

ANALISIS PENGARUH PERBAIKAN KEBOCORAN DENGAN PLUGGING TUBE TERHADAP KINERJA HP HEATER

Dian Sasongko^{1, a}, Yadi Heryadi^{2, b}, Amri Abduloh^{3, c}

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana Purwakarta

^a diansasongko01@wastukencana.ac.id, ^b y4dibnz@gmail.com, ^c amri@stt-wastukencana.ac.id

Abstrak.

High Pressure Heater yaitu Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. High Pressure Heater pada Power Plant PLTU PT. Indorama Polychem Indonesia Unit 3 berfungsi sebagai pemanas awal air pengisi boiler. Pada HP Heater terjadi perpindahan kalor antara feedwater dan uap ekstraksi dari Intermediet Turbin (Bled Steam). Keberadaan HP Heater pada sistem PLTU diharapkan dapat menambah efisiensi PLTU secara keseluruhan. Akan tetapi kebocoran yang terjadi pada HP Heater menyebabkan terdapat banyak tube yang di plug sehingga perpindahan kalor yang terjadi tidak maksimal. Plugging yaitu proses penutupan atau penyumbatan sisi inlet dan outlet pada tube yang bocor agar feedwater tidak dapat mengalir melewati tube, batas toleransi yang diizinkan untuk plugging High Pressure Heater yaitu 15% dari jumlah tube. Adanya penutupan tube akibat adanya kebocoran / plugging tube pada HP Heater sebesar 15 % dari total 112 tube. Terjadi penurunan temperatur outlet karena perpindahan panas menjadi tidak maksimal sehingga berefek pada kerja boiler menjadi lebih besar dan bahan bakar menjadi semakin banyak. Efektivitas HP heater secara system turun sebesar 34.43 % dari kondisi desain. Metoda efektivitas NTU shell and tube naik menjadi 0.7676 karena dipengaruhi adanya penurunan water flow massa pada tubing dengan penurunan sebesar 2.95 kg/s. Terjadi penurunan efisiensi perpindahan panas sebesar 34.4 % dari 99.9 % karena terdapat luas perpindahan panas yang berkurang. Secara sistem menjadi tidak efektif karena banyak panas yang tidak tersalurkan pada air di dalam tubing akibat plugging tapi masih bisa digunakan secara operasional.

Kata kunci: Pemanas HP, Perawatan, Plugging, Efisiensi

Abstract.

High Pressure Heater, namely the heat exchanger is designed as much as possible so that heat transfer between fluids can take place efficiently. High Pressure Heater at the Power Plant PLTU PT. Indorama Polychem Indonesia Unit 3 functions as a boiler fill water preheater. In the HP Heater there is heat transfer between the feedwater and the extraction steam from the Intermediate Turbine (Bled Steam). The presence of an HP Heater in the PLTU system is expected to increase the overall efficiency of the PLTU. However, the leak that occurred in the HP Heater caused many tubes to be plugged so that the heat transfer that occurred was not optimal. Plugging is the process of closing or blocking the inlet and outlet sides of a leaky tube so that feedwater cannot flow through the tube, the tolerance limit allowed for High Pressure Heater plugging is 15% of the number of tubes. There was a tube closure due to a tube leak/plugging on the HP Heater of 15% of the total 112 tubes. There is a decrease in the outlet temperature because the heat transfer is not optimal so that the effect on the boiler work becomes greater and the fuel becomes more and more. The effectiveness of the HP heater as a system decreased by 34.43% from the design condition. The effectiveness of the shell and tube NTU method increased to 0.7676 due to a decrease in mass water flow in the tubing with a decrease of 2.95 kg/s. There was a decrease in heat transfer efficiency of 34.4% from 99.9% because there was a reduced heat transfer area. The system becomes ineffective because a lot of heat is not channeled into the water in the tubing due to plugging but it can still be used operationally.

Keywords: HP Heater, Maintenance, Plugging, Efficiency

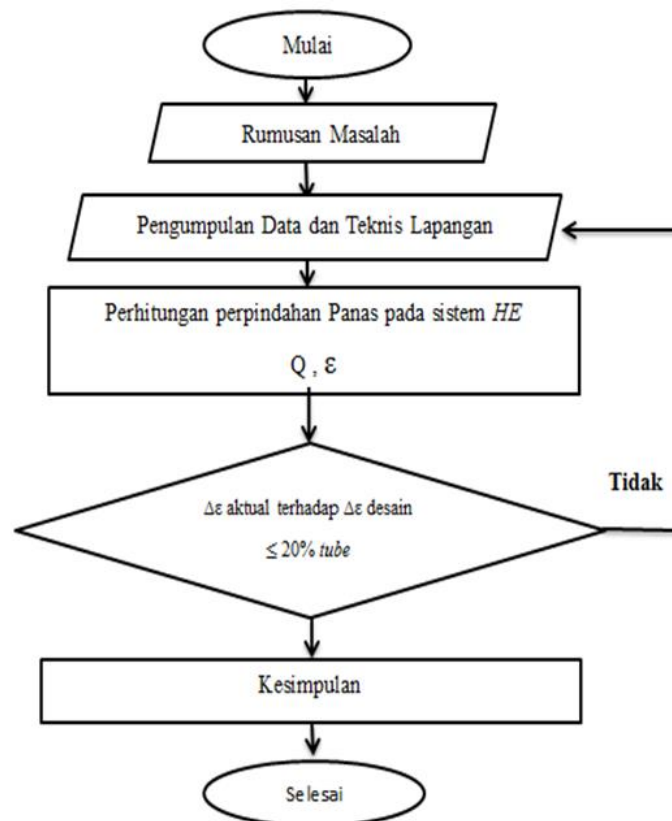
Pendahuluan

High Pressure Heater pada Power Plant PLTU PT. Indorama Polychem Indonesia Unit 3 berfungsi sebagai pemanas awal air pengisi boiler. Pada HP Heater terjadi perpindahan kalor antara feedwater dan uap ekstraksi dari Intermediet Turbin (Bled Steam). Cara kerja HP Heater di Power Plant PLTU PT. Indorama Polychem Indonesia Unit 3. Feedwater mengalir melalui tube-tube pada heater sedangkan bled steam yang digunakan sebagai media pemanas mengalir diluar tube (pada shell). Keberadaan HP Heater pada sistem PLTU diharapkan dapat menambah efisiensi PLTU secara keseluruhan. Akan tetapi kebocoran yang terjadi pada HP Heater menyebabkan terdapat banyak tube yang di plug sehingga perpindahan kalor yang terjadi tidak maksimal [1].

Perlu adanya tindak lanjut untuk mengatasi permasalahan kebocoran pada HP Heater yang semakin sering terjadi. Berdasarkan data operasi dapat terlihat bahwa perubahan temperatur outlet HP Heater menjadi lebih rendah dibandingkan dengan temperatur desain karena banyaknya tube yang di plug Plugging yaitu proses penutupan atau penyumbatan sisi inlet dan outlet pada tube yang bocor agar feedwater tidak dapat mengalir melewati tube, batas toleransi yang diizinkan untuk plugging High Pressure Heater (HPH) yaitu 15% dari jumlah tube. Hal tersebut dapat menurunkan efektivitas kinerja HP heater tersebut yang akan berefek pada pembakaran boiler yaitu konsumsi batubara semakin meningkat. Sehingga dari segi ekonomis sangat tidak menguntungkan untuk proses operasi sistem.

Maka dari itu tugas akhir ini mengambil judul tentang “ANALISIS PENGARUH PERBAIKAN KEBOCORAN DENGAN PLUGGING TUBE TERHADAP KINERJA HP HEATER” dilihat dari parameter-parameter yang berubah setelah dilakukan plugging.

Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Lokasi Penelitian

Captive Power Plant 1 x 32 MW PT. Indorama Polychem Indonesia Unit 3 Jalan Kembang Kuning, Ubrug – Jatiluhur Post Box 02. Purwakarta – 41101 Jawa Barat – Indonesia.

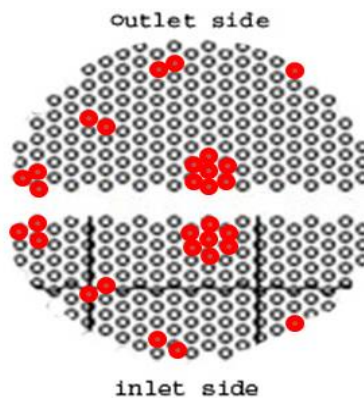
Spesifikasi High Pressure Heater (HP Heater)

Adapun spesifikasi dari HPH sebagai berikut:

Tabel 1 Spesifikasi Tube HP Heater

HPH		Tube Side	Shell Side
	Class	III	III
	Design Pressure	18.0 Mpa	2,45 Mpa
	Design temperature	240	420/260
	Heat Transfer area	527 mm	
	Test Pressure	22,5 Mpa	3,52 Mpa
	Liquid	Water Subcooler	Superheater
	Merk	Nanjing Turbine Electric	
	Type	15G03	

Kegagalan Performa HP Heater



Gambar 2. Penandaan plugging tubing pada HP Heater

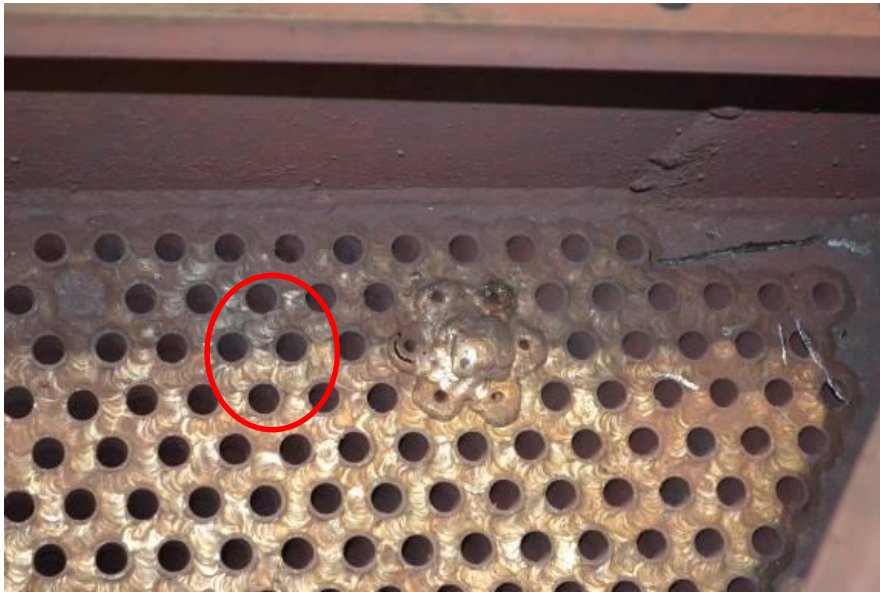
Berdasarkan gambar 2 dari data yang diambil Dept. MTC pada tanggal 20 febuari 2023 sudah 15 *tubing* yang di *plugging* Suatu *tube* yang bocor pada *HP Heater* tidak boleh dioperasikan lagi karena dikhawatirkan akan membuat kebocoran pada *tube* di sekitarnya sehingga mengakibatkan level hasil kondensasi dalam *sheel* menjadi tinggi. Tingginya level air di dalam *sheel* dapat mengurangi efektivitas dari perpindahan panas yang terjadi .Selain itu, jika tidak segera di ambil tindakan dapat menyebabkan *Feedwater Heater Trip*. Suatu langkah untuk menonaktifkan *tube* yang bocor dinamakan *plugging tube*, yaitu dengan menutup *inlet water* dan *outlet water* dari *tube* yang bocor dengan cara dilas

Kegagalan performa kerja yang terjadi di *HP Heater* Captive Power Plant PT. Indorama Polychem Indonesia dapat menurunkan efisiensi thermal dari siklus PLTU bahkan sistem pembangkit akan sering terganggu dengan *shutdown*. kerusakan yang sering terjadi adalah kebocoran dari *tube* sebelum waktunya di *overhaul*. jenis kerusakannya antara lain adalah kerusakan akibat *Erosion Corrosion* seperti gambar 3.8 dan kerusakan akibat mekanik. Dalam hal ini yang mempengaruhi efektifitas serta performa kerja dari *HP Heater* tersebut adalah rancangan atau desain awal dari *HP Heater* itu sendiri, kondisi operasi dari *HP Heater*, maupun pemilihan material, karena

pentingnya hal tersebut maka perlu di *recalculation* atau di *redesain* dengan tujuan mendapatkan dimensi baru dari *feedwater heater* khususnya dimensi *Desuperheating*[2].

Indikasi adanya kebocoran pada tube *High Pressure Heater* adalah:

1. Terjadi perbedaan aliran antara *feedwater flow* dengan main *steam flow* diatas batas yang ditentukan, yaitu 100 kg/jam.
2. Tekanan pada *BFP* turun karena aliran yang masuk ke *HP heater* semakin banyak.
3. Pembukaan drain normal dalam keadaan buka penuh.
4. *Drain emergency* dalam keadaan terbuka.
5. Alarm level kondensasi menyala.
6. Setelah ditemukan indikasi kebocoran, maka langkah selanjutnya adalah mencari letak *tube* yang bocor.



Gambar 3. Terjadi retakan pada *tubing* (Dokumentasi Dept. MTC CPP PT. Indorama Polychem Indonesia)

Pengambilan data perhitungan menggunakan data dari perusahaan yaitu dengan cara mengambil data dari *log book shift enginers DCS* dan *operator local*. Pengambilan data awal diperlukan untuk menghitung perpindahan panas pada :

a. *Inlet feedwater HP Heater*

Pada pipa *inlet feedwater* terdapat *pressure gauge* dan *temperature gauge*. Selain itu, dilengkapi transmiter *digital pressure*, temperatur dan *flow* sehingga parameter bisa dimonitor pada DCS.

b. *Outlet feedwater HP Heater*

Pada pipa *outlet feedwater* terdapat *pressure gauge*, *flow* dan *temperature gauge*. Selain itu dilengkapi transmiter *digital pressure*, temperatur dan *flow* sehingga parameter bisa dimonitor pada DCS.

c. *Inlet steam extraction no. 1*

Pada pipa *inlet steam extraction* terdapat *pressure gauge* dan *temperature gauge*. ..dilengkapi juga *transmitter digital* untuk temperatur, *pressure* dan *flow*.

d. *Outlet drain*

Pada pipa *outlet drain* terdapat *pressure gauge* dan *temperature gauge* dilengkapi juga *transmitter digital* untuk temperatur, *pressure* dan *flow*.

Data aktual setelah terjadi plugging akan diambil pada saat telah direpair di bulan Maret pada *scedhule shutdown*. Contoh data yg akan diambil dapat dilihat pada tabel 3.3. Dan nanti akan dibandingkan dari sebelum adanya penurunan kinerja di HP Heater.

Tabel 2 Data parameter *HP Heater* setelah *plugging*

Parameter	Satuan	Setelah <i>Plugging</i>
Extraction Steam Pressure	Bar	
Extraction Steam Flow	kg/s	
Extraction Steam Inlet Temperatur	C	
Drain pressure	bar	
Drain Flow	kg/s	
Drain temperatur	C	
Feedwater inlet pressure	Bar	
Feedwater inlet flow	kg/s	
Feedwater inlet temperatur	C	
Feedwater outlet pressure	Bar	
Feedwater outlet flow	kg/s	
Feedwater outlet temperatur	C	

PERHITUNGAN DAN ANALISIS

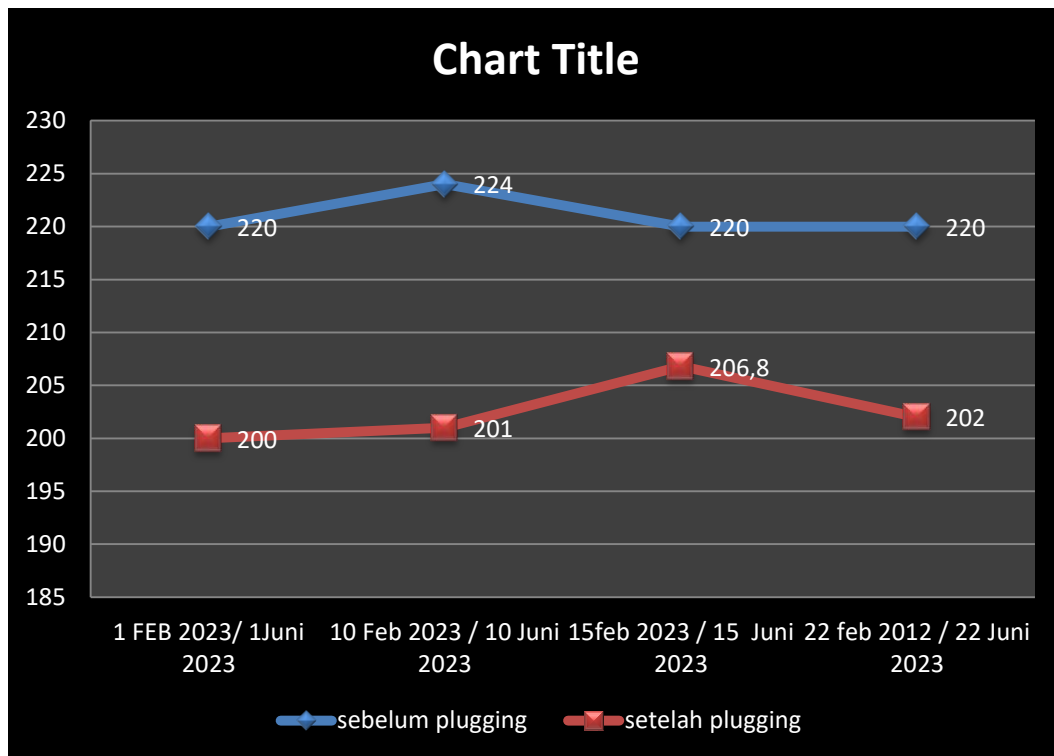
Analisa heat exchanger sebelum dan sesudah plugging tube pada HPHeater

Tabel 3. Pengambilan data pengamatan parameter akibat kebocoran sebelum di plugging

Tanggal	PARAMETER							
	DEARATOR		BFP		HPH 1		Outlate HP heter to feed water	
	Tekana n	temperatu r	Tekana n	flo w	tekanan	temperatu r	tekanan	temperatu r
	(kg/cm)	(°C)	(kg/cm)	T/h	(kg/cm ²)	(°C)	(kg/cm ²)	(°C)
1/2/2023	4.2	125	145	130	145	194	145	220
10/2/2023	4.2	123	145	134	145	195	145	220
15/2/2023	4.0	120	140	134	140	198	140	224
22/2/2023	4.1	120	145	130	145	198	145	220
3/3/2023	4.3	125	138	140	138	165	135	220
11/3/2023	4.0	120	137	144	137	166	135	210
20/3/2023	4.1	123	130	145	130	160	125	200
29/3/2023	4.0	125	125	145	125	160	125	190
5/4/2023	4.0	120	119	148	119	163	110	188
10/4/2023	4.3	128	107	155	107	161	102	171
1/5/2023	3.9	121	140	135	140	120	140	120
3/5/2023	4.0	120	140	130	140	120	140	120

Tabel 4. Pengambilan data pengamatan parameter akibat kebocoran sesudah di *plugging*

Tanggal	PARAMETER							
	DEARATOR		BFP		HPH 1		Outlate HP heter to feed water	
	Tekanan	Temperatur	Tekanan	flow	tekanan	temperatur	tekanan	temperatur
	(kg/cm ²)	(°C)	(kg/cm ²)	T/h	(kg/cm ²)	(°C)	(kg/cm ²)	(°C)
01/6/2023	4.2	125	145	130	145	183	145	200
10/6/2023	4.2	123	145	134	145	185	145	201
15/6/2023	4.0	120	140	134	140	184	140	206.8
22/6/2023	4.1	120	145	130	145	184	145	202.3

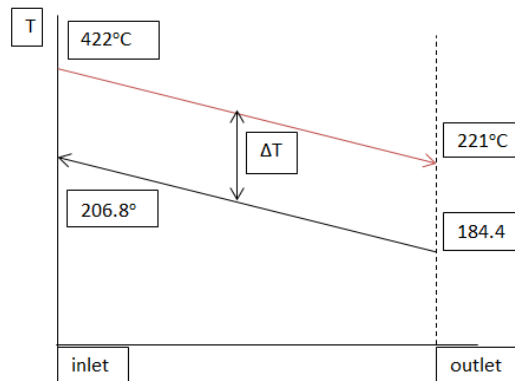


Gambar 4 Grafik analisa *heat exchanger* sebelum dan sesudah *plugging*

Dari data yang didapat dari *reading operator* dan *DCS log book* bahwa terjadi perubahan temperatur *outlet HP Heater* setelah dilakukan penutupan *tube (plugging)*. Pada saat ini kondisi *tube HP Heater* di unit 3 telah di *plug* hampir mencapai 15 % yaitu dari total 112 *tube* sudah ada 15 *tube* yang sudah di *plug*. kondisi seperti ini mengakibatkan perpindahan panas yang terjadi pada *HP Heater* tidak optimum karena terdapat banyak *tube* yang menyebabkan pada *tube-tube HP Heater* diantaranya dikarenakan korosi, gaya gesekan dan *thermal stress*.

Untuk itu *HP Heater* tidak boleh dioperasikan lagi karena dikhawatirkan akan membuat kebocoran pada *tube* di sekitarnya sehingga mengakibatkan level hasil kondensasi dalam *sheel* menjadi tinggi. Tingginya level air di dalam *sheel* dapat mengurangi efektivitas dari perpindahan panas yang terjadi. Selain itu, jika tidak segera di ambil tindakan dapat menyebabkan *Feedwater Heater Trip*[3].

Heat transfer pada kondisi desain dan setelah plugging



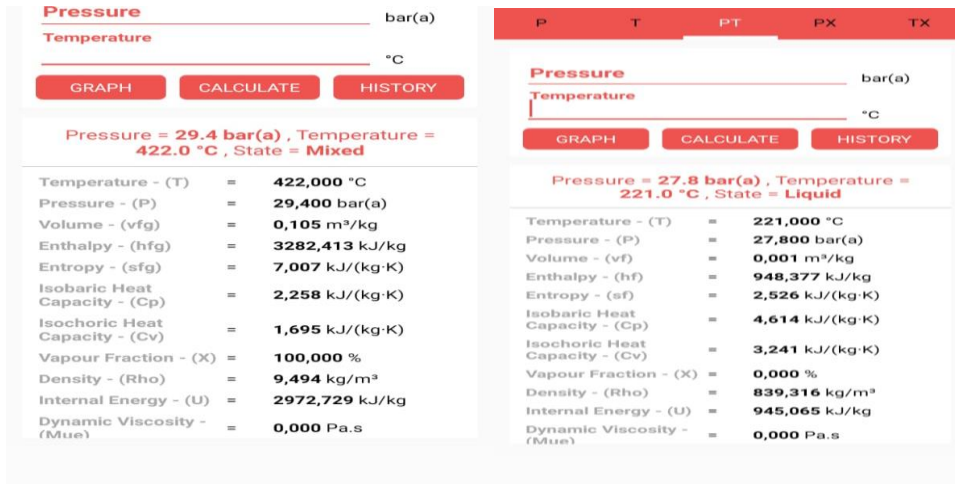
Gambar 5. Perpindahan panas pada *HP Heater* setelah *plugging*

Dari data yang ada (aktual) pada tanggal Februari 2023 dan dengan membandingkan dengan data *desain* untuk bisa menganalisa *heat loss* yang terdapat pada *sheel* dan *tube HP Heater*[6].

Tabel 5. Perbandingan Data Desain dan Setelah *Plugging*

Parameter	Satuan	Desain	Setelah <i>Plugging</i>
Extraction Steam Flow	kg/s	2.56	2.50
Extraction Steam Inlet Temperatur	C	430.2	422
Extraction Steam Inlet Enthalpy	kJ/kg	3293	3282.91
Drain Flow	kg/s	2.56	2.50
Drain temperatur	C	235	221
Drain enthalpy	kJ/kg	1013.73	948.41
Feedwater inlet flow	kg/s	41.05	38.1
Feedwater inlet temperatur	C	198.4	184.4
Feedwater inlet enthalpy	kJ/kg	850.9	787.94
Feedwater outlet flow	kg/s	41.05	38.1
Feedwater outlet temperatur	C	230	206.8
Feedwater outlet enthalpy	kJ/kg	992.9	887.71

Untuk mencari nilai enthalpy *extraction*, *drain inlet* dan *outlet feedwater inlet*, *outlet* desain dan setelah *plugging* dilakukan dengan menggunakan software Android Steamtable.

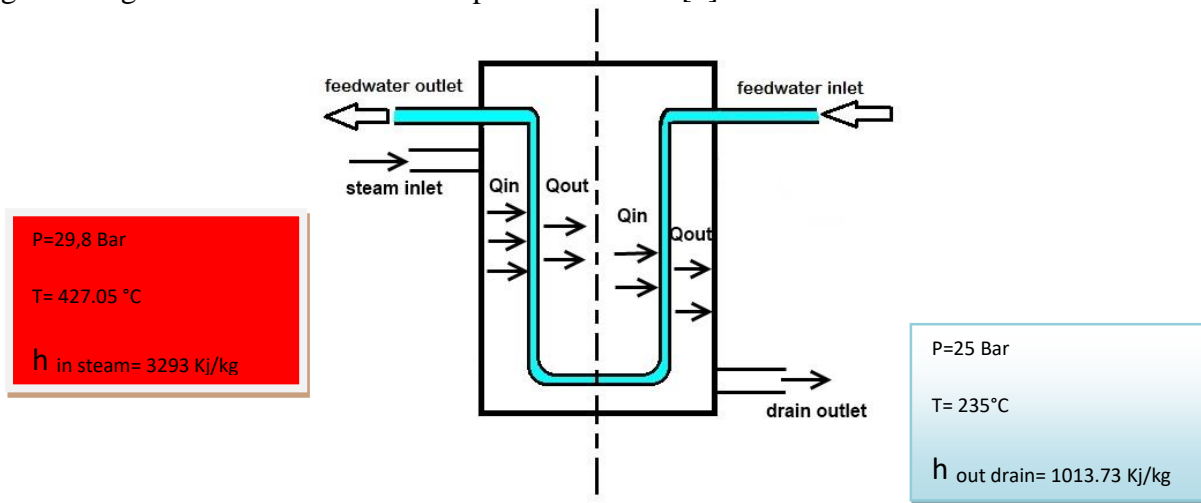


Gambar 6. Screen Shot steam table cara mencari nilai enthalpy dengan menggunakan versi OPPO A7 android OS V.8.10

Analisa Heat Transfer pada kondisi Desain

Panas yang dilepaskan (Q_{steam,drain})

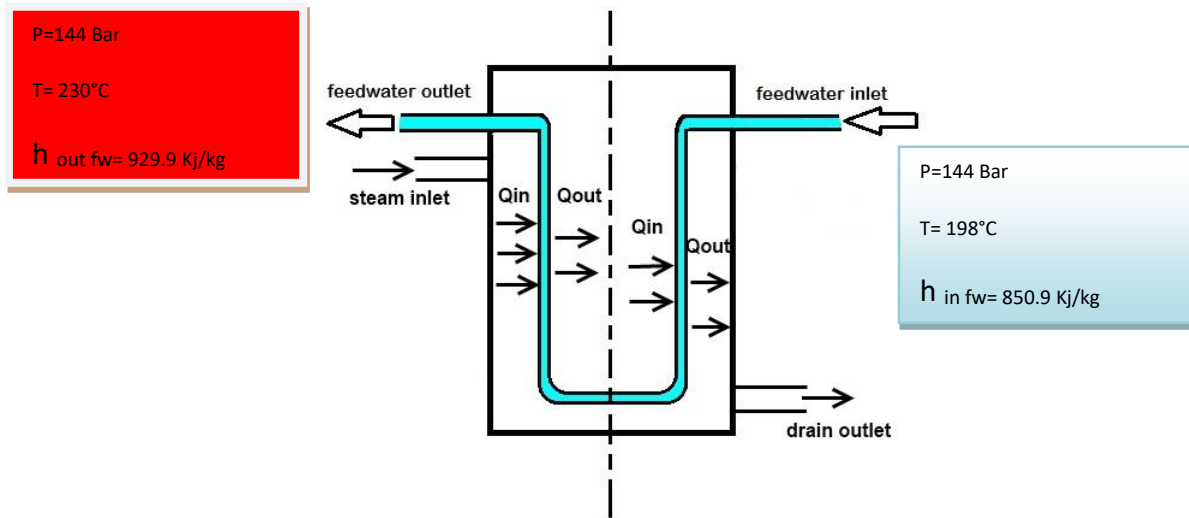
Adanya panas yang dilepaskan karena tidak semua panas yang diterima *feedwater* sehingga kalor yang terbuang melalui kondensasi drain pada *HP Heater*[7].



Gambar 7.Panas yang dilepaskan (Q_{steam,drain}) kondisi *design*

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{steam,drain}} &= Q_{\text{in steam}} - Q_{\text{out drain}} \\
 Q_{\text{steam,drain}} &= (\dot{m}_{\text{steam}} \times h_{\text{in steam}}) - (\dot{m}_{\text{drain}} \times h_{\text{out drain}}) \\
 &= \dot{m}_{\text{steam,drain}} (h_{\text{in}} - h_{\text{out}}) \\
 &= (2.56 \text{ kg/s}) (3293.2 \text{ kJ/kg} - 1013.73 \text{ kJ/kg}) \\
 &= (2.56 \text{ kg/s}) \times (2279.27 \text{ kJ/kg}) \\
 &= 5834.93 \text{ kJ/s}
 \end{aligned}$$

Panas yang diterima *feedwater* (Q_{fw})



Gambar 8. Panas yang diterima *feedwater* (Q_{fw}) kondisi *design*

Panas yang terserap pada *feedwater* karena adanya aliran *steam* dari *extraction steam bled* turbin.

$$\begin{aligned}
 Q_{fw} &= Q_{in\ fw} - Q_{out\ fw} \\
 &= (\dot{m}_{fw} \times h_{out\ fw}) - (\dot{m}_{fw} \times h_{in\ fw}) \\
 &= \dot{m}_{fw} (h_{out\ fw} - h_{in\ fw}) \\
 &= 41.05\ \text{kg/s} (929.9\ \text{kJ/kg} - 850.9\ \text{kJ/kg}) \\
 &= 41.05\ \text{kg/s} \times 142\ \text{kJ/kg} \\
 &= 5829.1\ \text{kJ/s}
 \end{aligned}$$

Sehingga dapat diketahui efisiensi perpindahan panas yang terjadi pada kondisi desain dengan perbandingan panas yang diterima dengan panas yang dilepaskan.

$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{perpindahan panas}} &= \frac{Q_{\text{terima}}}{Q_{\text{lepas}}} \times 100\% \\
 &= \frac{5829.1\ \text{kW}}{5834.93\ \text{kW}} \times 100\% \\
 &= 99.9\ \%
 \end{aligned}$$

Panas yang tersalurkan pada *heat exchanger*

Untuk mengetahui panas yang tersalurkan pada aliran *heat exchanger* perlu dicari nilai kapasitas kalor spesifik air dan *steam*[8].

$$\begin{aligned}
 C_{p\ water} &= 4.18\ \text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \\
 C_{p\ steam} &= 4.31\ \text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \\
 Q &= \dot{m}_{fw} \cdot C_{p\ water} (T_{out\ fw} - T_{in\ fw}) \\
 &= 41.05\ \text{kg/s} \times 4.18\ \text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} (230\ ^\circ\text{C} - 198.4\ ^\circ\text{C}) \\
 &= 171.589\ \text{kJ/s} \cdot ^\circ\text{C} \times 31.6\ ^\circ\text{C} \\
 &= 5422.21\ \text{kJ/s}
 \end{aligned}$$

Beda suhu rata-rata logaritmik (ΔT_{LMTD})

$$\begin{aligned}
 \Delta T_1 &= T_{in\ steam} - T_{out\ fw} \\
 &= 430.2\ ^\circ\text{C} - 230\ ^\circ\text{C} \\
 &= 200.2\ ^\circ\text{C} \\
 \Delta T_2 &= T_{out\ steam} - T_{in\ fw}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 235 \text{ }^{\circ}\text{C} - 198.4 \text{ }^{\circ}\text{C} \\
 &= 36.6 \text{ }^{\circ}\text{C} \\
 \Delta T_{lm} &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \\
 &= \frac{200.2 - 36.6}{\ln(5.46)} \\
 &= \frac{163.6}{\ln(5.46)} \\
 &= 96.27 \text{ }^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

Luas area permukaan pada perpindahan panas

Adapun luas area permukaan panas yang tersalurkan pada area *tube* dan *shell*. Dengan dicari nilai koefisien *heat exchanger feedwater heater* (dapat dilihat pada lampiran)

$$\begin{aligned}
 Q &= U \cdot A_s \cdot \Delta T_{lm} \\
 A_s &= \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{lm}} \\
 &= \frac{5422.21 \text{ kJ/s}}{(1000 \text{ W/m}^2\cdot\text{C})(96.27\text{C})} \\
 &= \frac{5422.21 \text{ kJ/s}}{96270 \text{ W/m}^2} \\
 &= 56320 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Laju aliran kapasitas panas

Kapasitas laju aliran panas pada aliran *extraction bled steam*

$$\begin{aligned}
 C_h &= \dot{m}_{\text{steam}} \cdot C_p \text{ steam} \\
 &= 2.56 \text{ kg/s} \times 4.31 \text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C} \\
 &= 11.03 \text{ kJ/s}\cdot^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

Kapasitas Laju aliran pada aliran *feedwater*

$$\begin{aligned}
 C_c &= \dot{m}_{\text{fw}} \cdot C_p \text{ water} \\
 &= 41.05 \text{ kg/s} \times 4.18 \text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C} \\
 &= 171.589 \text{ kJ/s}\cdot^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

$$C_{\min} = C_h = 11.03 \text{ kJ/s } ^{\circ}\text{C}$$

Sehingga dapat diketahui nilai kapasitas rasio pada laju aliran panas dan dingin.

$$\begin{aligned}
 c &= C_{\min} / C_{\max} \\
 &= 11.03 \text{ kJ/s } ^{\circ}\text{C} / 171.589 \text{ kJ/s } ^{\circ}\text{C} \\
 &= 0.0643
 \end{aligned}$$

Laju perpindahan kalor maksimum yang mungkin (Q_{maks})

Laju aliran panas maksimum yang mungkin terjadi pada *heat exchanger* pada saat terjadi perpindahan panas[5].

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{maks}} &= C_{\min} (T_{\text{in steam}} - T_{\text{in fw}}) \\
 &= 11.03 \text{ kJ/s } ^{\circ}\text{C} (430.2 \text{ }^{\circ}\text{C} - 198.4 \text{ }^{\circ}\text{C}) \\
 &= 11.03 \text{ kJ/s } ^{\circ}\text{C} \times 231.8 \text{ }^{\circ}\text{C} \\
 &= 2556.754 \text{ kJ/s}
 \end{aligned}$$

Efektivitas Penukar Panas

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= \frac{Q}{Q_{\text{maks}}} = \frac{\text{perpindahan-kalor nyata}}{\text{perpindahan-kalor maksimum yang mungkin}} \\
 &= \frac{5422.21}{2556.754} \\
 &= 2.12
 \end{aligned}$$

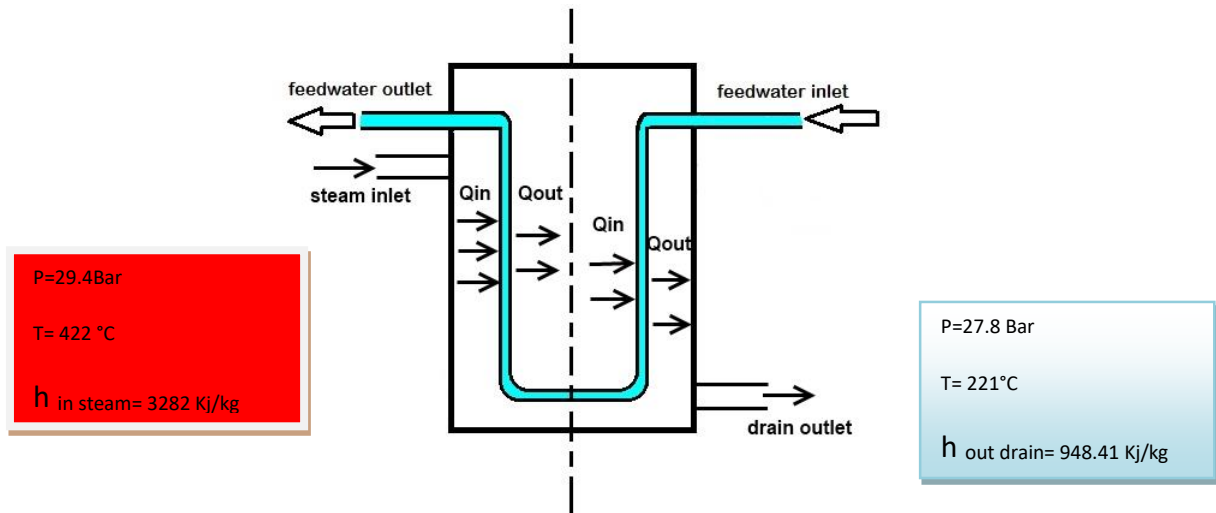
Metoda NTU (number of transfer unit) untuk shell dan tube

Mencari nilai efektivitas dengan metoda NTU untuk shell dan tube

$$\begin{aligned}
 NTU &= -\frac{1}{\sqrt{1+c^2}} \ln \left(\frac{\frac{2}{\epsilon}-1-c-\sqrt{1+c^2}}{\frac{2}{\epsilon}-1-c+\sqrt{1+c^2}} \right) \\
 &= -\frac{1}{\sqrt{1+0.643^2}} \ln \left(\frac{\frac{2}{2.12}-1-0.643-\sqrt{1+0.643^2}}{\frac{2}{2.12}-1-0.643+\sqrt{1+0.643^2}} \right) \\
 &= -\frac{1}{1.0021} \ln \left(-\frac{1.7017}{0.8821} \right) \\
 &= 0.6567
 \end{aligned}$$

4 Analisa Heat transfer pada kondisi Setelah *Plugging*

- Panas yang dilepaskan ($Q_{steam,drain}$)

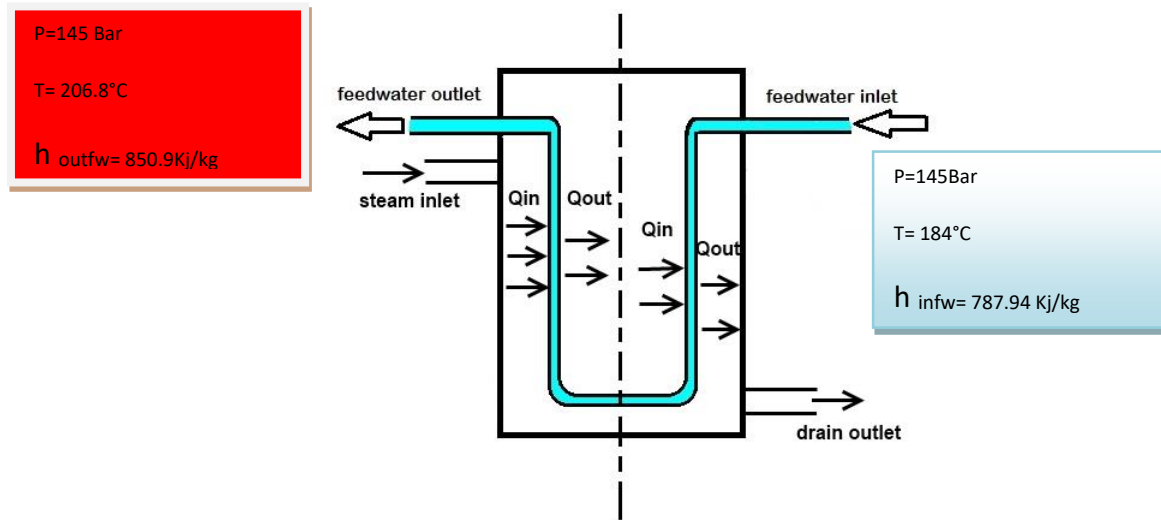


Gambar 9. Panas yang dilepaskan ($Q_{steam,drain}$) kondisi setelah *plugging*

Adanya panas yang dilepaskan karena tidak semua panas yang diterima *feedwater* setelah dilakukan *plugging* sehingga kalor yang terbuang melalui kondensasi drain pada *HP Heater*[4].

$$\begin{aligned}
 Q_{steam,drain} &= Q_{in\ steam} - Q_{out\ drain} \\
 Q_{steam,drain} &= (\dot{m}_{steam} \times h_{in\ steam}) - (\dot{m}_{drain} \times h_{out\ drain}) \\
 &= \dot{m}_{steam,drain} (h_{in\ steam} - h_{out\ drain}) \\
 &= 2.5\ kg/s (3282.91\ kJ/kg - 948.41\ kJ/kg) \\
 &= 2.5\ kg/s (2334.5\ kJ/kg) \\
 &= 5836.25\ kJ/s
 \end{aligned}$$

- Panas yang diterima *feedwater* ($Q_{feedwater}$)



Gambar 10. Panas yang diterima *feedwater* (Q_{fw}) kondisi seteah *plugging*

Panas yang terserap pada feedwater karena adanya aliran *steam* dari *extraction bled* turbin

$$\begin{aligned}
 Q_{fw} &= Q_{in\ fw} - Q_{out\ fw} \\
 &= (\dot{m}_{fw} \times h_{out\ fw}) - (\dot{m}_{fw} \times h_{in\ fw}) \\
 &= \dot{m}_{fw} (h_{out\ fw} - h_{in\ fw}) \\
 &= 38.1\ \text{kg/s} (887.71\ \text{kJ/kg} - 787.94\ \text{kJ/kg}) \\
 &= 38.1\ \text{kg/s} \times 99.77\ \text{kJ/kg} \\
 &= 3801.23\ \text{kJ/s}
 \end{aligned}$$

Sehingga dapat diketahui efisiensi thermal yang terjadi pada saat terjadi *plugging* dengan perbandingan panas yang diterima dengan panas yang dilepaskan.

$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{perpindahan panas}} &= \frac{Q_{\text{terima}}}{Q_{\text{lepas}}} \times 100\% \\
 &= \frac{3801.23\ \text{kW}}{5836.25\ \text{kW}} \times 100\% \\
 &= 65.13\ \%
 \end{aligned}$$

- Panas yang tersalurkan pada *heat exchanger*

Untuk mengetahui panas yang tersalurkan pada aliran *heat exchanger* perlu dicari nilai kapasitas kalor spesifik air dan *steam*.

$$\begin{aligned}
 C_{p\ water} &= 4.18\ \text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \\
 C_{p\ steam} &= 4.31\ \text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \\
 Q &= \dot{m}_{fw} \cdot C_p (T_{out\ fw} - T_{in\ fw}) \\
 &= 38.1\ \text{kg/s} \times 4.18\ \text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} (206.8\ ^\circ\text{C} - 184.4\ ^\circ\text{C}) \\
 &= 159.258\ \text{kJ/s} \cdot ^\circ\text{C} \times 22.4\ ^\circ\text{C} \\
 &= 3567.38\ \text{kJ/s}
 \end{aligned}$$

- Beda suhu rata-rata logaritmik ($\Delta LMTD$)

$$\begin{aligned}
 \Delta T_1 &= T_{in\ steam} - T_{out\ fw} \\
 &= 422\ ^\circ\text{C} - 206.8\ ^\circ\text{C} \\
 &= 215.2\ ^\circ\text{C} \\
 \Delta T_2 &= T_{out\ steam} - T_{in\ fw}
 \end{aligned}$$

$$= 221 \text{ }^{\circ}\text{C} - 184.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 36.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

$$= \frac{215.2 - 36.6}{\ln(215.2/36.6)}$$

$$= \frac{178.6}{\ln(5.87)}$$

$$= 101.477 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- **Luas area permukaan pada perpindahan panas**

Adapun luas area permukaan panas yang tersalurkan pada area *tube* dan *shell*. Dengan dicari nilai koefisien *heat exchanger feedwater heater* (dapat dilihat pada lampiran)

$$Q = U \cdot A_s \cdot \Delta T_{lm}$$

$$A_s = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{lm}}$$

$$= \frac{3567.38 \text{ kJ/s}}{(1000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C})(101.477 \text{ C})}$$

$$= \frac{3567.38 \text{ kJ/s}}{\text{W/m}^2}$$

$$= 35150 \text{ m}^2$$

- **Laju aliran kapasitas panas**

Laju aliran kapasitas panas pada aliran *extraction bled steam*

$$C_h = \dot{m}_{\text{steam}} \cdot C_{p \text{ steam}}$$

$$= 2.5 \text{ kg/s} \times 4.31 \text{ kJ/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$= 10.775 \text{ kJ/s} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

Laju aliran kapasitas pada aliran *feedwater*

$$C_c = \dot{m}_{\text{fw}} \cdot C_{p \text{ water}}$$

$$= 38.1 \text{ kg/s} \times 4.18 \text{ kJ/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$= 159.258 \text{ kJ/s} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$C_{\min} = C_h = 10.775 \text{ kJ/s } ^{\circ}\text{C}$$

Sehingga dapat diketahui nilai kapasitas rasio pada laju aliran panas dan dingin.

$$c = C_{\min} / C_{\max}$$

$$= 10.775 \text{ kJ/s } ^{\circ}\text{C} / 159.258 \text{ kJ/s } ^{\circ}\text{C}$$

$$= 0.0677$$

- **Laju perpindahan kalor maksimum yang mungkin (Q_{maks})**

Laju aliran panas maksimum yang mungkin terjadi pada *heat exchanger* pada saat terjadi perpindahan panas.

$$Q_{\text{maks}} = C_{\min} (T_{\text{in steam}} - T_{\text{in fw}})$$

$$= 10.775 \text{ kJ/s } ^{\circ}\text{C} (422 \text{ }^{\circ}\text{C} - 184.4 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

$$= 10.775 \text{ kJ/s } ^{\circ}\text{C} \times 237.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 2560.14 \text{ kJ/s}$$

- **Efektivitas penukar kalor**

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\text{maks}}} = \frac{\text{perpindahan-kalor nyata}}{\text{perpindahan-kalor maksimum yang mungkin}}$$

$$= \frac{3567.38 \text{ kJ/s}}{2560.14 \text{ kJ/s}}$$

$$= 1.3934$$

• Efektivitas dengan Metoda NTU (*number of transfer unit*) untuk *shell* dan *tube*

Mencari nilai efektivitas dengan metoda NTU untuk *shell* dan *tube*

$$\begin{aligned}
 NTU &= -\frac{1}{\sqrt{1+c^2}} \ln \left(\frac{\frac{2}{\varepsilon}-1-c-\sqrt{1+c^2}}{\frac{2}{\varepsilon}-1-c+\sqrt{1+c^2}} \right) \\
 &= -\frac{1}{\sqrt{1+0.0677^2}} \ln \left(\frac{\frac{2}{1.3934}-1-0.0677-\sqrt{1+0.0677^2}}{\frac{2}{1.3934}-1-0.0677+\sqrt{1+0.0677^2}} \right) \\
 &= -\frac{1}{1.0023} \ln \left(\frac{0.6347}{1.3699} \right) \\
 &= 0.7676
 \end{aligned}$$

Tabel 6. Hasil data perhitungan *Heat Exchanger* pada *HP Heater*

Keterangan	Satuan	Desain	Setelah plugging
Q dilepaskan	kJ/s	5834.93	5836.25
Qditerima	kJ/s	5829.1	3801.23
Efisiensi perpindahan panas	%	99.9	65.13
Q tersalurkan	kJ/s	5422.21	3567.38
Luas permukaan Heat exchanger	m ²	56320	35150
laju aliran kapasitas panas		0.0643	0.0677
laju perpindahan kalor maksimum	kJ/s	2.556.754	2560.14
Efektivitas Kalor		2.12	1.39
NTU (<i>number of transfer unit</i>)		0.6567	0.7676

Kesimpulan

Berdasarkan maksud dan tujuan pada pendahuluan, serta data pengamatan dan analisa yang telah disampaikan penulis, maka penulis dapat memberikan kesimpulan sebagai berikut :

1. Adanya penutupan *tube* akibat adanya kebocoran / *plugging tube* pada *HP Heater* sebesar 15 % dari total 112 *tube* . Terjadi penurunan temperatur outlet karena perpindahan panas menjadi tidak maksimal sehingga berefek pada kerja boiler menjadi lebih besar dan bahan bakar menjadi semakin banyak.
2. Efektivitas *HP Heater* secara system turun sebesar 34.43 % dari kondisi desain. Metoda efektivitas NTU *shell and tube* naik menjadi 0.7676 karena dipengaruhi adanya penurunan *water flow massa* pada *tubing* dengan penurunan sebesar 2.95 kg/s.
3. Terjadi penurunan efisiensi perpindahan panas sebesar 34.4 % dari 99.9 % karena terdapat luas perpindahan panas yang berkurang. Secara sistem menjadi tidak efektif karena banyak panas yang tidak tersalurkan pada air di dalam *tubing* akibat *plugging* tapi masih bisa digunakan secara operasional.

Daftar Pustaka

[1] J.P. Holman, Alih bahasa E. Jasjfi. Perpindahan Kalor. Penerbit Erlangga, Jakarta, 1988
 [2] William C. Reynolds & Henry C. Termodinamika teknik. Penerbit Erlangga, Jakarta 1991
 [3] Lampiran (perpindahan kalor catatan Wirawan Pisenso 28.11.2011)
 [4] http://www.cheresources.com/heat_transfer_basics.shtml. diakses 06.08.2012
 [5] http://www.id.wikipedia.org/wiki/Koefisien_pindah_panas.com. diakses 08.01.2014

- [6] M.M. El Wakil, Powerplant Technology. McGraw-Hill International Editions, Singapura, 1984
- [7] Y.A. Cengel, Heat Transfer, Second edition, International Textbook Company, Scranton, Pa
- [8] <http://onnyapriyahanda.com/macam-macam-heat-exchanger-alat-penukar-panas> bagian diakses 10.12.2014