

Pengaruh Plugging Terhadap Kinerja *High Pressure Heater Tipe Shell and U-Tube Heat Exchanger* (Studi Kasus: Unit 1- 4 di PT ABC)

Ghaffar Muhammad¹, Ilham Dwi Arirohman^{1*}, Khoirun Naimah¹

¹Teknik Sistem Energi, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Jati Agung, Lampung Selatan

*Penulis korespondensi: ilham.arirohman@tse.itera.ac.id

Histori artikel: diserahkan 1 November 2024, direview 16 Februari 2025, direvisi 1 April 2025

ABSTRACT

High Pressure Heater (HPH) is an auxiliary component used to be required in regenerative steam power plants. The component is a heat exchanger utilized to enhance the power plant's efficiency by enabling high pressure heating process for feedwater before entering the economizer in boiler using bled steam from turbine. The heat transfer effectiveness of HPH needs to be evaluated in relation to its operational conditions which are equipped with plugs to overcome leaks. This study aims to evaluate the impact of number of plugs on the high-pressure heater 5 in unit 1-4 PT ABC regarding heat transfer and its effectiveness. The Number of Transfer Unit (NTU) method along with Log Mean Temperature Difference (LMTD) method were employed in analysis of this research. The existing number of plugs are 4, 574, 100, and 111 in unit 1, 2, 3, and 4 respectively. The result shows that the heat transfer value for high pressure heaters in unit 1-4 PT ABC are 16.18 MW, 10.32 MW, 15.20 MW and 15.08 MW respectively, while the effectiveness value are 0.89, 0.74, 0.88, and 0.88. The study concludes that the effect of number of plugs in high-pressure heater regarding to heat transfer and effectiveness tends to be inversely linear.

Keywords: Heat Pressure Heater, LMTD, NTU, Heat Transfer, Effectiveness

DOI : <https://doi.org/10.18196/jqt.v6i2.23010>

WEB : <https://journal.ums.ac.id/index.php/qt/article/view/23010>

PENDAHULUAN

High pressure heater (HPH) merupakan salah satu komponen pendukung yang penting pada siklus regeneratif Rankine sebuah pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). HPH adalah sebuah *heat exchanger* tipe *shell and U-tube* yang berfungsi sebagai pemanas air umpan (*feedwater*) sebelum masuk ke dalam *economizer* di boiler (Sappu, *et al.*, 2018). Pada sisi *tube* fluida kerja berupa air umpan sementara uap (*steam*) bertekanan tinggi hasil ekstraksi dari turbin sebagai fluida kerja pada sisi *shell*. Proses regeneratif ini dapat mengurangi *heating load* pada boiler sehingga secara langsung mengurangi pemakaian batu bara dan meningkatkan efisiensi keseluruhan.

Pengoperasian pembangkit selama 24 jam secara terus-menerus tentu akan mempengaruhi kekuatan material HPH khususnya pada bagian *tube*. *Tube* pada HPH umumnya mengalami kebocoran yang disebabkan oleh beberapa hal seperti korosi, kualitas air yang buruk karena *fouling*, dan umur pakai dari *tube* HPH (Byrne, 1999).

Kebocoran pada *tube* HPH akan mempengaruhi kinerja transfer kalor dari alat tersebut. Saat terjadi kebocoran pada *tube* biasanya dilakukan penutupan saluran sisi *inlet* atau *outlet* (*tube plugging*) ataupun pada kedua sisinya. Jika sudah melebihi standar batasan maksimal jumlah *plug*, yaitu sebesar 10% dari jumlah total *tube* yang ada, dilakukan penggantian dengan *tube* baru (*retubing*) pada saat *overhaul* (Sundari & Meryanalinda, 2022).

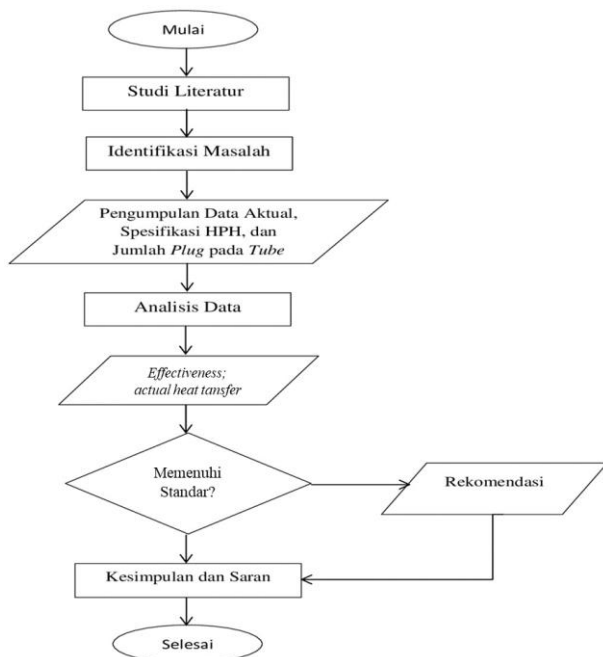
High pressure heater unit 1-4 memiliki konfigurasi *U-Tube*, sehingga mengganti atau melepaskan *tube* merupakan kendala tersendiri karena keterbatasan akses yang disebabkan oleh desain yang kompleks atau keterbatasan ruang. Material *plug* pada *high pressure heater* terbuat dari *carbon steel*, material ini dipilih karena memiliki ketahanan yang tinggi terhadap korosi serta kekuatannya dalam menghadapi tekanan dan suhu tinggi (Gupta, 2019), harga *carbon steel* lebih rendah dibandingkan dengan *stainless steel* atau titanium, sehingga sangat ekonomis untuk penggunaan dalam skala besar.

Kinerja *high pressure heater* sangat mempengaruhi nilai *net plant heat rate* (NPHR) sebuah PLTU (Prawoto, et al., 2022). Penggunaan *plug* tentu akan mempengaruhi kinerja transfer kalor dari alat ini secara langsung. Oleh sebab itu diperlukan analisis parameter kinerja *effectiveness* dan *actual heat transfer* untuk mengetahui alat masih berfungsi dengan baik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan audit energi awal yang dilakukan berdasarkan langkah-langkah tertentu. Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.

Pengumpulan data dilakukan bersama dengan teknisi perusahaan. Data yang diperlukan merupakan data historis dari tanggal 1 November 2022 – 7 Agustus 2023 berupa data operasional HPH unit 1-4, data spesifikasi HPH, data jumlah *plug* pada *tube* HPH PT ABC, dan data referensi dari penelitian (Alfian, 2018).



GAMBAR 1. Diagram alir penelitian

Data yang dikumpulkan kemudian diolah dianalisis untuk mendapatkan gambaran dari pengaruh jumlah *plug* yang digunakan pada HPH Unit 1-4 terhadap nilai *effectiveness*. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui batas maksimal *plug* yang dapat dipasang sebelum dilakukan proses *retubing* berdasarkan standar. Nilai *effectiveness*

pada HPH dikategorikan baik apabila nilai tersebut diatas 0,67 ($0,67 \leq \varepsilon \leq 1$) (Dwitama, et al., 2023).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Perpindahan Kalor

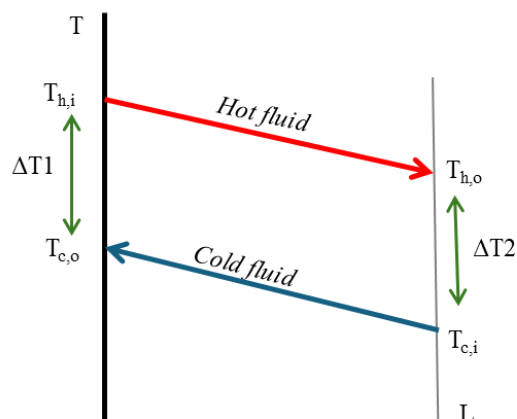
Analisis perpindahan kalor dilakukan pada sisi *tube* dan *shekk*, fluida panas (*steam*) pada sisi *shell* mengalami perpindahan kalor (*heat transfer*) dengan fluida dingin (*feedwater*) pada sisi *tube*. Proses penukaran panas pada alat *heat exchanger* seperti *high pressure heater* menggunakan *overall heat transfer coefficient* (U) sebagai parameter untuk menyatukan resistansi konduksi dan konveksi dalam suatu sistem termal dan memberikan gambaran keseluruhan dari efisiensi perpindahan panas (Ardhiyanga, et al., 2016). Nilai parameter termalhidrolik pada sisi *tube* dan *shell* untuk alat penukar panas *high pressure heater* 5 unit 1 PT ABC dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1. Nilai parameter termalhidrolik

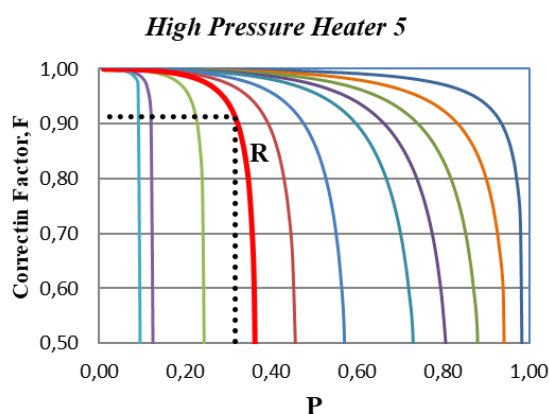
Parameter	Tube	Shell	Satuan
Kapasitas Kalor	1252,51	143,53	kW/K
Bilangan <i>Reynolds</i>	93888	523989	-
Bilangan <i>Prandtl</i>	1,128	1,003	-
Bilangan <i>Nusselt</i>	229,542	504,005	-
Koefisien Konveksi	11,55	1,03	kW/m ² K
<i>Overall Heat Transfer Coefficient</i>	0,92		kW/m ² K

Log Mean Temperature Difference (LMTD) adalah nilai rata-rata perbedaan temperatur logaritmik pada alat *heat exchanger* seperti *high pressure heater*. *High pressure heater* memiliki perbedaan antara temperatur *inlet* atau *outlet* pada sisi *shell* untuk fluida panas (*hot fluid*) yaitu uap dan sisi *tube* untuk fluida dingin yaitu *feedwater*. Perbedaan temperatur antara dua sisi tersebut dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik pada Gambar 2. Nilai LMTD yang diperoleh yaitu sebesar 35,177. *Log Mean Temperature Difference* pada analisis alat *heat exchanger* seperti *high pressure heater* ini dipengaruhi oleh konfigurasi aliran pada alat tersebut, sehingga diperlukan analisis faktor koreksi (F) (Incropera & DeWitt, 2006). Nilai faktor koreksi (F) mengacu pada grafik *LMTD Correction Factor*, diperoleh nilai faktor koreksinya adalah 0,912. Grafik LMTD

Correction Factor untuk high pressure heater 5 unit 1 PT ABC yang tersaji pada Gambar 3.



GAMBAR 2. Proyeksi LMTD



GAMBAR 3. LMTD correction factor chart

Analisis *heat transfer* aktual pada *high pressure heater* 5 unit 1 PT ABC bergantung pada beberapa parameter yaitu nilai *overall heat transfer coefficient* (U), luas permukaan panas efektif (A), nilai *log mean temperature difference* ($\Delta LMTD$) dan faktor koreksi (F). Luas permukaan panas efektif / *effective length tube* yaitu 7 m atau setengah dari panjang total *tube* yaitu 14 m sehingga nilai luas permukaan panas efektif merupakan setengah dari *heating surface area* yaitu 550,964 m². *Plugging* atau penyumbatan dilakukan pada *tube* saat mengalami kebocoran yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti korosi pada *tube*, kualitas air (*feedwater*) yang buruk sehingga menyebabkan *fouling*, dan lain-lain. Korosi dapat terjadi akibat reaksi kimia antara bahan *tube* dan zat-zat dalam air, sedangkan *fouling* terjadi ketika partikel-partikel dalam air

menumpuk di permukaan *tube*, mengurangi efisiensi perpindahan panas. Faktor-faktor ini mengakibatkan penurunan kinerja keseluruhan dari *high pressure heater*.

Nilai *heat transfer* pada *high pressure heater* 5 unit 1 PT ABC yang diperoleh adalah 16,18 MW. Laju perpindahan panas pada *high pressure heater* unit lain disajikan pada Tabel 2.

TABEL 2. *Heat transfer* pada *high pressure heater* 5 unit 1 – 4

Data	High Pressure Heater 5			
	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4
Jumlah Plug	4	574	100	111
Persentase (%)	0,253	36,35	6,33	7,02
Heat Transfer Area (m ²)	549,569	350,680	516,070	512,230
Heat Transfer (MW)	16,18	10,32	15,19	15,08

Berdasarkan Tabel 2, penambahan *plug* pada *tube* yang mengalami kebocoran terbukti mengurangi nilai *heat transfer* pada *high pressure heater*. Penurunan nilai *heat transfer* dipengaruhi oleh penurunan luas permukaan panas atau *heat transfer area*. Pemasangan *plug* menyebabkan penonaktifan *tube* yang mengalami kebocoran sehingga mengurangi jumlah *tube* yang terpasang. Penambahan 4 *plug* atau 0,25% dari 1579 *tube* yang terpasang mengakibatkan penurunan nilai *heat transfer* pada alat sebesar 0,25% dibandingkan dengan kondisi 0 *plug*. Hal ini menunjukkan bahwa persentase *plug* dari total *tube* yang terpasang berbanding lurus dengan penurunan nilai *heat transfer* yang dihasilkan. Peningkatan jumlah *plug* yang digunakan untuk menutup kebocoran *tube* mengakibatkan penurunan laju perpindahan panas pada *high pressure heater*.

Analisis Pengaruh Plugging Terhadap Effectiveness

Effectiveness pada alat penukar panas seperti *high pressure heater* merupakan fungsi dari *capacity ratio* (Cr) dan *number of transfer unit* (NTU). NTU adalah bilangan tanpa dimensi yang merupakan rasio dari perpindahan kalor

aktual dari fluida panas menuju fluida dingin terhadap laju perpindahan kalor minimum yang terjadi pada pertukaran panas. Penurunan luas permukaan panas efektif (A) yang disebabkan oleh *plugging* mempengaruhi rasio perpindahan kalor aktual dari fluida panas menuju fluida dingin terhadap laju perpindahan kalor minimum (C_{min}) pada *number of transfer unit* (NTU) dan nilai *effectiveness* pada *high pressure heater*. Pengaruh jumlah *plugg* terhadap nilai *effectiveness* pada *high pressure heater* dapat dilihat pada Tabel 3.

TABEL 3. *Effectiveness* pada *high pressure heater* 5 unit 1 – 4

Data	High Presure Heater 5			
	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4
Jumlah Plug	4	574	100	111
Persentase (%)	0,253	36,35	6,33	7,02
NTU	3,515	2,24	3,30	3,28
Cr	0,114	0,114	0,114	0,114
Effectiveness	0,889	0,764	0,877	0,876

High pressure heater 5 unit 1 pada PT ABC memiliki 4 *plug* yang terpasang atau 0,253 % dari total *tube* pada *high pressure heater* tersebut. Jumlah ini lebih kecil dari standar maksimal *plugging* yaitu 10% dari total jumlah *tube* atau ± 157 dari 1579. Nilai NTU untuk *high pressure heater* 5 unit 1 adalah 3,515. Nilai *effectiveness* pada *high pressure heater* 5 unit 1 PT ABC adalah 0,889. *High pressure heater* 5 unit berdasarkan nilai *effectiveness* dikategorikan baik karena nilai tersebut diatas standar yaitu 0,67 atau ($0,67 \leq \epsilon \leq 1$) (Dwitama, et al., 2023). Hal ini menunjukkan bahwa alat tersebut masih memiliki kinerja yang cukup baik dalam perpindahan kalor dan sesuai dengan spesifikasi operasional yang diharapkan.

KESIMPULAN

Penurunan luas permukaan panas efektif (A) yang disebabkan oleh *plugging* mempengaruhi rasio perpindahan kalor

aktual dari fluida panas menuju fluida dingin terhadap laju perpindahan kalor minimum pada *Number of Transfer Unit* (NTU). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai perpindahan panas pada *high pressure heater* di unit 1-4 PT ABC masing-masing sebesar 16,18 MW, 10,32 MW, 15,20 MW dan 15,08 MW, sedangkan nilai efektivitasnya masing-masing sebesar 0,89, 0,74, 0,88, dan 0,88. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa pengaruh jumlah *plug* pada *high pressure heater* terhadap perpindahan panas aktual dan *effectiveness* memiliki kecenderungan berbanding terbalik secara linier.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT ABC yang telah memberikan kesempatan untuk dilakukan audit energi pada pembangkit listriknya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfian, D.G. 2018. Analisis Kinerja High Pressure Heater (HPH) Tipe Shell And Tube Heat Exchanger. *Journal of Science and Applicative Technology*, pp. 23-33.
- Ardhiyangga, N., Ariwibowo, T.H., & Permatasari, P.D. 2016. Numerical Study of Shell-And-Tube Heat Exchanger Characteristics in Laminar Flow with Single Segmental Baffle. *Seminar Nasional Teknik Kimia" Kejuangan*, pp. 5.
- Byrne, R. C. 1999. Standards of the tubular exchanger manufacturers association (TEMA). The Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc., USA.
- Dwitama, A., Utomo, M.T.S., & Sinaga, N. 2023. Performance Analysis of HP Heater with Comparison of the Number of Plugging Tubes in a 400 MW Coal-Fired Power Plant. *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology*, 7(5), pp. 1.
- Gupta, M.K. 2019. An Overview of the Properties of Carbon Steel. *Journal of Materials Science and Engineering*, 45(2), pp. 123-130.

- Incropera, F.P. & DeWitt, D.P. 2006. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley & Sons, New York.
- Prawoto, D.P., Jannus, P. & Abadi, C.S. 2022. Analisis Pengaruh Bypass HPH Terhadap Nilai NPHR Pada PLTU Ombilin. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, no. 2.
- Sundari, P. & Meryanalinda, M. 2022. Pengaruh Jumlah Plug pada High Pressure Heater (HPH) sebagai Pemanas Awal Air Umpan Boiler PLTU PT X. *J- Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, pp. 62-66.
- Sappu, R., Lakat, F.P. & Junsupratyo, A.M. 2018. Analisis Efisiensi Efektif High Pressure Heater (HPH) Tipe Vertikal U Shape Di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Amurang Unit 1. *Jurnal Poros Teknik UNSRAT*, 7(1).