

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi

Penelitian dan pengumpulan data di PT. Pembangkit Jawa Bali (Persero) Tbk dilakukan pada Paiton unit 9. Pengumpulan data dan penelitian meliputi sistem *Feedwater Heater* dan produksi listrik Paiton unit 9. Dengan melalui pembahasan dari bab ini nilai dari konsumsi bahan bakar dan nilai *plant heat rate* dapat diketahui berdasarkan perbedaan dari variasi jumlah *feedwater heater* yang beroperasi. Data yang digunakan dalam pembahasan kali ini yaitu data data aktual dari *Central Control Room*

4.1.1 Suhu Akhir Feedwater Heater

Perhitungan suhu akhir *feedwater heater* dilakukan dengan menggunakan software Gatecycle. Suhu akhir *feedwater heater* merupakan suhu masuk air menuju *economizer* yang merupakan bagian dari boiler. Pengukuran hasil simulasi dilakukan di beberapa tempat diantaranya temperature setelah *Dearator*, temperatur setelah HPH 3, temperatur setelah HPH 2 dan temperatur setelah HPH 1

Tabel 4.1
Suhu Akhir Feedwater heater

NO	Variasi	Suhu Akhir Feedwater (C)
1	HPH 1 off	239.54
2	HPH 2 off	234.85
3	HPH 3 off	251.98
4	HPH 1&2 off	216.18
5	HPH 1&3 off	221.23
6	HPH 2&3 off	202.6
7	HPH 1, 2&3	181.5
8	Normal	268.3

Perhitungan dari suhu keluar dari suatu *feedwater heater* menggunakan kesetimbangan dimana kalor yang masuk sama dengan kalor yang diterima. Dalam kasus kali ini jumlah kalor

yang di dimiliki aliran uap setelah dan sesudah *feedwater heater* akan sama dengan jumlah kalor yang dimiliki oleh feedwater sebelum dan sesudah melewati *feedwater heater*

4.1.2 Perhitungan Daya Turbin

Penggunaan *Feedwater Heater* dalam siklus PLTU memanfaatkan ekstraksi uap dari turbin uap, pada penelitian ini uap yang berpengaruh dalam variasi *feedwater heater on service* dan *off service* adalah HPST (*High Pressure Steam Turbine*) dan IPST (*Intermediate Pressure Steam Turbine*). Uap yang dipakai untuk memanaskan feedwater pada asalnya menurunkan daya yang dihasilkan dari HP turbin dan IP turbin.

Tabel 4.2
Daya yang dihasilkan oleh turbin High Pressure Steam Turbine

No	Variasi	\dot{m} masuk HPST (kg/hr)	h masuk HPST (kJ/hr)	\dot{m} masuk HPH 1 (kg/hr)	h HPH 1 (kJ/hr)
1	HPH 1 off	2081428	3393.62	0	3149
2	HPH 2 off	2081428	3393.62	154266.59	3149
3	HPH 3 off	2081428	3393.62	154266.59	3149
4	HPH 1&2 off	2081428	3393.62	0	3149
5	HPH 1&3 off	2081428	3393.62	0	3149
6	HPH 2&3 off	2081428	3393.62	154266.59	3149
7	HPH 1, 2&3	2081428	3393.62	0	3149
8	Normal	2081428	3393.62	154266.59	3149

No	Variasi	\dot{m} keluar HPST (kg/hr)	h keluar HPST (kJ/hr)	Kerja Turbin (Joule) x 10 ⁸	Power (kWatt)
1	HPH 1 off	2081428.00	3059	6.96.	193468.73
2	HPH 2 off	1927161.41	3059	6.82	189612.06
3	HPH 3 off	1927161.41	3059	6.82	189612.06
4	HPH 1&2 off	2081428.00	3059	6.96	193468.73
5	HPH 1&3 off	2081428.00	3059	6.96	193468.73
6	HPH 2&3 off	1927161.41	3059	6.82	189612.06
7	HPH 1, 2&3	2081428.00	3059	6.96	193468.73
8	Normal	1927161.41	3059	6.82	189612.06

Tabel 4.3
 Daya yang dihasilkan Intermediete Pressure Steam Turbine

No	Variasi	\dot{m} inHPST (kg/hr)	h in HPST (kj/hr)	\dot{m} in HPH 1 (kg/hr)	h in HPH 1 (kj/hr)
1	HPH 1 off	1742896	3526	85303.91	3316
2	HPH 2 off	1742896	3526	85303.91	3316
3	HPH 3 off	1742896	3526	0	3316
4	HPH 1&2 off	1742896	3526	85303.91	3316
5	HPH 1&3 off	1742896	3526	0	3316
6	HPH 2&3 off	1742896	3526	0	3316
7	HPH 1, 2&3	1742896	3526	0	3316
8	Normal	1742896	3526	85303.91	3316

No	Variasi	\dot{m} keluar IPST (kg/hr)	h keluar IPST (kg/hr)	Kerja Turbin (Joule)	Power (watt)
1	HPH 1 off	1657592.88	3141	656086938.9	182246.37
2	HPH 2 off	1657592.88	3141	656086938.9	182246.37
3	HPH 3 off	1742896.75	3141	671015248.8	186393.12
4	HPH 1&2 off	1657592.88	3141	656086938.9	182246.37
5	HPH 1&3 off	1742896.75	3141	671015248.8	186393.12
6	HPH 2&3 off	1742896.75	3141	671015248.8	186393.12
7	HPH 1, 2&3	1742896.75	3141	671015248.8	186393.12
8	Normal	1657592.88	3141	656086938.9	182246.37

4.1.2.1 Perhitungan Daya Turbin HPST

Persamaan energi pada turbin

$$m_{in} \times h_{in} = work + (m_{out} \times h_{out}) + (m_{hph\ 1} \times h_{hph\ 1}) \dots \dots \dots (4-1)$$

Dengan

m_{in} = massa alir uap masuk ke turbin

h_{in} = enthalpi uap masuk ke turbin

m_{out} = massa alir uap keluar turbin

h_{out} = enthalpi uap keluar turbin

$m_{hph\ 1}$ = massa alir uap masuk ke dalam HPH 1

$h_{hph\ 1}$ = enthalpi uap masuk ke dalam HPH 1

Contoh perhitungan daya yang dihasilkan oleh High Pressure Steam Turbine :

$$work = (m_{in} \times h_{in}) - (m_{out} \times h_{out}) - (m_{hph\ 1} \times h_{hph\ 1})$$

$$\begin{aligned}
 work &= \left(2081428 \frac{kg}{h} \times 3393.62 \frac{kJ}{kg}\right) - \left(19271641 \frac{kg}{h} \times 3059\right) \\
 &\quad - \left(154266.29 \frac{kg}{h} \times 3149 \frac{kJ}{kg}\right) \\
 work &= \left(7063575689.36 \frac{kJ}{h}\right) - \left(58951949819 \frac{kJ}{h}\right) - \left(485783634 \frac{kJ}{h}\right) \\
 work &= 682603444 \frac{kJ}{h}
 \end{aligned}$$

4.1.2.1 Perhitungan Daya Turbin IPST

Persamaan energi pada turbin IPST

$$m_{in} \times h_{in} = work + (m_{out} \times h_{out}) + (m_{hph3} \times h_{hph3}) \dots\dots\dots(4-2)$$

Dengan

m_{in} = massa alir uap masuk ke turbin

h_{in} = enthalpi uap masuk ke turbin

m_{out} = massa alir uap keluar turbin

h_{out} = enthalpi uap keluar turbin

m_{hph1} = massa alir uap masuk ke dalam HPH 3

h_{hph1} = enthalpi uap masuk ke dalam HPH 3

Contoh perhitungan daya yang dihasilkan oleh *intermediate Pressure Steam Turbine* :

$$\begin{aligned}
 work &= (m_{in} \times h_{in}) - (m_{out} \times h_{out}) - (m_{hph3} \times h_{hph3}) \\
 work &= \left(1742896 \frac{kg}{h} \times 3526 \frac{kJ}{kg}\right) - \left(1657592.8 \frac{kg}{h} \times 3141\right) \\
 &\quad - \left(85303.91 \frac{kg}{h} \times 3316 \frac{kJ}{kg}\right) \\
 work &= \left(7063575689.36 \frac{kJ}{h}\right) - \left(58951949819 \frac{kJ}{h}\right) - \left(485783634 \frac{kJ}{h}\right) \\
 work &= 682603444 \frac{kJ}{h}
 \end{aligned}$$

4.1.3 Perhitungan Karakteristik Boiler

Variasi dari performa *feedwater heater* akan mempengaruhi sistem pembentukan uap pada *boiler*. Semakin rendah suhu air masuk maka semakin rendah kualitas uap yang dihasilkan belum mencapai uap kering namun uap basah. Uap basah yang dialirkan kedalam turbin akan menyebabkan kerusakan dibagian sudu turbin. Maka dari itu dibutuhkan tambahan kalor dalam proses pembentukan uap supaya kualitas uap dapat naik sesuai standar operasional. Pada tabel 4.4 akan ditunjukkan Perhitungan Karakteristik *Boiler* dan pada Tabel 4.5 akan ditunjukkan Karakteristik PLTU

Tabel 4.4
Perhitungan kalor pada *main steam*

No	Variasi	\dot{m} (kg/hr)	Tekanan (Mpa)	Temperatur (c)	enthalpy (kj/hr)
1	1 off	2592303	16.78	534.89	3388.90
2	2 off	2564010	16.78	535.00	3389.55
3	3 off	2685637	16.78	534.32	3387.24
4	1 & 2 off	2457196	16.78	536.47	3393.36
5	1 & 3 off	2508588	16.78	535.93	3391.00
6	2 & 3 off	2422976	16.78	536.96	3394.00
7	1,2,&3 off	2314331	16.78	538.50	3399.00
8	Normal	2778319	16.78	533.71	3383.36

Tabel 4.5
Perhitungan kalor pada *reheat steam exit*

No	Variasi	\dot{m} (kg/hr)	Tekanan (Mpa)	Temperatur (c)	enthalpy (kj/hr)
1	1 off	1897163	4.04	541.52	3540.4
2	2 off	1927161	4.04	541.52	3540.4
3	3 off	1742897	4.04	541.52	3540.4
4	1 & 2 off	2081429	4.04	537.60	3540.4
5	1 & 3 off	1897163	4.04	541.52	3540.4
6	2 & 3 off	1927162	4.04	541.52	3540.4
7	1,2,&3 off	2081429	4.04	541.52	3540.4
8	Normal	1742897	4.04	541.52	3540.4

Tabel 4.6
Perhitungan kalor pada *reheat steam inlet*

No	Variasi	\dot{m} (kg/hr)	Tekanan (Mpa)	Temperatur (c)	enthalpy (kj/hr)
1	1 off	1897163	4.25	338.03	3056.67
2	2 off	1927162	4.25	338.03	3056.67
3	3 off	1742897	4.25	338.03	3056.67
4	1 & 2 off	2081429	4.25	338.03	3056.67
5	1 & 3 off	1897163	4.25	338.03	3056.67
6	2 & 3 off	1927162	4.25	338.03	3056.67
7	1,2,&3 off	2081429	4.25	338.03	3056.67
8	Normal	1742897	4.25	338.03	3056.67

Tabel 4.7
Perhitungan kalor pada feedwater

No	Variasi	\dot{m} (kg/hr)	Tekanan (Mpa)	Temperatur (c)	enthalpy (kj/hr)
1	1 off	2143871.5	20.27	239.54	1038.08
2	2 off	2143871.5	20.27	234.85	1016.56
3	3 off	2143871.5	20.27	251.98	1095.90
4	1 & 2 off	2143871.5	20.27	216.18	932.21
5	1 & 3 off	2143871.5	20.27	221.23	954.84
6	2 & 3 off	2143871.5	20.27	202.60	871.96
7	1,2,&3 off	2143871.5	20.27	181.50	777.63
8	Normal	2143871.5	20.27	268.30	1173.72

Perhitungan *Useful Heat*

$$useful\ heat = Q_{main\ steam} + Q_{Reheat\ steam\ Exit} - Q_{reheat\ steam\ inlet} - Q_{feedwater} \quad (4-3)$$

$$Q_{main\ steam} = m_{main\ steam} \times h_{main\ steam}$$

$$Q_{reheat\ steam\ exit} = m_{reheat\ steam\ exit} \times h_{reheat\ steam\ exit}$$

$$Q_{reheat\ steam\ inlet} = m_{reheat\ steam\ inlet} \times h_{reheat\ steam\ inlet}$$

$$Q_{feedwater} = m_{feedwater} \times h_{feedwater}$$

Contoh perhitungan

$$Q_{main\ steam} = m_{main\ steam} \times h_{main\ steam}$$

$$Q_{main\ steam} = 2778319 \frac{kg}{h} \times 3383.36 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_{main\ steam} = 9399023177 \frac{kJ}{h}$$

$$Q_{\text{reheat steam exit}} = m_{\text{reheat steam exit}} \times h_{\text{reheat steam exit}}$$

$$Q_{\text{reheat steam exit}} = 1742897 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 3540.44 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_{\text{reheat steam exit}} = 6169855380 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{reheat steam inlet}} = m_{\text{reheat steam inlet}} \times h_{\text{reheat steam inlet}}$$

$$Q_{\text{reheat steam inlet}} = 1742897 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 3056.67 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_{\text{reheat steam inlet}} = 5327460972 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{feedwater}} = m_{\text{feedwater}} \times h_{\text{feedwater}}$$

$$Q_{\text{feedwater}} = 2143871 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 1173.32 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_{\text{feedwater}} = 2515446721 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\text{useful heat} = Q_{\text{main steam}} + Q_{\text{Reheat steam Exit}} - Q_{\text{reheat steam inlet}} - Q_{\text{feedwater}}$$

$$\text{useful heat} = 9399023177 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 6169855380 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} - 5327460972 - 2515446721 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\text{useful heat} = 1839723828.73 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Tabel 4.8
Karakteristik Sistem PLTU

No	Variasi	LHV Heat Load (kj/hr)	Useful heat (kj/hr)	Power (kW)
1	HPH 1 off	2713446494.35	1780300039.99	655768
2	HPH 2 off	2701263608.59	1772306813.65	651821
3	HPH 3 off	2754547661.04	1807266633.53	659060
4	HPH 1&2 off	2658877395.59	1744497097.53	655768
5	HPH 1&3 off	2677163656.00	1756494765.52	663007
6	HPH 2&3 off	2644197087.25	1734865305.06	659060
7	HPH 1, 2&3	2615051505.19	1715742804.94	663007
8	Normal	2804017335.00	1839723828.73	651821

Perhitungan konsumsi bahan bakar

$$LHV \text{ Heat Load} = \text{Coal Flow} \times \text{Calorie Value} \dots\dots\dots (4-4)$$

Dimana

$$LHV \text{ heat load} = \text{beban kalor yang terkandung dalam bahan bakar} \left(\frac{kJ}{h} \right)$$

$$\text{Coal flow} = \text{Laju aliran bahan bakar} \left(\frac{kg}{h} \right)$$

$$\text{calorie value} = \text{kalor yang dikandung dalam 1 kg bahan bakar} \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

Contoh perhitungan konsumsi bahan bakar

$$LHV \text{ Heat Load} = \text{Coal Flow} \times \text{Calorie Value}$$

$$2804017335.0 \left(\frac{kJ}{h} \right) = \text{Coal Flow (normal)} \times 7200 \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

$$\text{Coal Flow (normal)} = \frac{2804017335 \left(\frac{kJ}{h} \right)}{7200 \left(\frac{kJ}{kg} \right)}$$

$$\text{Coal Flow (normal)} = 389446 \left(\frac{kg}{h} \right)$$

$$2713446494.35 \left(\frac{kJ}{h} \right) = \text{Coal Flow (HPH 1 off)} \times 7200 \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

$$\text{Coal Flow (HPH 1 off)} = \frac{2713446494.35 \left(\frac{kJ}{h}\right)}{7200 \left(\frac{kg}{h}\right)}$$

$$\text{Coal Flow (HPH 1 off)} = 376867.5 \left(\frac{kg}{h}\right)$$

$$\text{Penambahan bahan bakar} = \text{Coal flow normal} - \text{Coal flow HPH 1 off} \dots (4-5)$$

$$\text{Penambahan bahan bakar} \left(\frac{kg}{h}\right) = 389446 \left(\frac{kg}{h}\right) - 376867.5 \left(\frac{kg}{h}\right)$$

$$\text{Penambahan bahan bakar} = 12751 \left(\frac{kg}{h}\right)$$

Perhitungan *Heat Rate Powerplant*

$$\text{Heat Rate Powerplant} = \frac{\text{Turbine Heat Rate}}{\text{eff boiler}} \dots (4-6)$$

$$\text{Turbine Heat Rate} = \frac{\text{LHV Heat Load}}{\text{Power}} \dots (4-7)$$

$$\text{Eff boiler} = \frac{\text{useful heat}}{\text{LHV Heat Load}} \dots (4-8)$$

$$\text{Heat Rate Powerplant} = \frac{\text{LHV Heat Load} \times \text{LHV Heat Load}}{\text{Power} \times \text{Useful Heat}} \dots (4-9)$$

Contoh perhitungan NPHR variasi normal

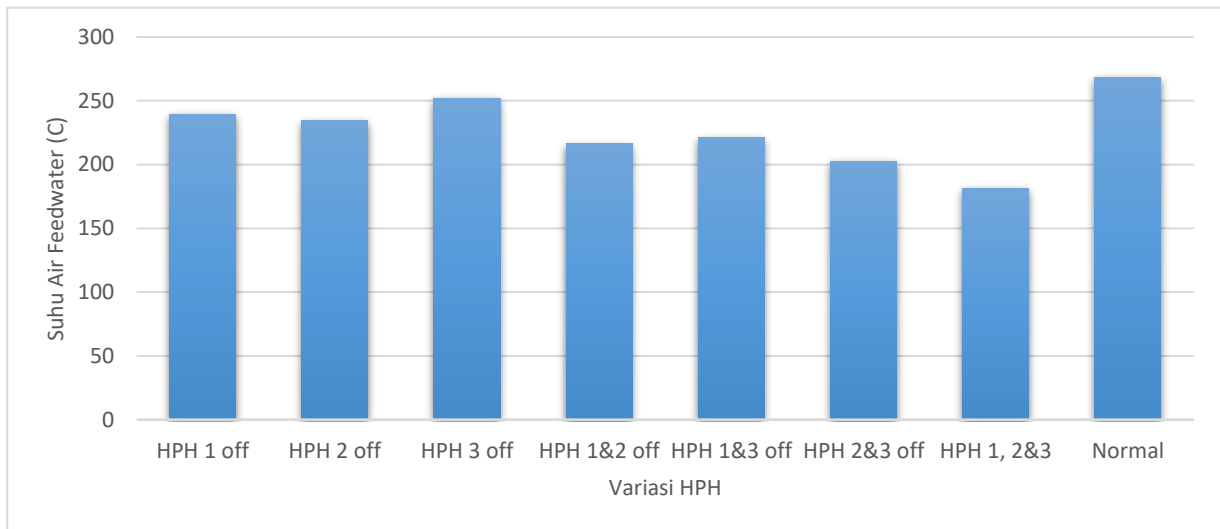
$$\text{Heat Rate Powerplant} = \frac{\text{LHV Heat Load} \times \text{LHV Heat Load}}{\text{Power} \times \text{Useful Heat}}$$

$$\text{Heat Rate Powerplant} = \frac{804017335.0 \left(\frac{kJ}{h}\right) \times 804017335.0 \left(\frac{kJ}{h}\right)}{651821 \text{ kW} \times 1839723828.73 \left(\frac{kJ}{h}\right)}$$

$$\text{Heat Rate Powerplant} = 6556.62 \left(\frac{kJ}{kWh}\right)$$

4.2 Grafik dan Pembahasan

4.2.1 Analisa Pengaruh performa Feedwater Heater terhadap Suhu Akhir Feedwater



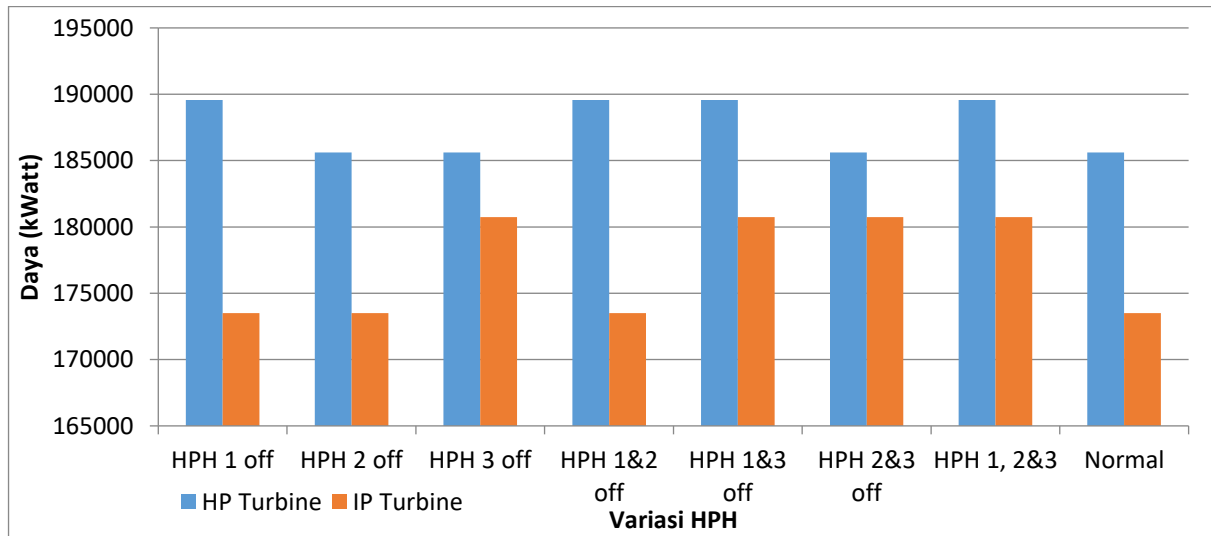
Gambar 4.1 Grafik pengaruh performa *feedwater heater* terhadap suhu akhir *feedwater*

Grafik 4.1 menunjukkan perubahan temperatur dari *feedwater* setelah melalui *dearator*, *High Pressure Heater 3*, *High Pressure Heater 2*, *High Pressure Heater 1* dengan 8 jumlah variasi performa *feedwater heater* dalam kondisi *off service* dan *on service*. Variasi dari *off service* HPH akan membuat tidak terjadi proses perpindahan panas antara ekstraksi uap dari turbin dengan *feedwater*. Dari grafik diatas dapat dilihat penggunaan *feedwater heater* dalam memanaskan *feedwater* yang akan memasuki boiler sangat berpengaruh. Nilai tertinggi dari suhu *feedwater* sebesar 268,3 derajat celcius dimana HPH 1, HPH 2 dan HPH 3 *on service* dan nilai terendah dari suhu *feedwater* sebesar 181,5 ketika HPH 1, HPH 2 dan HPH 3 sedang *off service*. Variasi lain menunjukkan kombinasi dari salah satu atau kedua HPH sedang dalam *off service*, pada variasi 1 HPH *off service* suhu *feedwater* dari tertinggi ke rendah adalah variasi HPH 3 *off* dengan suhu 251 derajat celcius lalu variasi HPH 1 *off* dengan suhu 239.54 derajat celcius dan terakhir variasi HPH 3 *off* dengan suhu 234.85 derajat celcius. Variasi kombinasi kondisi 2 HPH *off service* dari tertinggi hingga ke rendah adalah variasi 1&3 *off service* dengan suhu 221,23 derajat celcius lalu variasi HPH 1&2 *off service* dengan suhu 216.18 derajat celcius dan terakhir variasi HPH 2&3 *off service* dengan suhu 202.6 derajat celcius

Grafik pengaruh performa *feedwater heater* pada suhu akhir *feedwater heater* sudah sesuai dengan hipotesa. Dimana penggunaan HPH sebagai *heater* pada sistem membantu kerja *boiler*

dalam memproduksi uap dengan kualitas yang telah di tentukan. Semakin banyak feedwater heater yang digunakan maka semakin tinggi nilai suhu *feedwater* yang masuk ke dalam boiler. Semakin sedikit jumlah *feedwater heater* yang bekerja maka suhu *feedwater* yang masuk kedalam boiler semakin rendah. Maka di perlukan penambahan kalor pada sistem untuk menutupi kekurangan kalor agar kualitas uap tetap seperti seharusnya.

4.2.2 Analisa Performa Feedwater Heater terhadap Daya yang dihasilkan turbin



Gambar 4.2 Grafik pengaruh performa *feedwater heater* terhadap daya yang dihasilkan turbin

Grafik 4.2 menunjukkan bahwa terdapat perubahan daya yang dihasilkan pada HPST (*High Pressure Turbin*) dan IPST (*Intermediater Pressure Steam Turbine*). Variasi dari *off service* HPH akan membuat uap yang bekerja dalam turbin berubah semakin besar karena tidak di ekstraksikan seperti semula. Untuk HPH 1 uap berasal dari HPST sedangkan untuk HPH 2 berasal dari sisa uap keluar dari HPST yang dibagi menuju HPH 2 dan langsung ke *Reheater*. Sedangkan untuk HPH 3 uap berasal dari IPST.

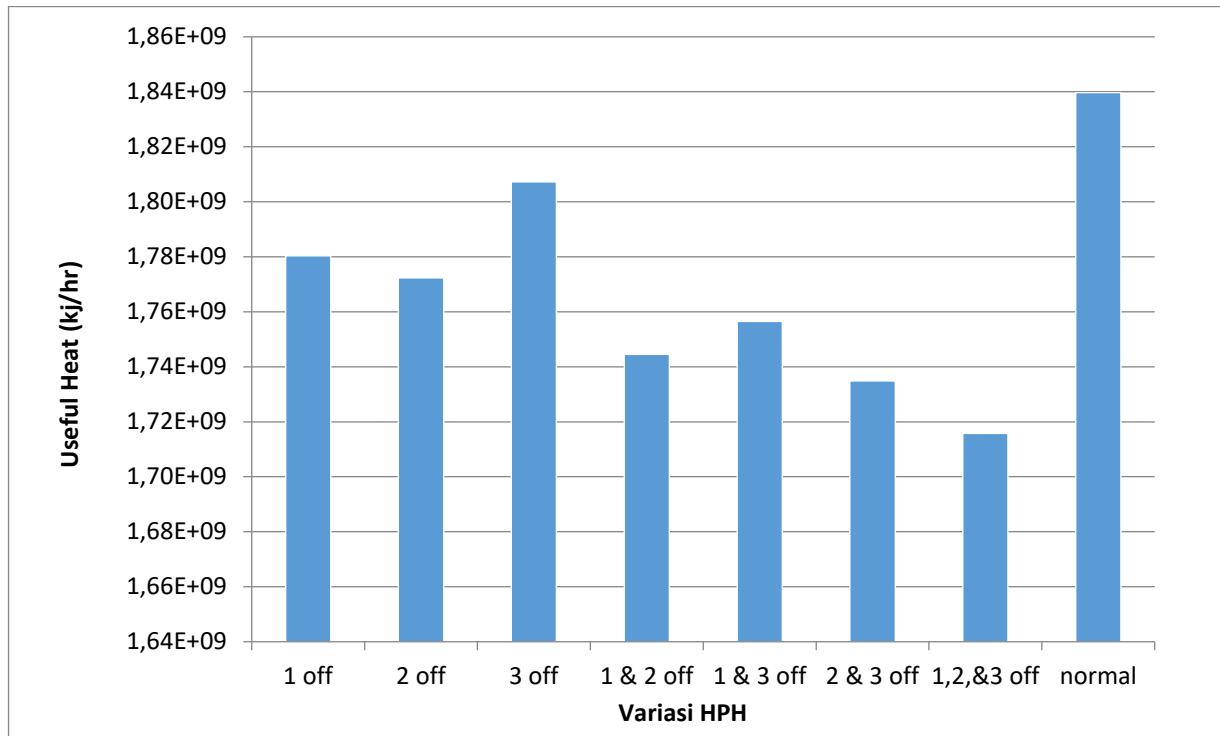
Pada Grafik di tunjukkan nilai dari produksi listrik dari HPST dan IPST tertinggi ketika variasi ke 7 dan variasi ke 5 dengan nilai daya dari HPST sebesar 189566 kW dan dari IPST sebesar 180378kW. Nilai dari produksi listrik terendah ketika variasi ke 8 dan ke 2 dengan nilai daya dari HPST sebesar 185619 kW dan dari IPST 173499 kW. Variasi dengan 1 HPH *off service* terhadap daya yang dihasilkan oleh turbin dari nilai tertinggi hingga kerendah adalah variasi dengan HPH 3 *off service* lalu variasi HPH 1 *off service* dan variasi HPH 2 *off service*. Variasi dengan 2 buah HPH *off service* terhadap daya yang dihasilkan oleh turbin dari nilai tertinggi hingga ke rendah adalah sebagai berikut variasi 1&3 *off service* lalu selanjutnya variasi HPH 1&2 *off service* dan terakhir variasi HPH 2&3 *off service*.

$$m_{in} x h_{in} = work + (m_{out} x h_{out}) + (m_{hph 1} x h_{hph 1}) \dots\dots\dots(4-1)$$

$$m_{in} x h_{in} = work + (m_{out} x h_{out}) + (m_{hph\ 3} x h_{hph\ 3}) \dots\dots\dots (4-2)$$

Dari Persamaan 4-1 dapat dilihat bahwa kerja dari turbin HPST dipengaruhi oleh jumlah massa alir dari uap yang menuju ke HPH 1 sedangkan dari persamaan 4-2 dilihat bahwa kerja dari IPST dipengaruhi oleh jumlah massa alir yang menuju ke HPH 3. Dalam variasi penelitian, secara teoritis kerja dari HPST akan bertambah ketika terjadi variasi dengan terdapatnya HPH 1 yang *off service*. Sedangkan pada IPST, kerja dari turbin akan meningkat ketika ada variasi HPH 3 yang *off service*. Hal ini ditunjukkan ketika kerja turbin paling besar ketika terdapat variasi HPH 1 & 3 *off service* dan HPH 1, 2, & 3 *off service*. Secara garis besar, pengaruh dari *off service* baik dengan kombinasi 1 buah HPH atau 2 buah HPH sangat berpengaruh terhadap listrik yang dihasilkan oleh turbin uap karena uap dengan tidak diekstraksi ke dalam *heater* maka seluruh uap akan dapat berubah menjadi kerja turbin.

4.2.3 Analisa Pengaruh Performa Feedwater Heater terhadap performa boiler



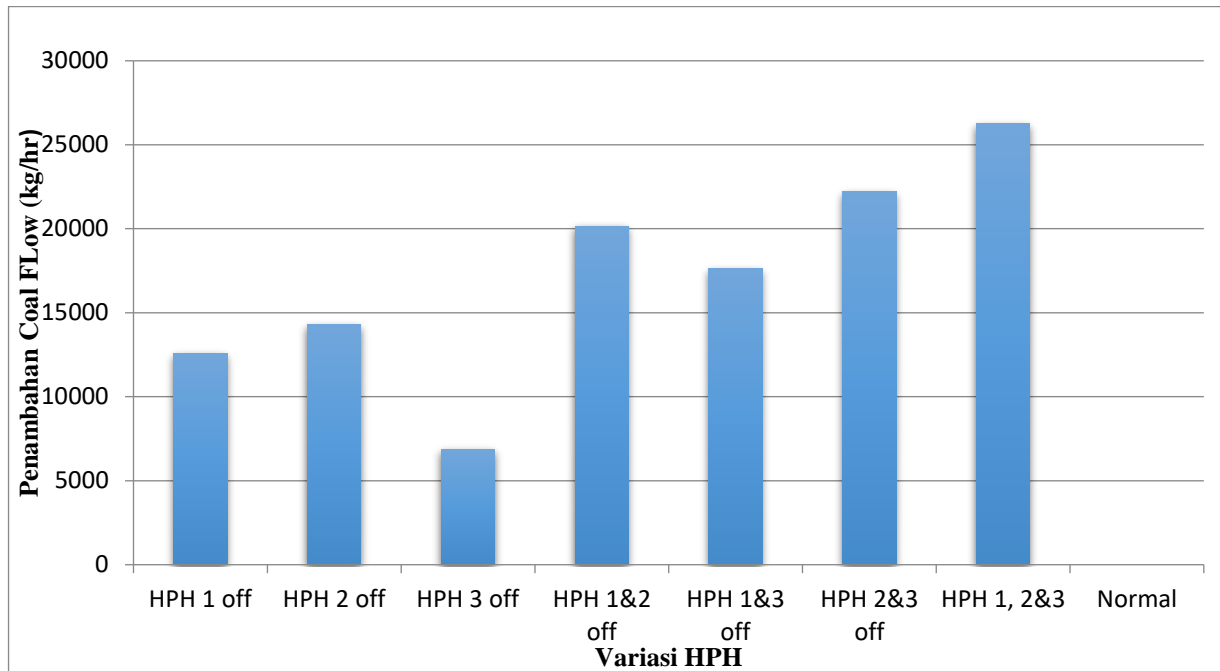
Gambar 4.3 Grafik pengaruh performa feedwater heater terhadap performa boiler

Grafik 4.3 menunjukkan hubungan antara performa feedwater heater dengan kalor yang digunakan oleh boiler. Variasi dari feedwater heater off service berpengaruh pada perubahan temperatur feedwater heater yang masuk kedalam economizer, massa alir yang keluar dari HPST menuju ke reheater. Pada grafik nilai useful heat terbesar ditunjukkan pada kondisi normal yaitu sebesar 1839723828.73 kJ/h sedangkan nilai terendah ditunjukkan pada kondisi HPH 1, 2 dan 3 off service sebesar 1715742804.94. Untuk variasi 1 HPH off service nilai dari useful heat dari terendah ke terbesar ada variasi HPH 2 off dengan nilai 1772306813.65 kJ/h kemudian variasi HPH 1 off dengan nilai 1780300039.99 kJ/h dan variasi HPH 3 off kJ/h. Untuk variasi 2 buah HPH off service urutan dari nilai terendah hingga terbesar adalah variasi HPH 2&3 off dengan nilai 1715742804.94 kJ/h kemudian variasi HPH 1&2 off dengan nilai 1744497097.53 kJ/h dan variasi HPH 1&3 off dengan nilai 1756494765.52 kJ/h

$$useful\ heat = Q_{main\ steam} + Q_{Reheat\ steam\ Exit} - Q_{reheat\ steam\ inlet} - Q_{feedwater} \dots\dots (4-3)$$

Grafik dari analisa pengaruh *feedwater heater* terhadap *useful heat* mengacu pada persamaan 4-3 dimana *useful heat* perubahan nilai *useful heat* disebabkan oleh kalor dari *main steam*, *reheat steam exit*, *reheat*, *reheat steam inlet* dan *feedwater* yaitu semakin banyak HPH off service maka $Q_{\text{feedwater}}$ menurun, dan $Q_{\text{main steam}}$ turun. Sedangkan disisi lain Q dari *reheat inlet* dan *reheat exit* mengalami kenaikan. Kerja dari *economizer* akan semakin berat dikarenakan temperature dari *feedwater* mengalami penurunan. Penurunan suhu akibat off service menyebabkan massa alir keluar dari turbin meningkat dan menyebabkan kenaikan jumlah kalor yang masuk kedalam *reheater* pada sistem di boiler. Meningkatnya beban dari *economizer* dan menurunnya beban dari *reheater* menyebabkan perubahan pada *useful heat* atau kalor yang digunakan oleh boiler

4.2.4 Analisa Performa feedwater Heater terhadap Penambahan Konsumsi bahan bakar



Gambar 4.4 Grafik pengaruh feedwater heater terhadap penambahan bahan bakar

Grafik 4.4 menunjukkan hubungan antara performa *feedwater heater* terhadap konsumsi bahan bakar. Pengaruh dari menurunnya suhu *feedwater* seperti ditunjukkan pada grafik 4.1 menyebabkan turunnya suhu *feedwater heater* yang berdampak langsung pada konsumsi bahan bakar. Pada grafik 4.4 nilai dari penambahan coal flow merupakan selisih dari konsumsi bahan bakar pada kondisi normal dengan konsumsi bahan bakar pada kondisi dengan terdapat HPH *off service*.

Pada grafik ditunjukkan bahwa pada variasi dengan 1 buah HPH *off service* nilai penambahan *coal flow* dari terendah hingga terbesar adalah variasi HPH 3 *off service* dengan nilai 6879.78 (kg/hr) kemudian variasi HPH 1 *off service* dengan nilai 12579.28 (kg/hr) dan variasi HPH 2 *off* dengan nilai 14271.35 (kg/hr). Pada variasi dengan 2 buah HPH *off service*, nilai penambahan *coal flow* dari terendah hingga terbesar adalah variasi HPH 1&3 *off service* dengan nilai 17618.56 (kg/hr) kemudian variasi HPH 1&2 *off service* dengan nilai 20158.32 (kg/hr) dan variasi HPH 2&3 *off service* dengan nilai 22197.25 (kg/hr). Nilai tertinggi dari penambahan *coal flow* ketika variasi semua HPH *off service* tidak terjadinya proses perpindahan

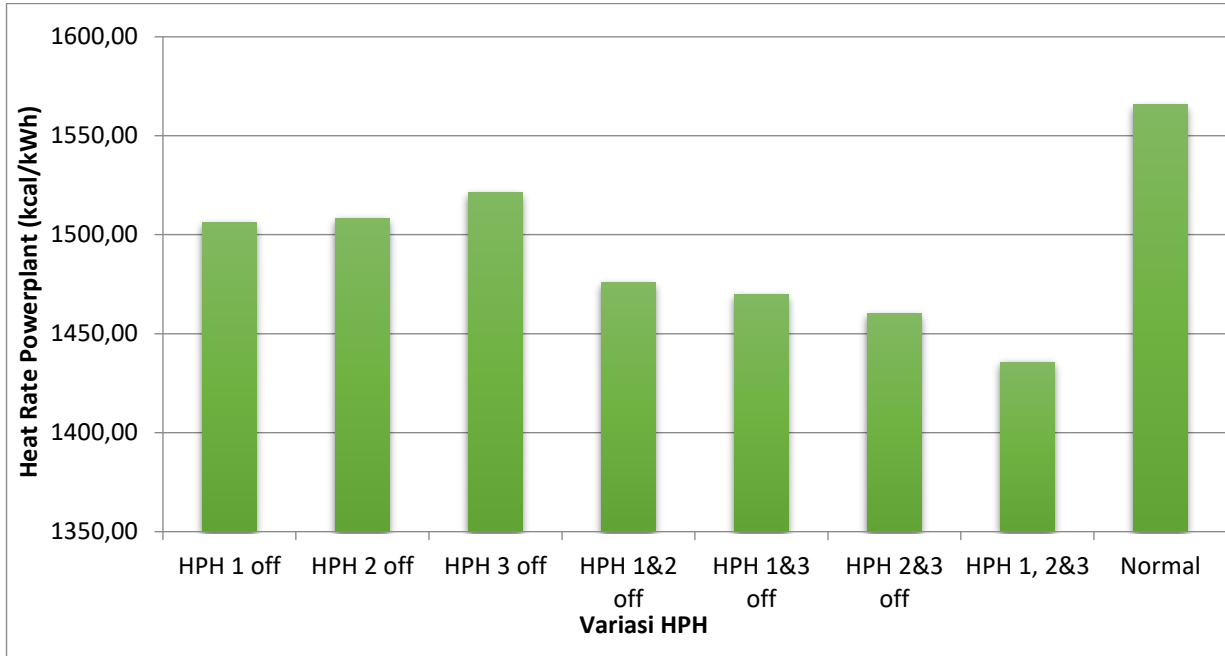
panas antara ekstraksi uap turbin dengan air *feedwater* menyebabkan penambahan *coal flow* pada boiler sebesar 26245.25 (kg/hr)

$$LHV \text{ Heat Load} = \text{Coal Flow} \times \text{Calorie Value} \dots\dots\dots (4-4)$$

$$\text{Penambahan bahan bakar} = \text{Coal flow normal} - \text{Coal flow HPH 1 off} \dots\dots(4-5)$$

Grafik dari analisa pengaruh feedwater heater terhadap konsumsi bahan bakar mengacu pada persamaan 4-4 dan 4-5 .Semakin banyak jumlah HPH *off service* maka semakin besar penambahan bahan bakar, Hal ini disebabkan perubahan dari nilai LHV *heat load* dari hasil simulasi pada *software* Gatecycle. LHV *heat load* yang semakin kecil merupakan nilai dari *coal flow* dan *calorie value* yang konstan. Sehingga penurunan dari nilai LHV akan menurunkan nilai dari *coal flow*. Sedangkan semakin menurun *coal flow* maka penambahan batu bara yang didapatkan dari selisih antara *coal flow* pada kondisi normal dan *coal flow* pada kondisi variasi akan semakin besar

4.2.4 Analisa Performa feedwater Heater terhadap Heat Rate Powerplant



Gambar 4.5 Grafik pengaruh performa *feedwater heater* terhadap *heat rate powerplant*

Grafik 4.5 menunjukkan perubahan nilai *heat rate powerplant* terhadap performa HPH *off service*. Pada grafik ditunjukkan untuk variasi dengan 1 buah HPH *off service* nilai *heat rate* dari terendah ke tertinggi adalah variasi HPH 3 *off service* dengan nilai 1521 (kcal/kWh) kemudian variasi HPH 2 *off service* dengan nilai *heat rate* 1508 (kcal/kWh) dan variasi HPH 1 *off service* dengan nilai *heat rate* 1506 (kcal/kWh). Sedangkan pada variasi dengan 2 buah HPH *off service* nilai *heat rate* dari terendah ke tertinggi adalah variasi HPH 2&3 *off service* dengan nilai *heat rate* 1460 (kcal/kWh) kemudian pada variasi HPH 1&3 *off service* dengan nilai *heat rate* 1469 (kcal/kWh) dan pada variasi HPH 1&2 *off service* dengan nilai *heat rate* 1475 (kcal/kWh). Nilai *heat rate* tertinggi dari semua variasi adalah ketika kondisi normal, sedangkan nilai *heat rate* terendah adalah ketika variasi dengan HPH 1,2& 3 *off service*

$$\text{Heat Rate powerplant} = \frac{\text{Turbine Heat Rate}}{\text{eff boiler}} \dots\dots\dots (4-6)$$

$$\text{Turbine Heat Rate} = \frac{\text{LHV Heat Load}}{\text{Power}} \dots\dots\dots (4-7)$$

$$\text{Eff boiler} = \frac{\text{useful heat}}{\text{LHV Heat Load}} \dots\dots\dots (4-8)$$

$$\text{Heat Rate powerplant} = \frac{\text{LHV Heat Load} \times \text{LHV Heat Load}}{\text{Power} \times \text{Useful Heat}} \dots\dots\dots (4-9)$$

Grafik dari pengaruh performa *feedwater heater* terhadap nilai *heat rate* mengacu pada persamaan 4-6 sampai 4-9, dimana variasi dari HPH *off service* seperti pada pembahasan grafik sebelumnya akan menurunkan nilai suhu *feedwater* (grafik 4.1), diikuti dengan perubahan massa alir yang bekerja di turbin yang menyebabkan kenaikan nilai daya (grafik 4.2). Kemudian dampak selanjutnya nilai *useful heat* akan mengalami penurunan (grafik 4.3) dan pada sisi lain akan menurunkan nilai dari LHV *heat load*. Maka nilai dari *heat rate powerplant* akan semakin turun. *Heat rate powerplant* merupakan perbandingan antara turbin *heat rate* dan efisiensi boiler dimana nilai *heat rate* menunjukkan jumlah dari energi bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah energi listrik selama waktu satu jam. Semakin kecil nilai *heat rate* maka bisa dikatakan semakin baik sistem pembangkitan listrik tersebut.

