



Pengaruh Jumlah Plug pada High Pressure Heater (HPH) sebagai Pemanas Awal Air Umpan Boiler PLTU PT X

Effect of the Number of Plug in High Pressure Heater (HPH) as Preheater in Feed Water Boiler PLTU PT X

Putri Sundari^{1,a)}, Meryanalinda²⁾, Beni Kesuma Sigiro³⁾

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gresik

^{a)}Corresponding author: psundari72@gmail.com

Abstrak

High Pressure Heater (HPH) merupakan suatu komponen penukar panas dengan tipe *shell and tube* yang digunakan untuk memanaskan *feed water* sebelum masuk ke *boiler* sehingga mengurangi waktu perebusan saat di *boiler*. Penelitian ini dilakukan di salah satu PLTU di PT X, yang mana peralatan HPH mengalami kebocoran *tube* sehingga mempengaruhi proses *heat transfer* dan mempengaruhi efisiensinya. Salah satu metode pemeliharaan saat terjadinya kebocoran *tube* yaitu pemberian *plug* sehingga fluida air umpan yang melewati *tube* tidak bercampur dengan uap ekstraksi turbin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui batas jumlah *plug* maksimal yang diizinkan pada HPH sampai HPH dinilai tidak efisien lagi dan perlu dilakukan *retubing*. Metode pengambilan data dilakukan dengan observasi di lapangan serta wawancara kepada bidang perencanaan dan pengendalian operasi serta *central control room* (CCR) di PLTU Unit 4, didukung studi kepustakaan untuk melengkapi parameter atau data untuk mendukung hasil penelitian. Tahap awal penelitian ini dilakukan perhitungan besar perpindahan panas pada komponen HPH dengan rumus *log mean temperature difference* (LMTD) dan hasilnya menunjukkan bahwa besar perpindahan panas maksimum antara uap ekstraksi turbin dengan *feed water* sebesar 52,72 MW dan perpindahan panas minimumnya sebesar 10,23 MW. Penelitian ini juga melakukan analisis tentang batas jumlah *plug* maksimal yang diizinkan pada HPH sampai *tube* HPH tersebut tidak efisien lagi dan perlu dilakukan *retubing*. Berdasarkan hasil perhitungan, jumlah *plug* maksimal yang diizinkan yaitu sebesar 60 *plug* dengan besar *heat transfer* 9,14 MW atau $\pm 10\%$ dari desain peralatan atau aktual operasi yang diizinkan.

Kata Kunci: *high pressure heater; plug; perpindahan panas; maksimum plug*

Abstract

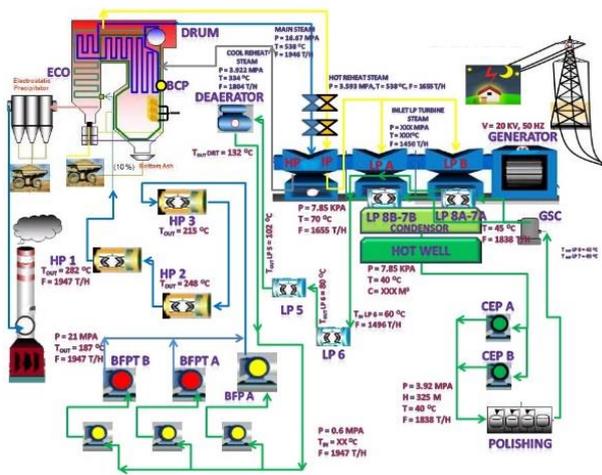
High Pressure Heater (HPH) is a heat exchanger of the *shell and tube* type and used to preheat boiler feed water so as the boiling time in the boiler can be reduce. This research was conducted at one of the steam power plant at PT X, the HPH equipment had a tube leak that affected the heat transfer process and affected its efficiency. One of the maintenance methods when a tube leak occurs is providing a plug so that the feed water fluid that passes through the tube does not mix with the turbine extraction steam. This study aims to determine the limit on the maximum number of plugs allowed in HPH until the HPH is deemed inefficient and requires *retubing*. The method of data collection was carried out by field observations and interviews with the planning and operational control department as well as the central control room (CCR) at PLTU Unit 4, supported by literature studies to complete parameters or data to support research results. The initial stage of this research is to calculate the heat transfer occurred in the HPH component with the *log mean temperature difference* (LMTD) formula and the results show that the maximum heat transfer between turbine extraction steam and feed water is 52.72 MW and the minimum heat transfer is 10.23 MW. . This study also analyzes the limit on the maximum number of plugs allowed on the HPH until the HPH tube is no longer efficient and needs to be *retubed*. Based on the calculation results, the maximum number of plugs allowed is 60 plugs with a heat transfer rate of 9.14 MW or $\pm 10\%$ of the equipment design or the actual allowable operation.

Keywords: *high pressure heater; plug; heat transfer; maximum plug*

PENDAHULUAN

Proses produksi energi listrik di pusat pembangkitan tenaga listrik seperti PLTU didukung oleh keandalan baik komponen utama maupun komponen pendukungnya. peralatan utama yang terdapat di PLTU seperti boiler, pompa, kondensor, turbin dan generator untuk membentuk siklus *rankine* sehingga menghasilkan tenaga listrik [1]. Guna menunjang kinerja peralatan utama, salah satu alat bantu yang memiliki peran penting bagi PLTU yaitu *high pressure heater* (HPH) yang berfungsi sebagai pemanas air pengisi lanjut bertekanan tinggi yang menggunakan fluida pemanas berupa uap panas hasil ekstraksi turbin sebelum masuk *economizer* pada boiler [2]. Komponen ini sangat penting pada siklus PLTU karena dapat mengurangi waktu pemanasan air pada boiler sehingga dapat menghemat bahan bakar serta meningkatkan efisiensi siklus karena memanfaatkan secara maksimal panas yang telah dihasilkan [3-4].

High Pressure Heater terdiri dari sebuah *shell* berbentuk silinder di bagian luar dan sejumlah *tube* (*tube bundle*) di bagian dalam yang mana terdapat perbedaan temperatur fluida di dalam *shell* dan di dalam *tube* [3-4]. Pada HPH ini air pengisi berada di dalam *tube* sedangkan di *shell* terdapat air temperatur rendah (air laut) sehingga hal ini mengakibatkan terjadinya perpindahan panas antar aliran fluida. Semakin tinggi nilai efisiensi dari HPH maka efisiensi boiler akan meningkat sehingga biaya operasional harian di PLTU dapat ditekan [5]. Diagram skematis yang menerangkan letak HPH dalam siklus dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir siklus PLTU [6]

HPH merupakan contoh dari alat penukar panas (*heat exchanger/HE*). Fungsi dari HE adalah mengubah temperatur fasa suatu jenis fluida dengan memanfaatkan proses perpindahan panas/kalor dari fluida yang memiliki temperatur tinggi ke fluida dengan temperatur rendah.

Jenis HE yang digunakan adalah *Shell and Tube Heat Exchanger* tipe U-Tube [7-8].

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan HPH di PLTU banyak dilakukan diantaranya Alfian D.G.C tahun 2018 yang melakukan analisis kinerja HPH tipe *shell and tube heat exchanger*, dalam penelitian tersebut performa HPH dievaluasi melalui perhitungan laju perpindahan panas, *overall heat transfer coefficient*, nilai *effectiveness* dan *pressure drop* yang terjadi. Ahmad Budiman tahun 2015 melakukan penelitian dengan menghitung nilai koefisien perpindahan panas pada bagian *shell* dan *tube* serta nilai efisiensi efektif *heat exchanger* pada PLTU Asam-Asam.

Beberapa penelitian terdahulu yang dilakukan banyak dilakukan evaluasi performa, sedangkan permasalahan yang sering terjadi pada komponen HPH yaitu kebocoran *tube* yang menyebabkan tercampurnya uap ekstraksi turbin dengan air umpan dan menurunkan efisiensi HPH. Pemeliharaan yang dilakukan guna mengatasi masalah tersebut ialah dengan menambahkan *plug* pada *tube* yang bocor. Sehingga penelitian ini akan membahas analisis batas jumlah *plug* maksimal yang diizinkan pada HPH sampai HPH dinilai tidak efisien lagi dan perlu dilakukan *retubing* [9]. *Tube* yang patah akibat kebocoran disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. *Tube* yang patah akibat kebocoran [10]

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November-Desember 2021 di PLTU PT X. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah: (1) *High Pressure Heater* (HPH) merupakan *heat exchanger tipe shell and tube*; (2) *High Pressure Heater* (HPH) adalah alat penukar kalor tipe kontak tidak langsung (*indirect contact*) dengan menggunakan *steam extraction* HP Turbin; (3) fluida yang dipanaskan adalah air umpan boiler (*feed water boiler*).

Metode pengumpulan data yang dilakukan terdiri dari penelitian lapangan (*field research*) dan studi

kepastakaan. Data primer diperoleh dari observasi di lapangan serta wawancara kepada bidang perencanaan dan pengendalian operasi serta *central control room* (CCR) di PLTU Unit 4, sedangkan studi kepustakaan dilakukan dengan mencari literatur jurnal dan referensi terkait untuk melengkapi parameter maupun data untuk mendukung hasil penelitian. Beberapa data awal yang diperoleh melalui observasi lapangan dan digunakan sebagai dasar perhitungan tertera pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Parameter awal pada *high pressure heater* (HPH) [9]

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Feed water flow	V _{ci}	652321	kg/h
Feed water inlet temperature	T _{ci}	201,9	°C
Feed water outlet temperature	T _{co}	241,2	°C
Steam flow	m _{h in}	49150	ton/hr
Steam pressure	P _{in}	34,8	kg/cm ² Abs
Steam inlet temperature	T _{hi}	318.35	°C
Steam outlet temperature	T _{ho}	207,5	°C
Number of Tube	N	566	
Tube diameter	D	19,05	mm
Tube length	L	22141	mm
Koefisien perpindahan panas pabrikan		2915747	W/m ² .K

Selanjutnya dilakukan analisis perhitungan *heat transfer* dengan menggunakan persamaan-persamaan yang diperoleh dari studi kepustakaan. Dalam perhitungan *heat exchanger*, besar total perpindahan panas yang terjadi merupakan parameter utama yang dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

$$Q = (m_{h\ in}xh_{in}) - (m_{h\ out}xh_{out}) \quad (1) [11]$$

Q merupakan total perpindahan panas pada HPH (W), m_{h in} adalah laju alir massa uap masuk HPH (kg/s), h_{in} adalah entalpi uap masuk (kJ/kg), m_{h out} adalah laju alir massa uap keluar HPH (kg/s), dan h_{in} adalah entalpi uap keluar (kJ/kg).

Kemudian untuk menghitung jumlah plug maksimum yang diizinkan, dapat dicari dengan persamaan LMTD atau *Log Mean Temperature Different* (2). Sebelum melakukan perhitungan dengan rumus tersebut, harus diketahui nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) dengan menggunakan persamaan (3).

$$Q = UxAxFx\Delta T_{LMTD,CF} \quad (2) [11]$$

Nilai U merupakan koefisien perpindahan panas menyeluruh pada HPH (W/m²K), A adalah luas area perpindahan panas (m²), F merupakan faktor koreksi untuk heat exchanger tipe shell and tube, dan ΔT_{LMTD,CF} merupakan log mean temperature difference (K).

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_i}\right) + \left(\frac{1}{h_o}\right)} \quad (3) [11]$$

$$\Delta T_{LMTD,CF} = \frac{(T_{hi}-T_{co})-(T_{ho}-T_{ci})}{\ln(T_{hi}-T_{co})/(T_{ho}-T_{ci})} \quad (4) [11]$$

T_{hi} merupakan temperatur uap masuk, T_{ho} merupakan temperatur uap keluar, T_{ci} temperatur feedwater masuk dan T_{co} temperatur *feed water* keluar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini diawali dengan menghitung beban kalor atau total perpindahan panas yang terjadi pada HPH PLTU unit 4 dengan menggunakan persamaan (1). Diketahui laju alir massa uap masuk dan keluar HPH sebesar 49.150 ton/hr atau 13,65 kg/s dengan nilai entalpi uap masuk HPH 1.238,6 kJ/kg dan entalpi uap keluar sebesar 852,45 kJ/kg maka hasil perhitungan diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q &= (m_{h\ in}xh_{in}) - (m_{h\ out}xh_{out}) \\ Q &= m_h (h_{in} - h_{out}) \\ Q &= 13,65\text{ kg/s}(1.238,6\text{ kJ/kg} - 852,45\text{ kJ/kg}) \\ Q &= 5.272,02\text{ kW} \end{aligned}$$

Perhitungan jumlah plug maksimum yang diizinkan dapat dicari dengan rumus LMTD. Namun sebelumnya, dilakukan perhitungan pada parameter-parameter yang belum diketahui nilainya, yaitu:

- Perhitungan koefisien konveksi fluida pendingin (h_i)
 Perpindahan panas yang terjadi pada HPH adalah jenis perpindahan panas konveksi. Pada studi ini, yang berperan sebagai fluida panas adalah uap (h_o), fluida yang menyerap panas adalah air umpan (h_i) dan permukaan yang kontak dengan fluida kerja adalah *tube* HPH. Koefisien konveksi fluida pendingin dapat dicari dengan persamaan (5) berikut ini:

$$h_i = Nu \cdot \frac{k}{D} \quad (5)[11]$$

Nu merupakan bilangan Nusselt, k merupakan konduktivitas termal dan D merupakan besarnya diameter *tube*, nilai dapat dilihat pada **Tabel 2**.

$$Nu = 0.023xRe^{4/5}xPr^{0,4} \quad (6) [11]$$

Re merupakan bilangan *Reynold* yang dapat diperoleh dari persamaan (7) sedangkan Pr merupakan bilangan prandtl yang dapat diperoleh dari “*thermophysical properties of saturated water table*” pada temperatur rata-rata (T_c) yang diperoleh dari persamaan (7) .

$$T_c = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} \quad (7)[11]$$

$$T_c = \frac{201,9 + 241,2}{2}$$

$$T_c = 221,55^\circ\text{C}$$

Dengan nilai temperatur rata-rata tersebut maka beberapa parameter yang diperoleh dari “*thermophysical properties of saturated water table*” yaitu:

$$k = 0,650 \text{ W/m.K}$$

$$\mu = 0,000122 \text{ Ns/m}^2$$

$$Pr = 0,865$$

$$Re = \frac{4 \cdot m_{ci}}{\pi \cdot D \cdot \mu}$$

m_{ci} merupakan laju alir massa fluida pendingin masuk per tube sebesar 320,141 kg/s. sehingga *Reynold number* dihitung sebesar:

$$Re = \frac{4 \times 320,141 \text{ kg/s}}{3,14 \times 0,01905 \text{ m} \times 0,000122 \text{ Ns/m}^2}$$

$$Re = 175.848.679$$

Sehingga saat nilai tersebut dimasukkan pada persamaan (6) dan (7) maka diperoleh *Nusselt number* sebesar 85.453,83.

$$Nu = 0.023 \times Re^{4/5} \times Pr^{0,4}$$

$$Nu = 0.023 \times 175.848.679^{4/5} \times 0,865^{0,4}$$

$$Nu = 85.453,83$$

- Perhitungan koefisien konveksi fluida panas (h_o) Terdapat dua metode untuk mencari koefisien konveksi fluida, yaitu metode *Log Mean Temperature Different* (LMTD) dan *Number of Thermal Unit* (NTU). Metode LMTD akan digunakan dalam penelitian ini karena *input* data atau parameter yang diperlukan telah lengkap sehingga lebih mudah dalam melakukan perhitungan.

$$\Delta T_{LMTD,CF} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln(T_{hi} - T_{co}) / (T_{ho} - T_{ci})}$$

$$\Delta T_{LMTD,CF} = \frac{(318,35 - 241,2) - (207,5 - 201,9)}{\ln(318,35 - 241,2) / (207,5 - 201,9)}$$

$$\Delta T_{LMTD,CF} = \frac{77,15 - 5,6}{\ln(77,15) / (5,6)}$$

$$\Delta T_{LMTD,CF} = 27,28^\circ\text{C}$$

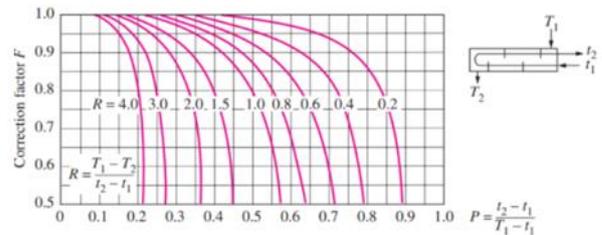
Setelah diketahui LMTD dari peralatan HPH, maka dapat dicari nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) dengan menggunakan persamaan (2) namun sebelumnya dihitung luas permukaan perpindahan panas antara *tube* dengan fluida kerja dengan persamaan:

$$A = N \cdot \pi \cdot D \cdot L \quad (8) [11]$$

$$A = 566 \times 3,14 \times 0,01905 \times 22,14$$

$$A = 749,99 \text{ m}^2$$

Maka nilai U dapat dicari dengan persamaan (2) dan untuk nilai koreksi dari HPH dengan tipe *shell and tube* dapat dicari menggunakan grafik pada Gambar 3.



Gambar 3. Faktor koreksi *heat exchanger* tipe *shell and tube* [12]

Maka setelah dihitung nilai P dan R sesuai rumus pada grafik di atas maka diperoleh nilai $P = 1$ dan $R = 0$, maka nilai F diperoleh sebesar 1.

$$U = \frac{Q}{A \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD,CF}}$$

$$U = \frac{5272020}{749,99 \times 1 \times 27,28}$$

$$U = 257,67 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Sehingga:

$$\frac{1}{h_o} = \frac{1}{U} - \frac{1}{h_i}$$

$$\frac{1}{h_o} = \frac{1}{257,67} - \frac{1}{2915747}$$

$$h_o = 2217,3 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, dapat diketahui bahwa HPH 7 di PT. X Unit 4 didesain dengan koefisien konveksi fluida panas sebesar 2217,3 W/m²K. setelah perhitungan selesai dilakukan, perlu dilakukan validasi dengan memberikan nilai persyaratan koefisien konveksi HPH 7 untuk dapat berubah fasa, tujuannya adalah mengetahui apakah perhitungan dan rancangan HPH telah sesuai dengan kaidah ilmu perpindahan panas, maka pada Tabel 2. disajikan persyaratan nilai koefisien konveksi untuk

beberapa jenis proses perpindahan panas secara konveksi.

Tabel 2. Nilai koefisien konveksi [13]

Parameter	Keterangan
<i>Process</i>	h (W/m ² .K)
<i>Free convection</i>	
<i>Gases</i>	2-25
<i>Liquids</i>	50-1000
<i>Forced Convection</i>	
<i>Gases</i>	25-250
<i>Liquids</i>	50-20.000
<i>Convection with a phase change</i>	
<i>Boiling or Condensation</i>	2.500-100.000

Nilai koefisien konveksi fluida panas (*steam*) pada HPH 7 adalah 2217,3 W/m²K maka berdasarkan Tabel 2. telah berada pada *range* antara 50 – 20.000 W/m²K.

- Mengetahui batas minimum perpindahan panas Pada Tabel 2. diketahui bahwa nilai koefisien konveksi fluida panas minimum adalah 50 W/m²K. nilai koefisien konveksi fluida pendingin hi adalah 2915747 W/m²K sesuai dengan perhitungan sebelumnya, maka batas minimum perpindahan panas HPH 7 PLTU Gresik dapat dihitung dengan:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} - \frac{1}{h_o}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{2915747} - \frac{1}{50}}$$

$$U = 50 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Sehingga perpindahan panas minimum pada HPH 7 dapat diperoleh:

$$Q = U \times A \times F \times \Delta T_{LMTD,CF}$$

$$Q = 50 \times 749,99 \times 1 \times 27,28$$

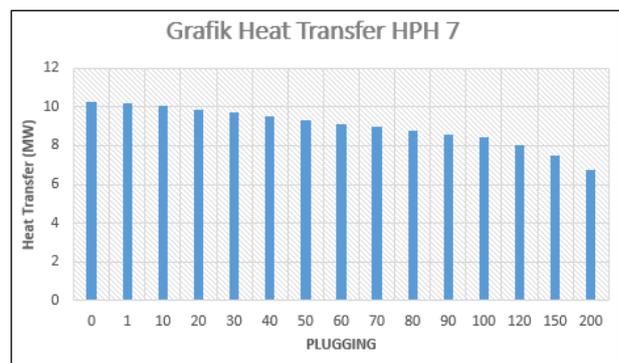
$$Q = 10,229 \text{ MW}$$

Perpindahan panas minimum HPH 7 PLTU Gresik adalah sebesar 10,229 MW sedangkan target desain dari pabrikan sebesar 52,72 MW. Setelah diketahui perpindahan panas minimum HPH 7, maka dapat dihitung maksimal *plugging* yang diizinkan dengan cara simulasi perhitungan pada Tabel 3. dengan menggunakan persamaan 2. Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah *plug* yang dipasang pada peralatan HPH maka semakin kecil luas area perpindahan panas yang terjadi, hal tersebut secara otomatis berdampak pada proses perpindahan panas yang terjadi, yang mana setiap penambahan 1 *plugging* HPH 7 dapat menurunkan *heat transfer* sebesar 0,01 MW.

Maksimum *plugging* yang diizinkan adalah 60 *plug* karena besar perpindahan panas yang dihasilkan pada *plugging tube* 60 buah adalah 9,145 MW. Jumlah batas *plug* yang diizinkan sebanyak 10% dari desain peralatan daan *heat transfer minimum* atau aktual operasi yang diizinkan HPH 7 supaya dapat digunakan untuk menyerap panas adalah 10,229 MW [14].

Tabel 3. Simulai perhitungan perpindahan panas HPH.

Jumlah plug	Tube aktif	Surface area (A)	Heat transfer (Q)	Penurunan heat transfer (MW)
0	566	749.995	10.229	0
1	565	748.67	10.221	0.008
10	556	736.744	10.049	0.180
20	546	723.493	9.868	0.360
30	536	710.242	9.687	0.540
40	526	696.991	9.506	0.720
50	516	683.74	9.325	0.900
60	506	670.489	9.144	1.080
70	496	657.238	8.963	1.260
80	486	643.987	8.782	1.440
90	476	630.736	8.601	1.620
100	466	617.485	8.42	1.800
120	446	590.985	8.061	2.168
150	416	551.233	7.518	2.649
200	366	496.435	6.771	3.458



Gambar 4. Heat transfer HPH 7

Pada grafik yang disajikan dalam Gambar 4., dapat dilihat bahwa semakin banyak *plugging* pada HPH 7 maka *heat transfer* yang dihasilkan akan cenderung berkurang, maka dari itu dalam menentukan jumlah *plug* yang akan dipasang harus diperhatikan agar tidak mengganggu performa dari peralatan tersebut [3], [15]. Namun jika jumlah *plug* yang dipasang telah melebihi batas yang diizinkan maka *retubing* merupakan salah satu alternatif yang dapat dilakukan.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan penelitian analisis pengaruh jumlah *plug* terhadap perpindahan panas yang terjadi pada peralatan HPH PLTU 4 dapat disimpulkan bahwa peralatan HPH memiliki *heat transfer* minimum sebesar 10,229 MW dan *heat transfer* maksimum sebesar 52,72 MW. Penambahan jumlah *plug* berpengaruh pada penurunan *heat transfer* yang terjadi, yang mana setiap penambahan 1 *plug* akan menurunkan *heat transfer* sebesar 0,008 MW. Jumlah *plug* maksimal yang diizinkan pada HPH PLTU sebanyak 60 *plug* dengan besar *heat transfer* 9,145 MW atau dengan kata lain telah mencapai 10% kehilangan daya dari daya minimum yang diizinkan.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran dari penulis adalah meskipun jumlah *plug* maksimal sebesar 60 buah namun tidak disarankan untuk tidak menunggu sampai jumlah tersebut tercapai baru dilakukan *retubing*, karena akan terjadi penurunan performa HPH 7 yang akan berimbas pada operasional PLTU secara keseluruhan. Rekomendasi yang diberikan yaitu saat dilakukan *overhaul* unit, perlu dilakukan *retubing partial* meskipun jumlah *plug* masih sedikit agar efisiensi PLTU tetap terjaga dan tetap dalam performa terbaiknya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. J. Masrufaiyah dan Sulistiono, "Analisa Pengaruh Jumlah Plug Pada Kondenser terhadap efisiensi dan heat transfer yang hilang di PLTU Unit 3 dan 4 PT. PJB UP Gresik," *Adv. Opt. Mater.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–9, 2018.
- [2] Alfian D.G.C dan Supriyadi D., "Analisis Kinerja High Pressure Heater (HPH) tipe Shell and Tube Heat Exchanger. Journal of Science and Applicative Technology: Vol 2. No.2, Desember," vol. 2, no. 2, 2018.
- [3] A. M. A. L. Reind Junsupratyo, Frans P. Sappu, "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, 2017.
- [4] M. U. Damayanti and B. U. K. Widodo, "Analisis Termal High Pressure Feedwater Heater di PLTU PT. XYZ," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, Feb. 2017, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.20063.
- [5] I. Poljak, "Thermodynamical Analysis Of High-Pressure Feed Water Heater In Steam Propulsion System During Exploitation," vol. 68, no. 2, pp. 45–61, 2017.
- [6] D. Suradika, "Re-design dan recalculation High Pressure Heater (HPH) 7 PT. PJB UP Paiton pada Zona Desuperheating Menggunakan Analisis Termodinamika dan Perpindahan Panas. Tugas Akhir. Tidak dipublikasikan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.," 2011.
- [7] Ahmad Budiman, "Analisis Perpindahan Panas dan Efisiensi Efektif High Pressure Heater (HPH) di PLTU Asam-Asam. Teknik Mesin Fakultas Teknik: Universitas Lambung Mangkurat," 2014.
- [8] Sinaga G.G., "Analisis Efektivitas High Pressure Heater pada Unit 4 PLTU PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkit Belawan. Skripsi. Universitas Medan Area," 2019.
- [9] P. A. K. Sadik, L. Hongtan, "Heat Exchangers Seletion, Ratiing and Termal Design"Third Edition, CRC Press, Taylor and Francis Group, USA," 2012.
- [10] D. A. Barkah, "Redesign dan Recalculation High Pressure Heater (HPH) 7 PT. PJB UP. Paiton pada Zona Subcooled Menggunakan Analisa Termodinamika dan Perpindahan Panas. Surab aya: Teknik Mesin ITS.," 2011.
- [11] H. N. M. Moran J aind Shapiro, "Termodinamika Teknik Jilid I edisi 4, Penerbit Arlangga, Jakarta." 1994.
- [12] A. Cengel, Y., *Heat Transfer- A Practical a Approach*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2003.
- [13] F. P. Incropera and D. P. DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 1996.
- [14] N. P. Wijanarko, "Re-Design High Pressure Heater (HHP) 5 Unit 1 Di PT . PJB . UP Gresik Menggunakan Analisis Termodinamika dan Perpindahan Panas," p. 5, 2017.
- [15] R. S. I. Bizzi, "Studi Perhitungan Alat Penurkar Kalor Tipe Shell and Tube dengan Program Heat Transfer Research Inc. Jurnal Rekayasa Mesin," vol. 13, no. 1, 2013.