

PERHITUNGAN EFISIENSI PADA *HIGH PRESSURE HEATERS*: STUDI DARI UNIT 7 PLTU PT POMI

Siti Syilfia Aisya¹, Windi Zamrudy¹, Eko Naryono¹, Erwan Yulianto²

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

²PT POMI, Jl. Surabaya Situbondo KM. 141, Desa Bhinor, Kabupaten Probolinggo 67291, Indonesia
sitisyilfiaa@gmail.com, [windi.zamrudy@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Paiton Operation and Maintenance Indonesia (PT. POMI) merupakan salah satu pembangkit listrik yang berada di kawasan PLTU Paiton. PT. POMI mempunyai 3 unit yaitu unit 3, 7, dan 8. Unit 7 merupakan salah satu pembangkit listrik dengan kapasitas 615 MW. Untuk mencapai efisiensi termal yang optimal pada kapasitas tersebut, sehingga memerlukan alat *High Pressure Heater* (HPH). HPH merupakan salah satu jenis *heat exchanger* yang banyak dipakai dalam industri pembangkit listrik yang berfungsi untuk memanaskan air umpan sebelum masuk ke boiler, untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi keseluruhan siklus. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi HPH di PLTU Paiton Unit 7. PT POMI memiliki HPH 6, 7, 8 (A+B). Efisiensi HPH penting untuk meningkatkan kinerja siklus termal, menekan konsumsi bahan bakar, dan mengurangi biaya operasional pembangkit. Efisiensi dipengaruhi suhu air masuk dan keluar pada masing-masing unit, semakin tinggi suhu air masuk maka efisiensi *heater* semakin besar. Perhitungan efisiensi didasarkan neraca massa dan neraca panas yang dihitung dari data operasional aktual suhu, tekanan, dan laju aliran massa air umpan serta uap ekstraksi. Berdasarkan hasil perhitungan, efisiensi tertinggi diperoleh pada HPH 6A sebesar 97,07%, dan efisiensi terendah pada HPH 8B sebesar 90,1%. Nilai efisiensi yang dicapai pada PLTU Paiton Unit 7 masih beroperasi optimal dan layak digunakan.

Kata kunci: efisiensi, high pressure heater, neraca massa, neraca energi, PLTU paiton unit 7

ABSTRACT

Paiton Operation and Maintenance Indonesia (PT. POMI) is one of the power plants located in the Paiton PLTU area. PT POMI has 3 units, namely units 3, 7, 8, and unit 7 is one of the power plants with a capacity of 615 MW. To achieve optimal thermal efficiency at this capacity, a High-Pressure Heater (HPH) is required. An HPH is a type of heat exchanger widely used in the power generation industry to heat feedwater before it enters the boiler, thereby improving the performance and overall efficiency of the cycle. This study aims to evaluate the efficiency of the HPH at Paiton Power Plant Unit 7. PT POMI operates HPHs 6, 7, and 8 (A+B). HPH efficiency is crucial for improving thermal cycle performance, reducing fuel consumption, and lowering plant operational costs. Efficiency is influenced by the inlet and outlet water temperatures of each unit; the higher the inlet water temperature, the greater the heater's efficiency. Efficiency calculations are based on mass and heat balances derived from actual operational data on temperature, pressure, and mass flow rates of feedwater and extraction steam. Based on the calculation results, the highest efficiency was achieved in HPH 6A at 97.07%, and the lowest efficiency was in HPH 8B at 90.1%. The efficiency values achieved at Paiton Unit 7 are still within optimal operating ranges and are suitable for use.

Keywords: efficiency, high pressure heater, mass balance, energy balance, PLTU paiton

1. PENDAHULUAN

Paiton Operation and Maintenance Indonesia atau PT. POMI merupakan salah satu PLTU yang berada di kawasan PLTU Paiton. PT. POMI mempunyai 3 unit yaitu unit 3, 7, dan 8. Unit 7 merupakan pembangkit listrik dengan kapasitas 615 MW. PLTU Paiton unit 7 memiliki kontribusi besar dalam menyediakan energi listrik di pulau Jawa dan Bali [1]. PLTU Paiton Unit 7 menggunakan teknologi *subcritical*, yang proses pemanasannya di dalam boiler menggunakan batu bara sebagai bahan bakar untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi. Uap dari proses pemanasan air selanjutnya digunakan sebagai energi untuk memutar turbin pada generator untuk menghasilkan listrik. Pada siklus termal pembangkit, peran sistem *feedwater heater* khususnya *High Pressure Heater* (HPH) penting untuk menjaga kinerja dan efisiensi operasinya. Di PLTU Paiton Unit 7, mempunyai 8 *feedwater heater* yang terdiri atas 4 *Low Pressure Water Heater* (LPWH), 3 *High Pressure Water Heater* 6, 7, 8 (A+B) dan satu deaerator.

PLTU Paiton Unit 7 menggunakan Alat penukar panas berfungsi untuk mentransfer panas dari satu fluida ke fluida yang lain. Fluida yang digunakan sebagai pendingin adalah air (*cooling water*), sedangkan sebagai media pemanas digunakan uap lewat panas (*superheated steam*) [2]. *High Pressure Heater* (HPH) tipe *shell and tube heat exchanger* merupakan salah satu jenis *heat exchanger* yang banyak dipakai dalam industri pembangkit listrik [3]. *High Pressure Heater* (HPH) berfungsi menaikkan suhu air umpan (*feedwater*) sebelum masuk ke boiler, sehingga kebutuhan kalor yang harus disuplai oleh boiler dapat diminimalkan. Dengan demikian, konsumsi bahan bakar batubara dapat ditekan dan efisiensi siklus pembangkit meningkat [4]. Pada pengoperasiannya dapat terjadi gangguan atau penurunan performa pada salah satu HPH. Kondisi ini dapat menurunkan temperatur *feedwater*, sehingga kebutuhan kalor untuk boiler *feedwater* meningkat, konsumsi batubara bertambah, dan biaya operasional harian naik [5].

Analisis efisiensi pada HPH menjadi penting untuk mengetahui kinerja masing-masing HPH dalam mendukung efisiensi keseluruhan siklus termal PLTU Paiton Unit 7. Data spesifikasi dan properti fluida pada setiap HPH digunakan sebagai dasar analisa termal, yang meliputi evaluasi performa, variasi beban operasi, serta dampak adanya kerusakan pada unit HPH [5]. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Tobing (2021) menunjukkan bahwa efektivitas HPH tertinggi dicapai pada beban penuh (100%), gangguan atau kerusakan dan HPH yang tidak beroperasi dapat menurunkan efisiensi pembangkit secara signifikan. Kondisi ini dapat meningkatkan kebutuhan batubara hingga lebih dari 11 ton per jam dan meningkatkan biaya operasional yang besar [4].

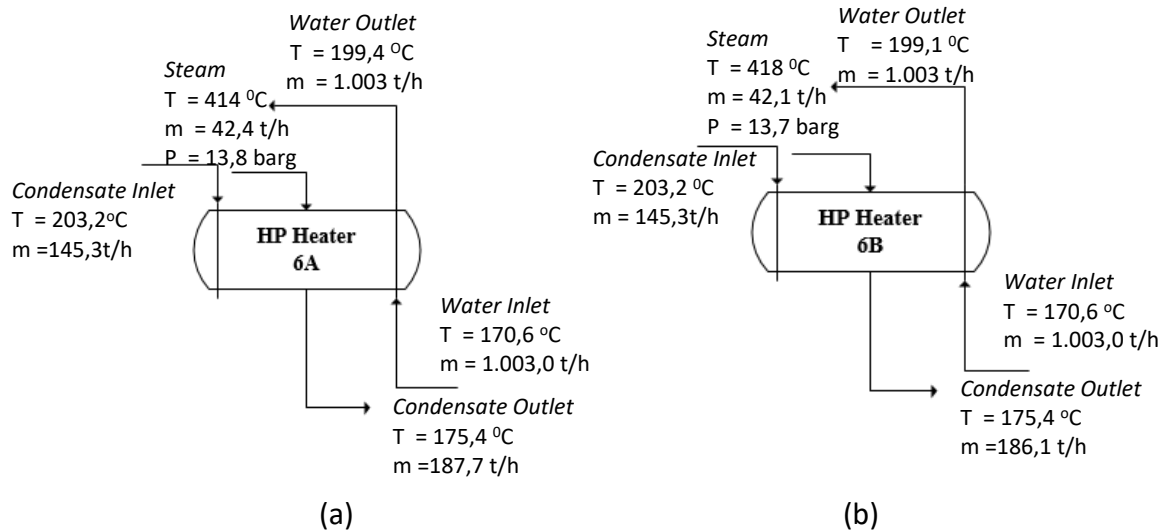
Tujuan artikel ini untuk mengevaluasi efisiensi *High Pressure Heater* (HPH) pada PLTU Paiton Unit 7 secara komprehensif, sebagai dasar perhitungan biaya operasi, pengambilan keputusan strategis dalam pemeliharaan, serta peningkatan kinerja sistem pembangkit agar tercapai operasi yang optimal, efisien, dan berkelanjutan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

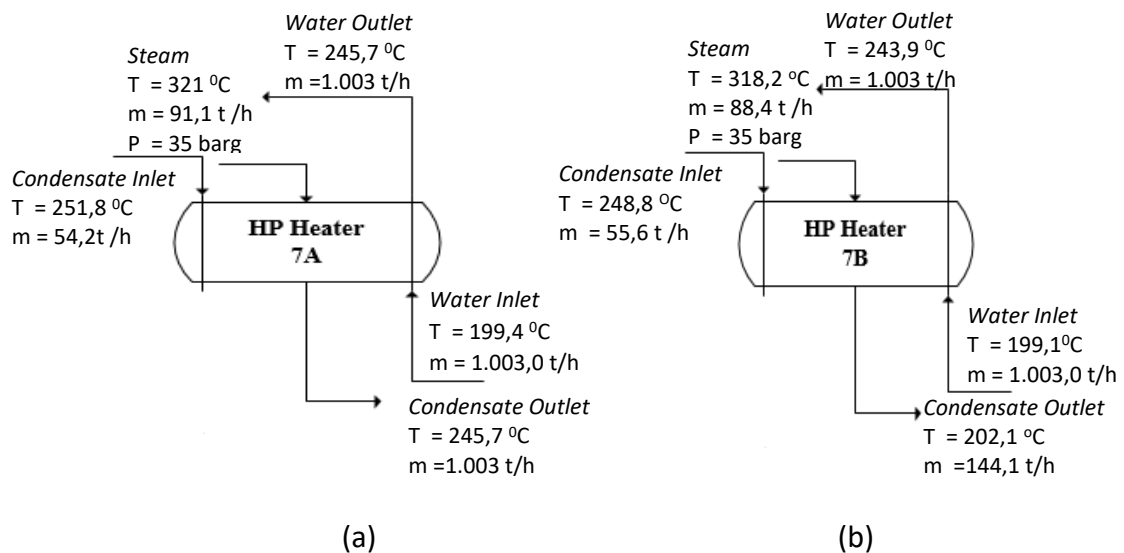
Tahapan penelitian yang dilakukan untuk melakukan analisis efisiensi HPH 6, 7, dan 8 (A+B) pada PLTU Paiton Unit 7 dengan studi literatur, pengumpulan data, pengolahan data dan perhitungan efisiensi HPH 6, 7, dan 8 (A+B).

2.1. Teknik Pengumpulan Data

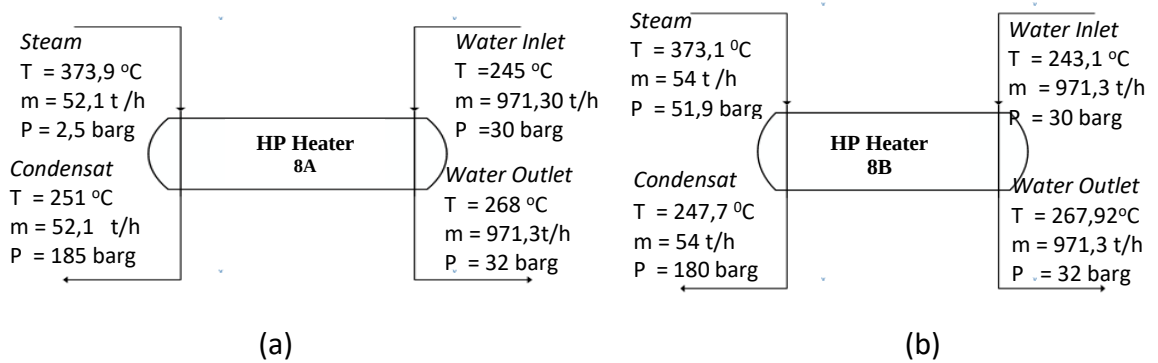
Data untuk menghitung efisiensi HPH 6, 7, dan 8 (A+B) diperoleh dari pengamatan langsung dengan pengumpulan data yang dilakukan berasal dari ruang *Main Control Room* (MCR). Data diperoleh pada tanggal 21 Oktober 2024. Data yang didapatkan dari MCR sebagai berikut:



Gambar 1. Data operasional (a) HPH 6A dan (b) HPH 6B PLTU Paiton Unit 7 (Sumber: MCR PLTU Paiton Unit 7)



Gambar 2. Data operasional (a) HPH 7A dan (b) HPH 7B PLTU Paiton Unit 7 (Sumber: MCR PLTU Paiton Unit 7)



Gambar 3. Data operasional (a) HPH 8A dan (b) HPH 8B PLTU Paiton Unit 7 (Sumber: MCR PLTU Paiton Unit 7)

2.2. Pengolahan Data

Pengolahan data menggunakan data hasil perhitungan neraca massa, neraca panas, Q_{steam} dan nilai efisiensi *heater*. Berikut merupakan rumus perhitungan:

a) Neraca Massa

Menurut Hougen (1952), Persamaan neraca massa dapat dirumuskan pada persamaan berikut [6]:

$$\begin{aligned} \text{mass input} &= \text{mass output} + \text{mass accumulation} \\ m_A + m_B + m_C &= m_D + m_E + m_{akumulasi} \end{aligned} \quad (1)$$

Berikut merupakan persamaan neraca massa apabila tidak ada massa yang terakumulasi:

$$\begin{aligned} \text{mass input} &= \text{mass output} \\ m_A + m_B + m_C &= m_D + m_E \end{aligned} \quad (2)$$

Keterangan:

- m_A : massa yang masuk di A (kg)
- m_B : massa yang masuk di B (kg)
- m_C : massa yang masuk di C (kg)
- m_D : massa yang keluar di D (kg)
- m_E : massa yang keluar di E (kg)
- $m_{akumulasi}$: massa yang terakumulasi (kg)

b) Neraca Panas

Neraca panas adalah sebuah rumus matematika yang menunjukkan hubungan antara yang diterima dan dikeluarkan dari suatu sistem dalam waktu tertentu [7]. Rumus yang akan digunakan untuk perhitungan nilai kalor atau panas di dalam perhitungan neraca panas yaitu dengan persamaan berikut [8]:

$$E_1 + Q = \Delta E + E_2 + W \quad (3)$$

Keterangan:

E_1	: energi yang masuk sistem	(kJ/h)
Q	: enthalpy	(kJ/h)
ΔE	: energi yang terakumulasi	(kJ/h)
E_2	: energi yang keluar dari sistem	(kJ/h)
W	: energi yang dipakai oleh sistem	(kJ/h)

c) Perhitungan Q_{steam}

$$Q_{1steam} = m_{steam} \times cp \times \Delta T \quad (4)$$

$$Q_{2 steam} = m_{steam} \times L \quad (5)$$

$$Q_{3 steam} = m_{steam} \times cp \times \Delta T \quad (6)$$

$$Q_{steam} = Q_{1steam} + Q_{2steam} + Q_{3 steam} \quad (7)$$

Keterangan:

Q_{1steam}	: enthalpy pada <i>steam</i> 1 (kJ/h)
$Q_{2 steam}$	: enthalpy pada <i>steam</i> 2 (kJ/h)
$Q_{3 steam}$	: enthalpy pada <i>steam</i> 3 (kJ/h)
Q_{steam}	: enthalpy pada <i>steam</i> akumulasi (kJ/h)
cp	: kapasitas panas (kJ/kmol)
L	: kalor laten (kJ/kg)
ΔT	: selisih suhu (K)

d) Perhitungan Q_{water}

$$Q_{water} = m_{water} \times cp \times \Delta T \quad (8)$$

Keterangan:

Q_{water}	: enthalpy <i>water</i> (kJ/h)
cp	: kapasitas panas (kJ/kmol)
ΔT	: selisih suhu (K)

e) Perhitungan Efisiensi *Heater*

$$\text{Efisiensi} = \frac{Q_{steam}}{Q_{water}} \times 100\% \quad (9)$$

Keterangan:

Q_{water}	: enthalpy pada <i>water</i> (kJ/h)
Q_{steam}	: enthalpy pada <i>steam</i> (kJ/h)

2.3. Perhitungan HPH 6A

Diagram alir *High Pressure Heater* 6A dapat dilihat pada gambar 1 (a).

a) Neraca Massa

Berikut merupakan parameter dasar yang digunakan dalam perhitungan:

Basis : 1 jam

Asumsi: - semua *steam* menjadi *condensate* & *inlet water* menjadi *outlet water*
 - tidak ada *heat lost* pada aliran air

Neraca Massa total :

$$\begin{aligned}
 \text{Massa masuk} &= \text{massa Keluar} \\
 \text{Steam} + \text{water inlet} + \text{condensat} &= \text{condensat} + \text{water outlet} \\
 973,5 \text{ t/h} + 40,9 \text{ t/h} + 140,2 \text{ t/h} &= 973,5 \text{ t/h} + 181.100 \text{ t/h} \\
 1.154,6 \text{ t/h} &= 1.154,6 \text{ t/h} \\
 1.154.600 \text{ kg/h} &= 1.154.600 \text{ kg/h}
 \end{aligned}$$

Tabel 1. Neraca massa komponen 6A

Komponen	Mass In						Mass Out			
	Water		Steam		Condensat		Water		Condensat	
	m (kg/h)	Xm	m (kg/h)	Xm	m (kg/h)	xm	m (kg/h)	Xm	m (kg/h)	Xm
Water	973.500	1	-	-	-	-	973.500	1	-	-
Steam	-	-	40.900	1	-	-	-	-	-	-
Condensat	-	-	-	-	140.200	1	-	-	181.100	1
Total				1.154.600				1.154.600		

b) Neraca Panas

Berikut merupakan parameter dasar yang digunakan dalam perhitungan:

Basis : 1 jam

T_{ref} : 0 °C

Asumsi: kondisi suhu dan tekanan fluida dingin dan fluida panas tetap

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{sensibel 1}} & 413,8^{\circ}\text{C} + 273,15^{\circ}\text{C} = 686,95 \text{ K} \\
 Q_{\text{laten}} & 196,911^{\circ}\text{C} + 273,15^{\circ}\text{C} = 470,061 \text{ K} \\
 Q_{\text{sensibel 2}} & 174,9^{\circ}\text{C} + 273,15^{\circ}\text{C} = 448,05 \text{ K}
 \end{aligned}$$

Gambar 4. Kondisi operasi $Q_{\text{sensibel 1}}$ 686,95 K, $Q_{\text{sensibel 2}}$ 470,061 K dan Q_{laten} 448,05 k

c) Neraca Panas *Steam* – *Condensat*

- Mencari titik didih air (*Saturated Liquid*)
- Mencari titik didih air (*saturated liquid*) saat $P = 13,6$ barg (1461,325 kPa)
- T_{sat} pada $P = 13,6$ barg (1461,325 kPa) dengan interpolasi dengan data *steam table* (Geankoplis A.2-9).

Tabel 2. Properties of saturated steam and water (steam table)

T (°C)	Vapor Pressure (kPa)	Specific Volume (m ³ /kg)		Enthalpy (kJ/kg)		Entropy (kJ/kg·K)	
		Liquid	Sat'd Vapor	Liquid	Sat'd Vapor	Liquid	Sat'd Vapor
170	791,7	0,00111	0,2428	719,21	2768,7	2,0419	6,6663
175	892	0,00112	0,2168	741,17	2773,6	2,0909	6,6256
180	1002,1	0,00112	0,19405	763,22	2778,2	2,1396	6,5857
190	1254,4	0,00114	0,15654	807,62	2786,4	2,2359	6,5079
200	1553,8	0,00115	0,12736	852,45	2793,2	2,3309	6,4323
225	2548	0,00119	0,07849	966,78	2803,3	2,5639	6,2503
250	3973	0,00125	0,05013	1085,3	2801,5	2,7927	6,073

Sehingga didapatkan $T_{\text{sat}} = 196,911^{\circ}\text{C} = 470,061\text{ K}$

- Mencari $Q_{\text{laten}} (Q_i)$
- λ = pada saat $T = 196,911^{\circ}\text{C}$ ($470,061\text{ K}$) dengan perhitungan interpolasi untuk mendapatkan H_v dan H_l dengan data *Steam table* (Geankoplis A.2-9) pada Tabel 2, sehingga didapatkan nilai :
 $H_v = 2.791,10\text{ kJ/kg}$
 $H_l = 838,60\text{ kJ/kg}$
 $\lambda = H_v - H_l$
 $= 1.952,50\text{ kJ/kg}$
 Sehingga, $Q_2 = m \times \lambda$
 $= 40.900\text{ kg/h} \times 1.952,50\text{ kJ/kg}$
 $= 79.857.096,22\text{ kJ/h}$

- Mencari $Q_{\text{sensibel 1}} (Q_{s1})$

Tabel 3. Heat transfer properties of water vapor (steam)

T (°C)	T (K)	P (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \times 10^5$ (Pa·s, or kg/m·s)	k (W/m·K)	N_{pr}	$\beta \times 10^3$ (1/K)	$g\beta\rho^2/\mu^2$ (1/K·m ²)
100	373,2	0,596	1,888	1,295	0,0251	0,96	2,68	$0,557 \times 10^8$
148,9	422,1	0,525	1,909	1,488	0,0296	0,95	2,38	$0,292 \times 10^8$
204,4	477,6	0,461	1,934	1,682	0,03462	0,94	2,09	$0,154 \times 10^8$
260	533,2	0,413	1,968	1,883	0,03946	0,94	1,87	$0,0883 \times 10^8$
315,6	588,8	0,373	1,997	2,113	0,04448	0,94	1,7	$52,1 \times 10^5$

- c_p pada $T = 413,8^{\circ}\text{C}$ ($686,95\text{ K}$), dihitung dengan interpolasi *Steam table* [8]
 Dari interpolasi didapatkan nilai $c_p = 2,05918345\text{ kJ/kg.K}$

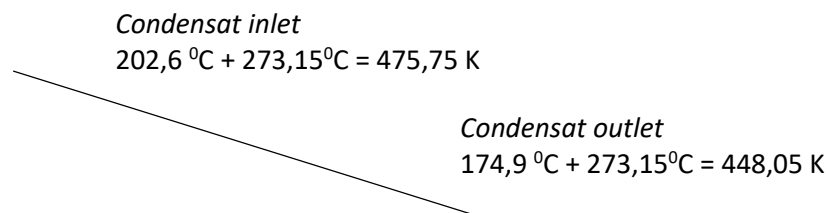
$$\begin{aligned}
 Q_{s1} &= m \times c_p \times \Delta T \\
 &= 40.900\text{ kg/h} \times 2,05918345\text{ kJ/kg.K} \times (686,95\text{ K} - 470,061\text{K}) \\
 &= 18.266.495\text{ kJ/h}
 \end{aligned}$$

- Mencari Q sensibel 2 (Q_{s2})
- cp pada $T_{Ave} = 185,9^\circ\text{C} = 459,1\text{ K}$, dihitung dengan interpolasi *Steam table (Geankoplis A.2-12)* didapatkan nilai $cp = 4,45\text{ KJ/Kg.K}$

$$\begin{aligned} Q_{s2} &= m \times cp \times \Delta T \\ &= 40.900\text{ kg/h} \times 4,45\text{ KJ/Kg.K} \times (470,06\text{ K} - 448,05\text{ K}) \\ &= 4.007.990,6\text{ kJ/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum Q_{\text{Steam}} &= Q_{s1} + Q_l + Q_{s2} \\ &= 18.266.495\text{ kJ/h} + 79.857.096,22\text{ kJ/h} + 4.007.990,6\text{ kJ/h} \\ &= 102.131.582\text{ kJ/h} \end{aligned}$$

d) Neraca Panas Kondensat *Inlet* - Kondensat *Outlet*

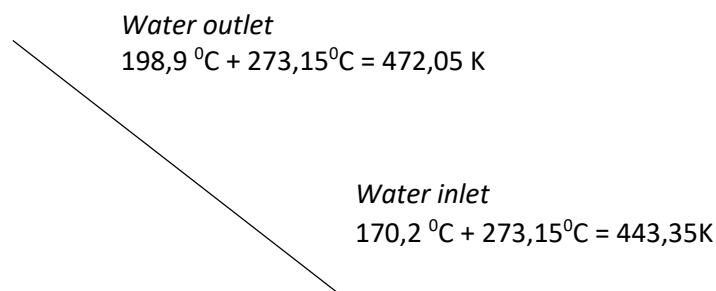


Gambar 5. Kondisi operasi *condensat inlet* 475,75 K - *condensat outlet* 448.05 K

- Mencari Q sensibel 3 (Q_{s3})
- cp pada $T_{ave} = 188,75^\circ\text{C}$ (461,9 K) dihitung dengan interpolasi *Steam table (Geankoplis A.2-12)* didapatkan nilai $cp = 4,7559\text{ kJ/kg.K}$

$$\begin{aligned} Q_{s3} &= m \times cp \times \Delta T \\ &= 140.200\text{ kg/h} \times 4,7559\text{ kJ/kg.K} \times (475,75\text{ K} - 448,05\text{ K}) \\ &= 18.469.930\text{ kJ/h} \end{aligned}$$

e) Neraca Panas *Water Inlet* – *Water Outlet*



Gambar 6. Kondisi *water inlet* 443,35 K - *water outlet* 472,05 K

- Mencari Q_{water}
- cp pada $T_{ave} = 184,55^\circ\text{C}$ (457,7 K) dihitung dengan interpolasi *Steam table (Geankoplis A.2-12)* .

Tabel 4. Heat transfer properties of liquid water

T (°C)	T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \times 10^3$ (Pa·s, or kg/m·s)	K (W/m·K)	N_{pr}	$\beta \times 10^4$ (1/K)	$(g\beta\rho^2/\mu^2) \times 10^{-8}$ (1/K·m ³)
93,3	366,5	962,7	4,229	0,3066	0,6802	1,91	6,66	642
121,1	394,3	943,5	4,271	0,2381	0,6836	1,49	8,46	1300
148,9	422,1	917,9	4,312	0,1935	0,6836	1,22	10,08	2231
204,4	477,6	858,6	4,522	0,1384	0,6611	0,95	14,04	5308
260	533,2	784,9	4,982	0,1042	0,604	0,859	19,8	11030
315,6	588,8	679,2	6,322	0,0862	0,5071	1,07	31,5	19260

Dari Interpolasi didapatkan nilai $c_p = 4,446 \text{ kJ/kg.K}$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{water}} &= m \times c_p \times \Delta T \\
 &= 973.500 \text{ kg/h} \times 4,446 \text{ kJ/kg.K} \times (472,05 \text{ K} - 443,35 \text{ K}) \\
 &= 124.234.714 \text{ kJ/h}
 \end{aligned}$$

f) Efisiensi HPH 6A

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi} &= \frac{Q_{\text{steam}}}{Q_{\text{water}}} \times 100\% \\
 &= \frac{Q_{\text{steam}} + Q_{s3}}{Q_{\text{water}}} \times 100\% \\
 &= \frac{102.131.582 \text{ kJ/h} + 18.469.930 \text{ kJ/h}}{124.234.714 \text{ kJ/h}} \times 100\% \\
 &= 97,07 \%
 \end{aligned}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Tabel 5. Hasil perhitungan efisiensi HPH 6 (A+B) PLTU paiton unit 7

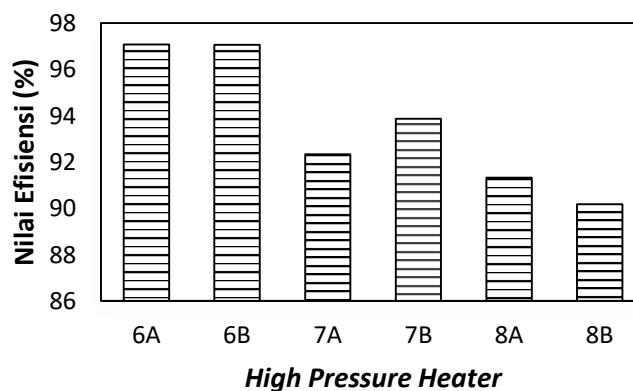
Parameter	Hasil perhitungan <i>high pressure heater</i>	
	6A	6B
Mass balance Steam (kg/h)	40. 900	40. 500
Titik didih air (°C)	196,911	196,577
$Q_{1\text{Steam}}$ (kJ/h)	18.266.495	18.482.749
λ pada saat titik didih (kJ/kg)	1.952,50	1.953,77
$Q_{2\text{Steam}}$ (kJ/h)	79.857.096,22	79.127.544,11
$Q_{3\text{Steam}}$ (kJ/h)	4.007.990,6	3.836.554,8
Q_{Steam} (kJ/h)	102.131.582	101.446.845,1
$Q_{\text{condensate}}$ (kJ/kg)	17.427.768	18.469.930
Mass balance water (kg/h)	973.500	973.400
Suhu rata rata (°C)	184,55	184,35
Q_{water} (kJ/h)	124.243.714	122.478.663
Efisiensi (%)	97,07	97,06

Tabel 6. Hasil perhitungan efisiensi HPH 7 (A+B) PLTU paiton unit 7

Parameter	Hasil perhitungan <i>high pressure heater</i>	
	7A	7B
<i>Mass balance Steam</i> (kg/h)	139.900	139.000
Titik didih air ($^{\circ}\text{C}$)	242,42	242,606
$Q_{1\text{Steam}}$ (kJ/h)	13.798.916	12.651.278
λ pada saat titik didih (kJ/kg)	1.752,61	1.751,76
$Q_{2\text{Steam}}$ (kJ/h)	153.878.867,58	148.899.763,23
$Q_{3\text{Steam}}$ (kJ/h)	16.344.719,5	16.278.688,6
Q_{Steam} (kJ/h)	184.022.503,3	177.829.729,8
$Q_{\text{condensate}}$ (kJ/kg)	12.074.860	11.674.131
<i>Mass balance water</i> (kg/h)	971.300	971.300
Suhu rata rata ($^{\circ}\text{C}$)	222,3	220,8
Q_{water} (kJ/h)	208.611.582	201.871.107
Efisiensi (%)	94	93,87

Tabel 7. Hasil perhitungan efisiensi HPH 8 (A+B) PLTU paiton unit 7

Parameter	Hasil perhitungan <i>high pressure heater</i>	
	8A	8B
<i>Mass balance Steam</i> (kg/h)	52.100	54.000
Titik didih air ($^{\circ}\text{C}$)	267,6	266,739
$Q_{1\text{Steam}}$ (kJ/h)	11.263.875	11.667.197
λ pada saat titik didih (kJ/kg)	1.617	1.621
$Q_{2\text{Steam}}$ (kJ/h)	84.260.871	87.566.086,99
$Q_{3\text{Steam}}$ (kJ/h)	4.277.525,6	5.098.239,9
Q_{Steam} (kJ/h)	109.352.206	104.331.524,4
$Q_{\text{condensate}}$ (kJ/kg)		
<i>Mass balance water</i> (kg/h)	971.300	971.300
Suhu rata rata ($^{\circ}\text{C}$)	256,5	255,16
Q_{water} (kJ/h)	119.861.729	155.687.729
Efisiensi (%)	91,33	90,1

**Gambar 7.** Nilai efisiensi HPH 6, 7, dan 8 (A+B)

3.2 Pembahasan

Salah satu jenis *heat exchanger* yang sering digunakan dalam industri pembangkit listrik yaitu *High Pressure Heater* (HPH). PLTU Paiton Unit 7, menggunakan HPH yang berperan sebagai pemanas air umpan sebelum memasuki boiler dengan menggunakan *steam* dari turbin untuk pemanas [9]. Perangkat ini, terdiri dari *shell* yang berbentuk silindris pada bagian luar dan sekumpulan tabung didalamnya, dimana temperatur fluida lebih rendah yang mengalir di dalam tabung, sementara temperatur fluida lebih tinggi yang mengalir pada luar tabung, sehingga terjadi proses perpindahan panas antara kedua fluida tersebut. Bagian dalam tabung disebut sebagai *tube side*, sedangkan bagian luar tabung dikenal sebagai *shell side* [10].

High Pressure Heater membantu mengurangi beban kerja boiler karena *feed water* telah melalui proses pemanasan awal sebelum masuk ke boiler, sehingga temperatur air umpan sudah lebih tinggi. Kinerja HPH yang optimal penting untuk meningkatkan efisiensi biaya operasional pembangkit, sehingga terjadinya gangguan dan kerusakan pada HPH perlu segera diantisipasi. Kerusakan pada HPH dapat menurunkan umur alat, efektivitas, kinerja alat, menyebabkan temperatur air yang digunakan sebagai pengisi boiler pada *inlet economizer* menurun, sehingga diperlukan pemanasan tambahan yang lebih besar. Kondisi ini menyebabkan konsumsi bahan bakar di boiler meningkat, yang dapat menurunkan efisiensi siklus PLTU dan meningkatkan biaya produksi. Untuk itu perawatan yang baik pada HPH penting untuk menghemat biaya operasional dengan cara memantau dan menghitung efisiensi HPH [11].

Perhitungan HPH dalam penelitian ini menggunakan neraca massa dan neraca panas. Neraca panas digunakan untuk menghitung perpindahan energi didalam sistem dengan asumsi, bahwa energi panas yang diterima sama dengan energi yang diberikan. Neraca massa digunakan untuk memastikan massa yang masuk sama dengan massa yang keluar. Neraca panas digunakan untuk mengetahui kecukupan panas yang digunakan untuk memanaskan *feedwater*, yang pada perhitungannya menggunakan transfer panas laten dan transefer panas sensibel.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan efisiensi tertinggi HPH 6A dan efisiensi terendah pada HPH 8B. Efisiensi HPH 6A yaitu 97,07 % dan HPH 8B yaitu 90,1%. Efisiensi unit tersebut dipengaruhi oleh temperatur yang masuk pada HPH 6A yaitu sebesar 184,55°C sedangkan pada HPH 8B sebesar 255 °C. Perhitungan efisiensi diperoleh dari perbandingan Q_{Steam} dengan Q_{water} (pers. 9). Pada HPH 6A Q_{Steam} dan Q_{water} adalah 102.131.582 kJ/h dan 124.243.714 kJ/h sedangkan HPH 8B Q_{Steam} dan Q_{water} adalah 104.331.524 kJ/h dan 155.687 kJ/h. Efisiensi kedua unit beda jauh, dikarenakan temperatur air yang masuk juga berbeda cukup banyak. Semakin tinggi temperatur, maka perbandingan antara Q_{Steam} dan Q_{water} akan semakin besar, sehingga efisiensi pemanas/heater meningkat. Berbandingan terbalik apabila temperatur semakin rendah, perbandingan Q_{Steam} dan Q_{water} mengecil dan efisiensi heater akan menurun.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Ifvournamasari (2022) [12], efisiensi tertinggi pada *High Pressure Heater* (HPH) sebesar sebesar 94,76%. Jika dibandingkan dengan penelitian di PLTU Paiton Unit 7, nilai efisiensi yang diperoleh lebih tinggi. Efisiensi yang tinggi ini menunjukkan heater beroperasi dengan optimal, pertukaran panas dapat berlangsung secara maksimal, kondisi ini memerlukan permukaan pipa pertukaran panas

yang selalu bersih [13]. Penyerapan panas antara fluida pemanas dan fluida dingin menjadi kurang optimal apabila terdapat kotoran dan deposit yang menempel pada permukaan pipa [14]. Efektivitas *heater* dapat menurun seiring dengan lamanya waktu pengoperasian karena terjadi *fouling* didalam *heater*. Semakin besar *fouling* yang terjadi, maka kinerja *heat exchanger*, laju perpindahan panas dan efektivitasnya, akan menurun. Berdasarkan hasil penelitian efisiensi HPH selama kurun waktu penelitian masih tinggi yang menunjukkan bahwa *heater* di PLTU Paiton Unit 7 masih dalam kondisi layak untuk digunakan [15].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisa perhitungan efisiensi pada *High Pressure Heater* (HPH) 6, 7, & 8 (A+B) di PLTU Paiton Unit 7, dapat disimpulkan bahwa efisiensi tertinggi diperoleh pada HPH 6A sebesar 97,07%, sedangkan efisiensi terendah terdapat pada HPH 8B sebesar 91,33%. Efisiensi yang dicapai pada PLTU Paiton Unit masih tinggi yang menunjukkan bahwa sistem *heater* di unit ini masih beroperasi secara optimal dan layak digunakan. Kinerja HPH yang baik sangat berperan dalam meningkatkan efisiensi siklus termal pembangkit, mengurangi konsumsi bahan bakar, dan menekan biaya operasional harian.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar analisis tidak hanya difokuskan pada High Pressure Heater (HPH), tetapi juga diperluas pada peralatan lain di PLTU Paiton Unit 7, seperti boiler feed pump dan kondensor. Hal ini bertujuan untuk memperoleh evaluasi kinerja yang lebih menyeluruh terhadap komponen utama pembangkit.

REFERENSI

- [1] A. Ridwan, R. Rokhana, dan Hariyanto, "Simulasi Sistem Kontrol Tekanan Uap Utama Pada Boiler di PLTU Paiton Unit 7 & 8," *Jurnal Teknik Elektronika*, vol. 2, no. 2, hal. 20–27, 2020.
- [2] E. Prabowo, T. Putra, dan F. Ramadani, "Pengaruh Overhaul Terhadap Kinerja High Pressure Heater Unit 3 PLTU Banten 3 Lontar," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 2, no. 1, hal. 10–15, 2016.
- [3] A. Aqila dan N. Safitri, "Analisis Kerja High Pressure Heater Tipe Shell And Tube Heat Exchanger Di PLTU PT. PLN Nusantara Power UPK Nagan RAYA 2X110 MW," *Jurnal Elektro*, vol. 7, no. 2, hal. 225–233, 2023.
- [4] S. Untoro, N. Ismail, A. Farid, dan P. Suwandono, "Analisa Efisiensi PLTU Paiton Ketika High Pressure Heater (HPH 7) Inservice dan Outservice," *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur*, vol. 5, no. 1, hal. 7–12, Jun 2022.
- [5] M. Damayanti dan B. Widodo, "Analisis Termal High Pressure Feedwater Heater di PLTU PT. XYZ," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, hal. 569–574, 2016.
- [6] O. Hougen dan K. Watson, "Chemical Proses Principles," in *Kinetic and Catalysis*, 2 ed., vol. 2, O. Hougen dan K. Watson, Ed., London: John Wiley & Sons, Incorporated, 1948, hal. 197–236.
- [7] A. Akhir, "Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Panas Pada Pra-Rancangan Pabrik Glusitol Dengan Bahan Baku D-Glukosa Kapasitas 90.000 Ton/Tahun," Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2019.
- [8] C. Geankoplis, *Transport Processes and Unit Operations*, 3 ed. New Jersey: Pretince-Hall

- International, 1983.
- [9] T. Prasetyo dan D. Irwanto, "Pra-Rancangan Pabrik Etil Klorida Dari Etilen Dan Hidrogen Klorida Dengan Kapasitas Produksi 15.000 Ton/tahun," Skripsi, Fakultas Teknik Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2018.
 - [10] L. Tobing dan J. Sutrisno, "Analisis Efektivitas High Pressure Heater Unit 1 PLTU Pangkalan Susu Operation And Maintenance," *Sinergi Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Polmed*, vol. 2, no. 2, hal. 54–61, Agu 2021.
 - [11] D. Alfian dan D. Ichsani, "Re-design High Pressure Heater (HPH) 5 pada Perusahaan Pembangkit Tenaga Listrik," *Jurnal Teknik Pomits*, vol. 2, no. 2, hal. 188–192, Feb 2018.
 - [12] A. Ifvournamasari, Sukmawanta, S. 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, Mei 2022.
 - [13] R. Junsupratyo, F. P. Sappu, dan A. M. Lakat, "Analisis Efisiensi Efektif High Pressure Heater Tipe Vertikal U Shape di PLTU Amurang Unit 1," *Jurnal Online Poros Teknik Mesin*, vol. 7, no. 1, hal. 37–45, 2021.
 - [14] A. N. Yudhatama, "Study Kelayakan Heat Exchanger Nomor 3 Pada Kilang PPSDM Migas Cepu," *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, vol. 15, no. 1, hal. 59–66, Apr 2022.
 - [15] S. Johan, S. Winaya, dan K. Astawa, "Pengaruh Pemeliharaan Air Heater Terhadap Efisiensi Boiler PLTU Unit 4 UP Muara Karang," *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika*, vol. 8, no. 4, hal. 726–732, Okt 2019.