju aliran uap ($\dot{m}_s$)

$$\dot{m}_s = \dot{m}_w \frac{(h_D - h_A)}{(h_1 - h_2)} \quad (1)$$

Keterangan:

- $\dot{m}_s$: Laju aliran massa uap (kg/s)
- $\dot{m}_w$: Laju aliran massa air umpan (kg/s)
- h_A : Entalpi spesifik *in* air umpan (kJ/kg)
- h_D : Entalpi spesifik *out* air umpan (kJ/kg)
- h_1 : Entalpi spesifik *in* uap (kJ/kg)
- h_2 : Entalpi spesifik *out* uap (kJ/kg)

8. Perhitungan *subcooling*, *condensing* dan *desuperheating zone*:

- Laju perpindahan panas (Q)
- $$Q = \dot{m}_s \cdot \Delta h \quad (2)$$

Keterangan:

- Q : Laju perpindahan panas (kW)
- $\dot{m}_s$: Laju aliran massa uap (kg/s)
- Δh : Perubahan entalpi uap (kJ/kg)

- Entalpi spesifik *out* air umpan zona *subcooling* dan *condensing*

$$h_{w,out} = \frac{Q}{\dot{m}_w} + h_{w,in} \quad (3)$$

Keterangan:

- Q : Laju perpindahan panas (kW)
- $h_{w,out}$: Entalpi spesifik *out* air umpan (kJ/kg)
- $h_{w,in}$: Entalpi spesifik *in* air umpan (kJ/kg)
- $\dot{m}_s$: Laju aliran massa uap (kg/s)

- Temperatur *out* air umpan zona *subcooling* dan *condensing* menggunakan tabel A-5 [8] berdasarkan nilai $h_{w,out}$

- Kapasitas fluida panas dan dingin:

$$C_s = \frac{Q}{(T_{s,in} - T_{s,out})} \quad (4)$$

$$C_w = \frac{Q}{(T_{w,out} - T_{w,in})} \quad (5)$$

Jika $C_s < C_w$, maka C_s adalah C_{min} berlaku sebaliknya

Keterangan:

- C_s : Kapasitas fluida panas (kW.°C)
- C_w : Kapasitas fluida dingin (kW.°C)
- Q : Laju perpindahan panas (kW)
- $T_{s,in}$: Temperatur *in* uap (°C)
- $T_{s,out}$: Temperatur *out* uap (°C)
- $T_{w,in}$: Temperatur *in* air umpan (°C)
- $T_{w,out}$: Temperatur *out* air umpan (°C)

- Laju perpindahan panas maksimal (Q_{max})

$$Q_{max} = C_{min}(T_{s,in} - T_{w,in}) \quad (6)$$

Keterangan:

- Q : Laju perpindahan panas (kW)
- C_{min} : Kapasitas panas minimal (kW.°C)
- $T_{s,in}$: Temperatur *in* uap (°C)
- $T_{w,in}$: Temperatur *in* air umpan (°C)

- Efektivitas (ϵ)

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_{max}} \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan:

- ϵ : Efektivitas (%)
- Q : Laju perpindahan panas (kW)
- Q_{max} : Laju perpindahan panas maksimal (kW)

- Log Mean Temperatur Difference ($\Delta LMTD$)

$$\Delta LMTD_{CF} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{(T_{s,in} - T_{w,out}) - (T_{s,out} - T_{w,in})}{\ln\left(\frac{(T_{s,in} - T_{w,out})}{(T_{s,out} - T_{w,in})}\right)} \quad (8)$$

Keterangan:

- $T_{s,in}$: Temperatur *in* uap (°C)
- $T_{s,out}$: Temperatur *out* uap (°C)
- $T_{w,in}$: Temperatur *in* air umpan (°C)
- $T_{w,out}$: Temperatur *out* air umpan (°C)

- Koefisien perpindahan panas menyeluruh (U)

$$U = \frac{Q}{A.F.\Delta T_{LMTD}} \quad (9)$$

Keterangan:

- U : Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (kW/m².°C)

Q : Laju perpindahan panas (kW)
 A : Luasan area perpindahan kalor pada penukar kalor (m²)
 F : Faktor koreksi
 ΔT_{LMTD} : Log Mean Temperatur Difference

- Number of Transfer Units (NTU)

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} \quad (10)$$

Keterangan:

U : Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (kW/m².°C)
 A : Luasan area perpindahan kalor pada penukar kalor (m²)
 C_{min} : Kapasitas panas minimal (kW/°C)

9. Terminal Temperature Difference (TTD)

$$TTD = T_{sat} - T_D \quad (11)$$

Keterangan:

T_{sat} : Temperatur saturasi uap (°C)
 T_D : Temperatur out air umpan (°C)

10. Drain Cooling Approach (DCA)

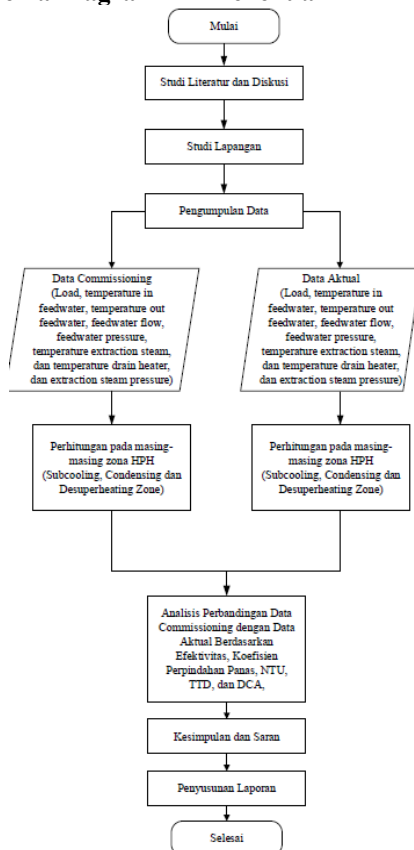
$$DCA = T_2 - T_A \quad (12)$$

Keterangan:

T_2 : Temperatur out uap (°C)
 T_A : Temperatur in air umpan (°C)

2. Metodologi

2.1 Skema Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram alir penelitian

2.2 Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data *commissioning* dan data aktual. Data-data tersebut sudah tersedia di tempat penelitian PT. Z. Data *commissioning* merupakan data yang diperoleh pada saat *start up* HPH 7 Unit 2 dioperasikan pada waktu pertama kali. Data aktual didapatkan penulis melalui CCR PT Z. Data aktual yang dikumpulkan yaitu, *temperature in feedwater* (t_A), *temperature out feedwater* (t_D), *feedwater flow* ($\dot{m}_w$), *feedwater pressure* (P_w), *temperature in steam* (T_1), *temperature drain heater* (T_2) dan *steam pressure* (P_s). Parameter tersebut yang digunakan dalam pengolahan data adalah parameter dari bulan Maret 2023 – Agustus 2023.

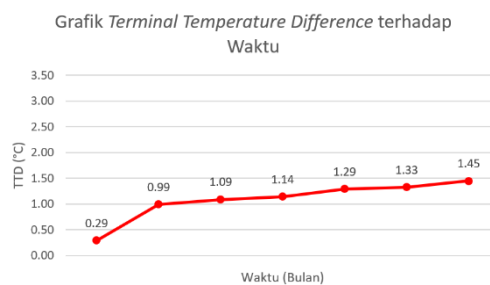
Data spesifikasi alat juga diperlukan, data spesifikasi *high pressure heater* sebagai berikut:

- Luasan perpindahan panas total = 925 m²
- Luasan *desuperheating zone* = 105 m²
- Luasan *condensing zone* = 738 m²
- Luasan *drain cooling zone* = 82 m²

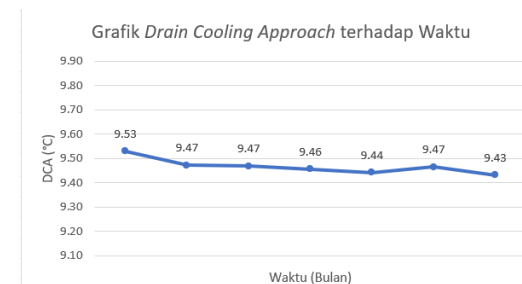
3. Hasil dan Pembahasan

Berikut hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan mengenai analisis efektivitas *High Pressure Heater* (HPH) 7.

3.1 Analisis Terminal Temperature Difference dan Drain Cooling Approach



Gambar 3. Grafik Terminal Temperature Difference terhadap waktu



Gambar 4. Grafik Drain Cooling Approach terhadap waktu

Table 1. Typical responses to feedwater heater problems [4]

Problem	ΔT	TTD	DCA
Inadequate vent	Turun	Naik	Turun
Level increase	Turun	Naik	Turun
Level decrease	Naik	Turun	Naik
Tube fouling	Turun	Naik	Naik
Tube leak	Turun	Naik	Turun
High FW Flow	Turun	Naik	Naik
Plugged tubes	Turun	Naik	Naik

Berdasarkan gambar 3 dan 4 terjadi kenaikan *Terminal Temperature Difference* (TTD) dan penurunan *Drain Cooling Approach* (DCA) dalam *High Pressure Heater* (HPH). Berdasarkan tabel 1 ada beberapa faktor yang mungkin menyebabkan TTD naik dan DCA turun yaitu, *venting* tidak cukup, peningkatan level, dan *tube leak*.

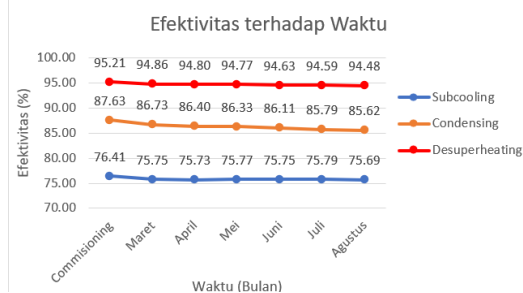
Venting tidak cukup menyebabkan akumulasi gas *non-condensable* dalam HPH. Gas *non-condensable* menurunkan efisiensi perpindahan panas antara uap dan air umpan karena membentuk lapisan isolasi, sehingga TTD meningkat dan DCA menurun.

Peningkatan level mengurangi volume ruang untuk uap di HPH mengganggu pola aliran dan perpindahan panas. Air yang berlebih juga bisa menurunkan efisiensi karena mengurangi area perpindahan panas.

Tube leak menyebabkan campuran uap dan air di dalam tabung bocor ke dalam ruang air umpan. Kebocoran ini mengganggu pola aliran dan menurunkan efisiensi perpindahan panas antara uap dan air umpan.

Venting tidak cukup, naik, dan *tube leak* semuanya menyebabkan penurunan efisiensi perpindahan panas dalam HPH. Hal ini menyebabkan suhu air umpan keluar lebih rendah dari yang diharapkan, meningkatkan TTD. Pada saat yang sama, *drain* yang keluar dari HPH menjadi kurang didinginkan, sehingga suhunya mendekati suhu air umpan masuk, menurunkan DCA. Jadi, peningkatan TTD dan penurunan DCA pada HPH adalah indikasi adanya masalah dalam efisiensi perpindahan panas, sering kali disebabkan oleh *venting* yang tidak cukup, *water level* yang naik, dan *tube leak*.

3.2 Analisis Efektivitas Terhadap Waktu



Gambar 5. Efektivitas terhadap waktu

Berdasarkan gambar 5 efektivitas setiap zona HPH 7 data aktual menunjukkan penurunan efektivitas seiring waktu jika dibandingkan dengan data *commissioning*. Penurunan efektivitas ini bisa terjadi karena *venting* tidak cukup, peningkatan level atau *tube bocor*.

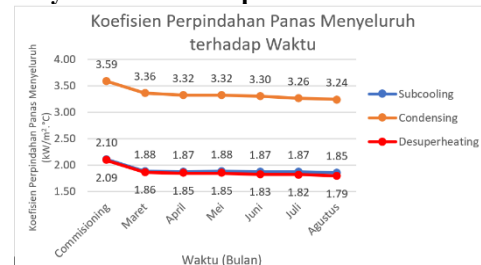
Subcooling zone, data *commissioning* nilai efektivitas sebesar 76,4%, nilai Q sebesar 3442,05 kW, nilai ΔT_{LMTD} sebesar 19,95 °C. Data aktual bulan Agustus nilai efektivitas sebesar 75,69%, nilai Q sebesar 29482,08 kW, nilai ΔT_{LMTD} adalah 19,44°C. *Venting* tidak cukup menyebabkan akumulasi gas *non-condensable*, menurunkan perpindahan panas lebih lanjut. Kondensat tidak cukup didinginkan, sehingga

drain keluar dengan suhu yang lebih tinggi, mendekati suhu air umpan masuk. Kebocoran dalam zona *subcooling* dapat menyebabkan campuran antara air umpan dan uap yang mengurangi perbedaan suhu efektif antara fluida dan menurunkan ΔT_{LMTD} serta level air yang lebih tinggi dari yang diinginkan dapat mengurangi ruang untuk air yang lebih dingin sehingga terjadi penurunan laju perpindahan panas (Q) sehingga efektivitas menurun.

Condensing zone, data *commissioning* nilai efektivitas sebesar 87,63%, nilai Q sebesar 40056,36 kW, nilai ΔT_{LMTD} sebesar 15,13 °C. Data aktual bulan Agustus efektivitas sebesar 385,62%, nilai Q sebesar 36771,71 kW, nilai ΔT_{LMTD} sebesar 15,38°C. *Venting* tidak cukup menyebabkan akumulasi gas *non-condensable*, menurunkan efisiensi kondensasi uap. Kebocoran dalam zona kondensasi menyebabkan air umpan bercampur dengan uap kondensat serta level air yang tinggi menyebabkan peningkatan laju kondensasi yang tidak seimbang, meningkatkan ΔT_{LMTD} karena masuknya air yang lebih dingin, sehingga perpindahan panas terganggu dan efektivitas menurun karena laju aliran uap efektif berkurang.

Desuperheating zone, data *commissioning* nilai efektivitas sebesar 95,21%, nilai Q sebesar 6207,28 kW, nilai ΔT_{LMTD} sebesar 28,27 °C. Data aktual bulan Agustus nilai efektivitas sebesar 94,48%, nilai Q sebesar 5409,14 kW, nilai ΔT_{LMTD} sebesar 28,78°C. *Venting* yang tidak cukup menyebabkan akumulasi *non-condensable* menurunkan kemampuan perpindahan panas. gas *non-condensable* yang terakumulasi di zona ini menurunkan kemampuan perpindahan panas. Kebocoran menyebabkan campuran antara air umpan dan uap *superheated*, meningkatkan ΔT_{LMTD} karena adanya perbedaan suhu yang lebih besar. Namun, perpindahan panas yang tidak efisien menurunkan efektivitas. Level air yang tinggi menyebabkan ruang untuk uap *superheated* berkurang, mengurangi ruang untuk perpindahan panas yang efisien, dan menurunkan efektivitas.

3.3 Analisis Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh Terhadap Waktu



Gambar 6. Grafik koefisien perpindahan panas menyeluruh terhadap waktu

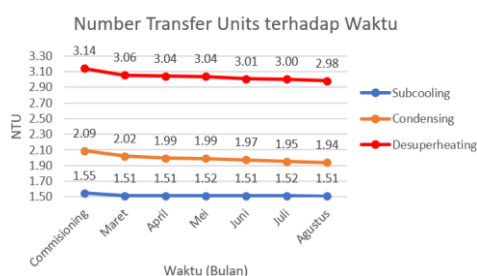
Berdasarkan gambar 6 koefisien perpindahan panas menyeluruh setiap zona HPH 7 data aktual menunjukkan penurunan seiring waktu jika dibandingkan dengan data *commissioning*. Penurunan efektivitas ini bisa terjadi karena *venting* tidak cukup, peningkatan level atau *tube bocor*.

Subcooling zone, data *commissioning* nilai U sebesar $2.10 \text{ kW/m}^2\text{.}^\circ\text{C}$, nilai Q sebesar $3442,05 \text{ kW}$, nilai ΔT_{LMTD} sebesar $19,95 \text{ }^\circ\text{C}$. Data aktual bulan Agustus nilai U sebesar $1,85 \text{ kW/m}^2\text{.}^\circ\text{C}$, nilai Q sebesar $29482,08 \text{ kW}$, nilai ΔT_{LMTD} sebesar $19,44^\circ\text{C}$. Venting yang tidak cukup menyebabkan akumulasi *non-condensable* menurunkan kemampuan perpindahan panas.. Kebocoran menyebabkan campuran antara air umpan dan uap yang mengurangi perbedaan suhu efektif antara fluida serta level air yang lebih tinggi dari yang diinginkan dapat menyebabkan penumpukan air kondensat yang tidak terkontrol, mengurangi ruang untuk air umpan yang lebih dingin, Faktor-faktor tersebut dapat menyebabkan penurunan ΔT_{LMTD} , penurunan laju perpindahan panas (Q) dan penurunan koefisien perpindahan panas menyeluruh (U).

Condensing zone, data *commissioning* nilai U sebesar $3,59 \text{ kW/m}^2\text{.}^\circ\text{C}$, nilai Q sebesar $40056,36 \text{ kW}$, nilai ΔT_{LMTD} adalah $15,13 \text{ }^\circ\text{C}$. Data aktual bulan Agustus nilai U sebesar $3,24 \text{ kW/m}^2\text{.}^\circ\text{C}$, nilai Q sebesar $36771,71 \text{ kW}$, nilai ΔT_{LMTD} adalah $15,38^\circ\text{C}$. Venting yang tidak cukup menyebabkan akumulasi *non-condensable* menurunkan kemampuan perpindahan panas. Kebocoran dalam zona kondensasi menyebabkan air umpan bercampur dengan uap kondensat serta level air yang tinggi menyebabkan peningkatan laju kondensasi yang tidak seimbang, meningkatkan ΔT_{LMTD} , tetapi menurunkan koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) karena aliran fluida yang terganggu dan penurunan laju perpindahan panas (Q).

Desuperheating zone, data *commissioning* nilai U sebesar $2,09 \text{ kW/m}^2\text{.}^\circ\text{C}$, nilai Q sebesar $6207,28 \text{ kW}$, nilai ΔT_{LMTD} sebesar $28,27 \text{ }^\circ\text{C}$. Data aktual bulan Agustus nilai U sebesar $1,79 \text{ kW/m}^2\text{.}^\circ\text{C}$, nilai Q sebesar $5409,14 \text{ kW}$, nilai ΔT_{LMTD} sebesar $28,78^\circ\text{C}$. Venting yang tidak cukup menyebabkan akumulasi *non-condensable* menurunkan kemampuan perpindahan panas. Kebocoran menyebabkan campuran antara air umpan dan uap *superheated*, meningkatkan ΔT_{LMTD} karena adanya perbedaan suhu yang lebih besar. Namun, perpindahan panas yang tidak efisien menurunkan koefisien perpindahan panas menyeluruh (U). Level air yang tinggi menyebabkan ruang untuk uap *superheated* berkurang, mengurangi ruang untuk perpindahan panas yang efisien, dan menurunkan koefisien perpindahan panas menyeluruh (U).

3.4 Analisis Number of Transfer Units Terhadap Waktu



Gambar 7. Grafik Number Transfer Units terhadap waktu

Berdasarkan gambar 7 NTU setiap zona HPH 7 data aktual menunjukkan penurunan seiring waktu jika dibandingkan dengan data *commissioning*. Penurunan nilai NTU ini dipengaruhi oleh perubahan nilai U . Nilai U yang rendah pada rumus $\text{NTU} = U.A/C_{\text{min}}$, penukar panas akan memiliki luas permukaan efektif yang lebih kecil untuk mentransfer panas atau memiliki kemampuan yang lebih rendah untuk melakukan transfer panas yang efisien. Akibatnya, nilai NTU yang dihitung dari rumus tersebut akan cenderung lebih rendah, menunjukkan bahwa efektivitas penukar panas dalam mentransfer panas antara dua fluida juga lebih rendah.

4. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil perhitungan data aktual efektivitas (ϵ) pada zona *subcooling* sebesar $75,69\%$, zona *condensing* sebesar $85,62\%$ dan zona *desuperheating* sebesar $94,48\%$.
2. Ditinjau dari hasil dan pembahasan antara data aktual dengan data *commissioning*, terjadi kenaikan pada TTD, penurunan DCA, efektivitas, koefisien perpindahan panas, dan NTU. Penurunan tersebut bisa terjadi karena venting tidak cukup, peningkatan level atau kebocoran tube.
3. Ditinjau dari nilai efektivitas, koefisien perpindahan kalor (U), NTU, TTD dan DCA data *commissioning* dengan data aktual tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Hal ini membuktikan bahwa HPH 7 masih berada dalam efektivitas yang baik sehingga tidak perlu dilakukan perbaikan pada *overhaul* yang akan datang. Akan tetapi, HPH 7 perlu dilakukan pemantauan lebih lanjut karena hasil analisis menunjukkan indikasi venting tidak cukup, peningkatan level air, atau *tube leak*.

Saran

1. Perlu dilakukan pemeriksaan dan pemantauan lebih lanjut untuk memastikan stabilitas operasi HPH 7 agar proses pemanasan air berlangsung secara efisien.
2. Secara garis besar perhitungan HPH 7 pada bahasan sebelumnya adalah perhitungan *heat balance*, cukup mewakili untuk menganalisis sejauh mana efektivitas dari HPH 7 saat operasi aktual dan dibandingkan dengan *commissioning*. Untuk pengembangan ke depannya perlu dianalisis lebih jauh lagi dengan mempertimbangkan faktor-faktor koreksi yang ditimbulkan oleh material dengan harapan dapat memberikan kontribusi dalam perkembangan desain *close feedwater heater* bagi dunia industri dimasa mendatang.

Daftar Pustaka

- [1] An American National Standard. Closed Feedwater Heater. ASME PTC 12.1-2000 [Revision of ANSI/ASME PTC 12.1-1978 (R 1987)]. 2000.

- [2] Bizzy I, Setiadi R. Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe Shell And Tube Dengan Program Heat Transfer Research Inc. (HTRI). *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Sriwijaya*. 2013;13(1):67-76.
- [3] Cengel Y.A. Heat Transfer: A Practical Approach. New York: McGraw-Hill; 2003.
- [4] EPRI. Feedwater Heater Maintenance Guide 1003470. 2002.
- [5] Gahana D. Analisis Kinerja High Pressure Heater (HPH) Tipe Shell And Tube Heat Exchanger. *Journal of Science and Applicative Technology*. 2018;2(2):23-33.
- [6] Ifvournamasari A.D, Sukmawanta SNM, Maryanty Y, Yulianto E. Perhitungan Efisiensi High Pressure Heater pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT POMI Unit 3. Distilat *Jurnal Teknologi Separasi*. 2022;8(2):308-14.
- [7] Junsupratyo R, Sappu F.P, Lakat A.M. Analisis Efisiensi Efektif High Pressure Heater (HPH) Tipe Vertikal U shape di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Amurang Unit 1. *Jurnal Poros Teknik Mesin Unsrat*. 2018;7(1).
- [8] Lumbantobing L.H, Sutrisno J. Analisis Efektivitas High Pressure Heater Unit 1 PLTU Pangkalan Susu Operation and Maintenance. *Sinergi POLMED Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. 2021;2(2):54-61.
- [9] Moran M.J, Shapiro H.N, Boettner D.D, Bailey M.B. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. 7th ed. Hoboken: John Wiley & Sons; 2010.
- [10] Sinaga GG. Analisis efektivitas High Pressure Heater pada Unit 4 PLTU PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkit Belawan. *Doctoral dissertation*, Universitas Medan Area; 2019.
- [11] Sitompul T.M. Alat Penukar kalor. Edisi 1. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada; 1993.