

Analisis Pengaruh Perubahan Tekanan Vakum Kondensor Terhadap Performa Turbin Uap

Salma Halimatu Sya'diah¹, Sri Wuryanti², Alvera Apridianti Melkias³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

¹E-mail : salma.halimatu.tken21@polban.ac.id

²E-mail : sri.wuryanti@polban.ac.id

³E-mail : alveramelkias@polban.ac.id

ABSTRAK

Vacuum pump condenser merupakan komponen yang menjaga tingkat kevakuman dalam kondensor. Turbin uap adalah satu dari beberapa komponen utama yang ada di PLTU yang harus dijaga agar efisiensinya tidak turun. Diantara yang harus diperhatikan dalam menjaga performanya adalah tekanan vakum kondensor. Terdapat kenaikan tekanan vakum kondensor di PLTU Banten 3 Lontar setelah dilakukan *overhaul*, dimana kenaikan tekanan vakum kondensor tersebut berpengaruh terhadap performa turbin uap. Tekanan vakum kondensor yang rendah mengakibatkan *steam exhaust turbine* tidak tertarik ke kondensor sehingga dapat merusak sudu-sudu *turbine*. Penelitian ini melihat pengaruh perubahan tekanan vakum terhadap turbin uap sebelum dan sesudah *overhaul*. Hasil perhitungan menunjukkan nilai efisiensi turbin uap tertinggi sesudah *overhaul* adalah 40,693% dengan *heat rate* 2114,401 kkal/kWh pada tekanan vakum 0,0736 bar (tekanan absolut) dan sebelum *overhaul* pada tekanan 0,0882 bar (tekanan absolut) yaitu 39,794% dengan *heat rate* 2161,154 kkal/kWh. Adanya *overhaul* memengaruhi tekanan vakum yang lebih tinggi dari sebelum *overhaul* sehingga efisiensi turbin meningkat.

Kata Kunci

Tekanan Vakum Kondensor, Turbin Uap, Performa, *Heat Rate*, Efisiensi, *Overhaul*

ABSTRACT

The vacuum pump condenser is a component that maintains the vacuum level in the condenser. The steam turbine is one of the main components in a coal-fired power plant (PLTU) that must be maintained to ensure its efficiency does not decline. One of the aspects to be considered in maintaining its performance is the condenser vacuum pressure. There was an increase in condenser vacuum pressure at PLTU Banten 3 Lontar after an overhaul, where this increase affected the steam turbine's performance. Low condenser vacuum pressure causes the steam exhaust from the turbine to not be drawn into the condenser, potentially damaging the turbine blades. This study examines the impact of vacuum pressure changes on the steam turbine before and after the overhaul. The calculation results show that the highest steam turbine efficiency after the overhaul was 40.693% with a heat rate of 2114.401 kkal/kWh at a vacuum pressure of 0.0736 bar (absolute pressure), and before the overhaul at a pressure of 0.0882 bar (absolute pressure), the efficiency was 39.794% with a heat rate of 2161.154 kkal/kWh. The overhaul resulted in higher vacuum pressure compared to before the overhaul, thus increasing turbine efficiency.

Keywords

Condenser Vacuum Pressure, Steam Turbine, Performance, Heat Rate, Efficiency, Overhaul

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah jenis pembangkit listrik yang menggunakan uap panas bertekanan tinggi untuk menggerakkan turbin uap yang kemudian menggerakkan generator yang terhubung untuk menghasilkan

energi listrik (1). PLTU memiliki komponen utama dan satu diantaranya turbin uap yang harus dijaga agar efisiensinya tidak turun. Selain itu, terdapat *vacuum pump condenser* yang menjaga Tingkat kevakuman dalam kondensor. Kondensor merupakan salah satu alat *heat exchanger*. Dimana *heat exchanger* merupakan komponen yang di dalamnya terdapat aktivitas perpindahan panas antar fluida dengan

memanfaatkan media pemisah untuk membawa dan memproses energi, sehingga fluida yang beroperasi tidak akan bercampur (2). Tekanan vakum kondensor sendiri merupakan suatu parameter penting yang menunjukkan baik tidaknya efisiensi turbin uap khususnya pada *low pressure* (LP) turbin. Dimana semakin kecil vakum kondensor mengakibatkan tekanan balik ke LP turbin yang menyebabkan rusaknya sudu-sudu akhir LP turbin sehingga menurunkan efisiensi turbin uap (3). Pada penelitian terkait dengan pengaruh tekanan vakum kondensor terhadap performa turbin yang sudah dilakukan oleh Slamet Hariyadi dan Atok Setiyawan (4), disebutkan bahwa semakin rendah tekanan vakum kondensor akan mengakibatkan daya yang dibangkitkan oleh turbin uap hilang dan efisiensinya turun. Turunnya efisiensi turbin uap dapat menyebabkan penjualan listrik berkurang karena jumlah dari produksi listrik yang dihasilkan berkurang akibat tekanan vakum yang mengalami penurunan.

Setelah dilakukannya *overhaul*, di PLTU Banten 3 Lontar terjadi kenaikan tekanan vakum kondensor. Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh perubahan tekanan vakum kondensor terhadap performa turbin uap dan membandingkan pengaruh *overhaul* terhadap tekanan vakum yang memengaruhi performa turbin uap. Dimana performa kondensor dihitung dengan menggunakan *heat rate* dan efisiensinya.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah jenis pembangkit listrik yang mengonversi energi kinetik dari uap yang akan memutar turbin menjadi energi listrik. Uap yang dihasilkan berasal dari perubahan fase air dalam boiler akibat pembakaran batubara. Batubara dimasukkan ke dalam ruang bakar (*furnace*) yang berfungsi sebagai bahan bakar untuk boiler (5)(6). Proses pemanasan di boiler mengubah air dari fase cair menjadi uap. Uap ini kemudian digunakan untuk memutar turbin dan generator yang terhubung dalam satu poros, menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan kemudian ditransmisikan melalui jaringan interkoneksi dan didistribusikan ke konsumen. Secara umum, sistem pembangkit listrik tenaga uap terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk pompa, boiler, turbin, dan kondensor (7).

2.2 Turbin uap

Turbin uap merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengonversi energi uap yang temperatur tinggi dan tekanan tinggi menjadi energi mekanik (putaran). Saat uap kecepatan tinggi mengalir melalui sudu gerak yang terpasang pada rotor turbin, maka terjadilah perubahan energi kinetik menjadi energi mekanik berupa putaran poros turbin (8).

2.3 Vacuum pump

Vacuum pump pada kondensor berfungsi untuk menghisap gas-gas yang tidak dapat terkondensasi yang mungkin ada di dalam kondensor. Gas-gas tersebut bercampur dengan uap air, dan karena sifatnya yang *uncondensable* dan dapat mengurangi kinerja kondensor dimana mengurangi bidang kontak perpindahan panas pada kondensor, maka harus dikeluarkan. Selain dari itu yang lebih penting lagi nilai kevakuman pada kondensor sangatlah penting, dikarenakan apabila nilai kevakuman menurun, hal itu dapat menyebabkan *back pressure steam* terhadap turbin dan dapat berakibat fatal (9).

2.4 Tekanan Vakum Kondensor

Tekanan gas di bawah tekanan atmosfer disebut tekanan vakum (10). Tekanan vakum kondensor adalah tekanan uap air di dalam kondensor yang lebih rendah dari tekanan atmosfer. Tekanan vakum kondensor pengaruhnya pada sistem PLTU paling tidak ada dua hal yaitu yang pertama adalah meningkatkan beban turbin uap. Vakum kondensor memengaruhi besar kecilnya beban yang dihasilkan oleh turbin uap. Dengan vakum yang tinggi dan jumlah energi yang sama masuk ke turbin, beban yang dihasilkan akan lebih tinggi. Kedua, meningkatkan efisiensi pembangkitan. Efisiensi yang dihasilkan berkaitan dengan energi yang dibangkitkan. Semakin tinggi energi yang dibangkitkan, semakin tinggi pula efisiensinya. Nilai tekanan vakum kondensor sendiri ditentukan oleh konstruksi kondensor tersebut (11).

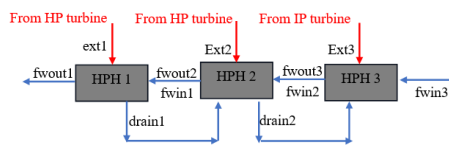
2.5 Heat Rate Turbin

Turbin *heat rate* didefinisikan sebagai jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1 kWh dan dinyatakan dalam (kJ/kWh) (12)(13). Turbin *heat rate* ini menunjukkan perbandingan total energi yang digunakan untuk memutar turbin, dengan energi listrik yang dinyatakan dalam kJ/kWh yang dihasilkan generator.

Nilai *heat rate* turbin dapat ditentukan jika diketahui parameter utama dari turbin uap yaitu nilai *flow rate* dan entalpi dari *main steam*, *feedwater*, *hot reheat*, *cold reheat*, *superheater spray*, *reheater spray* serta *power generator*. Nilai *flow rate*, *temperature*, dan *pressure* pada parameter tersebut diukur menggunakan alat ukur, namun untuk nilai *flow cold reheat steam* dan *hot reheat steam* didapatkan dengan dihitung menggunakan persamaan. Hal tersebut dikarenakan tidak ada alat ukur *flow rate* yang terpasang.

2.5.1 Heat Balance High Pressure Heater

Heat balance high pressure heater (HPH) sangat penting dalam perhitungan *turbine heat rate*. Hal tersebut dikarenakan *flow rate* dari *cold reheat* dan *hot reheat* yang merupakan salah satu dari parameter *turbine heat rate* tidak dapat diukur secara langsung.



Gambar 1 Heat Balance Diagram HPH PLTU Banten 3 Lontar

Heat balance di dalam *high pressure heater* (HPH) 1:

$$m_{ex1} (h_{ex1} - h_{d1}) = m_f (h_f - h_{w2}) \quad (1)$$

Heat balance di dalam *high pressure heater* (HPH) 2:

$$m_{ex2} (h_{ex2} - h_{d2}) + m_{ex1} (h_{d1} - h_{d2}) = m_f (h_f - h_{w2}) \quad (2)$$

Keterangan:

- m_{ext1} = Flow rate ekstraksi ke HPH 1 (kg/h)
- h_{ext1} = Entalpi ekstraksi ke HPH 1 (kJ/kg)
- h_{drain1} = Entalpi drain HPH 1 (kJ/kg)
- m_f = Flow rate feed water (kg/h)
- h_{fwout1} = Entalpi feedwater keluar HPH 1 (kJ/kg)
- h_{fwin1} = Entalpi feedwater masuk HPH 1 (kJ/kg)
- m_{ext2} = Flow rate ekstraksi ke HPH 2 (kg/h)
- h_{ext2} = Entalpi ekstraksi ke HPH 2 (kJ/kg)
- h_{drain2} = Entalpi drain HPH 2 (kJ/kg)

- h_{fwout2} = Entalpi feedwater keluar HPH 2 (kJ/kg)
- h_{fwin2} = Entalpi feedwater masuk HPH 2 (kJ/kg)

2.5.2 Flow Rate Ekstraksi Steam ke HPH 1

Laju massa aliran ekstraksi *steam* ke HPH 1 digunakan untuk menentukan nilai *flow rate* dari *cold reheat* dan *reheat*. Secara matematis dirumuskan sebagai berikut:

$$m_{ex1} = \frac{m_f (h_f - h_{w2})}{(h_{ex1} - h_{d1})} \quad (3)$$

2.5.3 Flow Rate Ekstraksi Steam ke HPH 2

Laju massa aliran ekstraksi *steam* ke HPH 1 digunakan untuk menentukan nilai *flow rate* dari *cold reheat* dan *reheat*. Secara matematis dirumuskan sebagai berikut:

$$m_{ex2} = \frac{m_f (h_f - h_{w2}) - m_{ex1} (h_{d1} - h_{d2})}{(h_{ex2} - h_{d2})} \quad (4)$$

2.5.4 Flow Rate Cold Reheat

Cold reheat merupakan *steam* keluaran HP (*high pressure*) *turbine* yang akan dipanaskan kembali di *reheater* sebagai *steam* yang nantinya akan digunakan kembali untuk memutar IP (*intermediate pressure*) *turbine*. Laju massa *steam* pada *cold reheat* ini diukur menggunakan perhitungan dikarenakan tidak ada alat ukur yang terpasang pada saluran ini. berdasarkan hukum massa, nilai *flow rate cold reheat* dapat ditemukan dengan persamaan dibawah ini:

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 - (\dot{m}_{ex1} + \dot{m}_{ex2}) \quad (5)$$

Keterangan:

- \dot{m}_2 = Cold reheat steam flow (kg/h)
- \dot{m}_1 = Main steam flow (kg/h)
- \dot{m}_{ext1} = Flow rate ekstraksi ke HPH 1 (kg/h)
- \dot{m}_{ext2} = Flow rate ekstraksi ke HPH 2 (kg/h)

2.5.5 Flow Rate Hot Reheat

Hot reheat merupakan *steam* keluaran *reheater* yang masuk ke *intermediate pressure* (IP) *turbine*. Seperti *cold reheat*, pada saluran *hot reheat* tidak terpasang alat ukur laju massa sehingga untuk mengetahui nilai *flow rate hot reheat* ini dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_2 + \dot{m}_{ir} \quad (6)$$

Keterangan:

\dot{m}_3 = Hot reheat steam flow (kg/h)

\dot{m}_2 = Cold reheat steam flow (kg/h)

\dot{m}_{ir} = reheater spray flow (kg/h)

2.5.6 Entalpi

Entalpi didapatkan dari tabel *steam*. Parameter yang diperlukan untuk menentukan entalpi *main steam*, *hot reheat* dan *cold reheat* yaitu nilai tekanan dan temperatur uap. Sedangkan untuk menentukan nilai entalpi *feedwater*, *superheater spray* dan *reheater spray* parameter yang diperlukan hanya nilai temperatur air jenuh pada masing-masing parameter. Tabel *steam* yang digunakan untuk mencari nilai entalpi yaitu dari lampiran buku karangan Moran.

2.5.7 Heat Rate Turbin

Heat rate turbin dirumuskan sebagai berikut (4):

$$HR_T = ((\dot{m}_1 \times h_1 + \dot{m}_3 \times h_3) - (\dot{m}_f \times h_f + \dot{m}_2 \times h_2 + \dot{m}_{is} \times h_{is})) / (P_g - P_{exc}) \quad (7)$$

Di mana,

HR_T = Turbine heat rate (kJ/kWh)

\dot{m}_1 = Main steam flow (kg/h)

h_1 = Main steam enthalpy (kJ/kg)

\dot{m}_3 = Hot reheat steam flow (kg/h)

h_3 = Hot reheat steam enthalpy (kJ/kg)

\dot{m}_f = Final feedwater flow (kg/h)

h_f = Final feedwater enthalpy (kJ/kg)

\dot{m}_2 = Cold reheat steam flow (kg/h)

h_2 = Cold reheat steam enthalpy (kJ/kg)

\dot{m}_{is} = Superheat spray flow (kg/h)

h_{is} = Superheat spray enthalpy (kJ/kg)

P_g = Turbine generator output (MW)

P_{exe} = Generator excitation power (MW)

2.6 Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin diartikan sebagai parameter yang menyatakan derajat keberhasilan komponen atau sistem turbin mendekati desain atau proses idealnya dalam satuan persen (%). Efisiensi turbin ini dapat dihitung dengan membagi energi kalor dalam 1 kWh dengan *heatrate* turbin dikali dengan 100%. Persamaan efisiensi turbin (14).

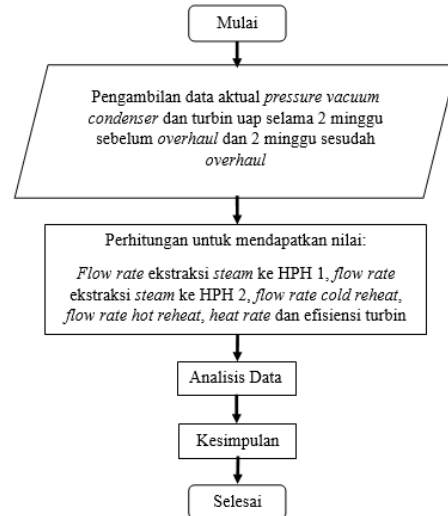
$$\eta_{\text{turbine}} = \frac{\text{energi kalor}}{\text{Heatrate Turbine}} \times 100\% \quad (8)$$

karena 1 kWh = 860 kkal, maka

$$\eta_{\text{turbine}} = \frac{860}{\text{Heatrate Turbine}} \times 100\% \quad (9)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Skema Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3.2 Data yang Digunakan

Data yang digunakan adalah data sekunder yang didapatkan dari ruang CCR (*Central Control Room*) di PLTU Banten 3 Lontar unit 2 pada tahun 2023. Perhitungan menggunakan sampel data pada sebelum *overhaul*.

Tabel 1. Data Sampel Heat Rate dan Efisiensi Turbin

Nama Data	Nilai
Temperature Main Steam (Tms)	543,736°C
Pressure Main Steam (Pms)	152,15 bar
Temperature Hot Reheat Steam (Thrs)	543,912°C
Pressure Hot Reheat Steam (Phrs)	33,289 bar
Temperature Feedwater (Tf)	271,444°C
Pressure feedwater (Pf)	171,379 bar
Temperature Cold Reheat Steam (Tcrs)	326,371°C
Pressure Cold Reheat Steam (Pcrs)	36,976 bar
Temperature Feedwater Inlet HPH 3 (Tis)	177,225°C
Pressure Feedwater inlet HPH 3 (Pis)	172,219 bar
Temperature Feedwater Outlet HPH 2 (Tw2)	223,082°C
Pressure Feedwater Outlet HPH 2 (Pw2)	171,78 bar
Temperature Extraction Steam Inlet HPH 1 (Tex)	414,569°C
Pressure Extraction Steam Inlet HPH 1 (Pex1)	56,109 bar
Temperature Drain Water Outlet HPH 2 (Td1)	251,576°C
Pressure Drain Water Outlet HPH 2 (Pd1)	54,426 bar
Temperature Feedwater Outlet HPH 3 (Tw3)	194,904 °C
Pressure Feedwater Outlet HPH 3 (Pw3)	171,799 bar
Temperature Extraction Steam Inlet HPH 2 (Tex)	351,03°C
Pressure Extraction Steam Inlet HPH 2 (Pex2)	35,239 bar

Temperature Drain Water Outlet HPH 2 (Td2)	223,213°C
Pressure Drain Water Outlet HPH 2 (Pd2)	34,182 bar
Superheater Spray Flow (m _{is})	33273,108 kg/h
Reheater Spray Flow (m _{ir})	28354 kg/h
Main Steam Flow (m ₁)	916177,49 kg/h
Feedwater Flow (m _f)	859985,474 kg/h
HP Gland Seal and MSV Leakage (Gs1)	21295,6 kg/h
Generator Measured Output Power (P _{gg})	286,084 MW
Generator Excitation Power (P _{exe})	0,505 MW

3.3 Perhitungan

a. Mencari Enthalpy

Dengan menggunakan tabel atau grafik, didapatkan nilai entalpi di bawah ini.

Tabel 2. Nilai Entalpi

Nama Data	Nilai
Enthalpy Main Steam (h ₁)	3431,099 kJ/kg
Enthalpy Hot Reheat Steam (h ₃)	3552,722 kJ/kg
Enthalpy Feedwater (h _f)	1189,428 kJ/kg
Enthalpy Cold Reheat Steam (h ₂)	3041,301 kJ/kg
Enthalpy Superheater Spray (h _{is})	759,624 kJ/kg
Enthalpy Feedwater Outlet HPH 2 (h _{w2})	962,144 kJ/kg
Enthalpy Extraction Steam Inlet HPH 1 (h _{ex1})	3221,841 kJ/kg
Enthalpy Drain Water Outlet HPH 1 (h _{d1})	1093,306 kJ/kg
Enthalpy Feedwater Outlet HPH 3 (h _{w3})	836,672 kJ/kg
Enthalpy Extraction Steam Inlet HPH 2 (h _{ex2})	3106,796 kJ/kg
Enthalpy Drain Water Outlet HPH 2 (h _{d2})	958,765 kJ/kg

b. Menghitung m_{ext1} , m_{ext2} , m_2 , m_3 , Heat Rate dan Efisiensi Turbin

Nilai m_{ext1} , m_{ext2} , m_2 , m_3 , heat rate dan efisiensi turbin berdasarkan perhitungan dengan menggunakan data sampel yaitu pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Menggunakan Data Sampel

m_{ext1}	91828,855 kg/h
m_{ext2}	44482,630 kg/h
m_2	758570,405 kg/h
m_3	786924,405 kg/h
HRT	2161,154 kkal/kWh
$\eta_{turbine}$	39,79%

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perhitungan Performa Turbin

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan didapatkan hasil perhitungan untuk semua data pada tabel 4 dan 5 di bawah ini.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Sebelum Overhaul

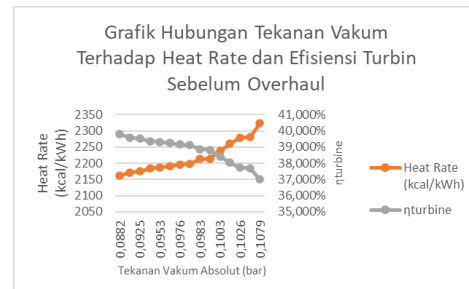
Tekanan vakum Absolut (Bar)	Heat Rate (kcal/kWh)	$\eta_{turbine}$
0,0882	2161,154	39,794%
0,0923	2171,678	39,601%
0,0925	2175,386	39,533%
0,0929	2184,174	39,374%
0,0953	2186,776	39,327%
0,0958	2190,507	39,260%
0,0976	2196,470	39,154%
0,0978	2198,213	39,123%
0,0983	2212,701	38,867%
0,0999	2214,386	38,837%
0,1003	2237,837	38,430%
0,1004	2260,735	38,041%
0,1026	2279,495	37,728%
0,1030	2281,126	37,701%
0,1079	2323,984	37,005%

Tabel 5. Hasil Perhitungan Sesudah Overhaul

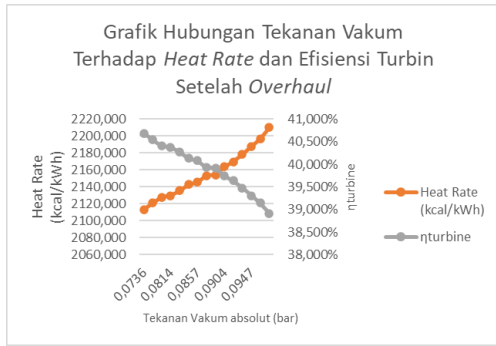
Tekanan vakum Absolut (Bar)	Heat Rate (kcal/kWh)	$\eta_{turbine}$
0,0882	2161,154	39,794%
0,0923	2171,678	39,601%
0,0925	2175,386	39,533%
0,0929	2184,174	39,374%
0,0953	2186,776	39,327%
0,0958	2190,507	39,260%
0,0976	2196,470	39,154%
0,0978	2198,213	39,123%
0,0983	2212,701	38,867%
0,0999	2214,386	38,837%
0,1003	2237,837	38,430%
0,1004	2260,735	38,041%
0,1026	2279,495	37,728%
0,1030	2281,126	37,701%
0,1079	2323,984	37,005%

4.2 Analisis Hasil Perhitungan

Hubungan Tekanan Vakum Terhadap Heat Rate dan Efisiensi Turbin Sebelum & Sesudah Overhaul



Gambar 3. Grafik Hubungan Tekanan Vakum Terhadap Heat Rate dan Efisiensi Turbin Sebelum Overhaul



Gambar 4. Grafik Hubungan Tekanan Vakum Terhadap Heat Rate dan Efisiensi Turbin Setelah Overhaul

Gambar 3 dan Gambar 4 di atas menunjukkan grafik hubungan antara tekanan vakum dengan *heat rate* dan efisiensi turbin sebelum dan sesudah *overhaul*. Terlihat adanya penurunan signifikan pada *heat rate* serta peningkatan tingkat kevakuman kondensor, yang berarti tekanan kondensor semakin rendah dan efisiensi turbin semakin tinggi setelah *overhaul* atau perawatan dilakukan.

Peningkatan nilai vakum kondensor ini merupakan hasil dari perawatan pada peralatan sistem bantu turbin uap, khususnya peralatan yang terkait dengan sistem kevakuman, seperti *strainer inlet* kondensor (debris filter), filter *inlet* pompa vakum, pompa vakum, dan *heat exchanger* pompa vakum. Nilai *heat rate* turbin mengalami penurunan pada setelah dilakukannya perawatan atau *overhaul*. Penurunan *heat rate* ini menunjukkan bahwa performa turbin uap PLTU Banten 3 Lontar semakin efisien saat tingkat kevakuman kondensor semakin naik.

Berdasarkan grafik diatas terjadi kenaikan efisiensi turbin dan penurunan *heat rate turbine* pada kondisi sesudah *overhaul* atau perawatan. Nilai efisiensi turbin tertinggi setelah dilakukannya pemeliharaan adalah 40,693% dengan nilai *heat rate turbine* yaitu 2114,401 kkal/kWh pada tekanan vakum 0,0736 bar (tekanan absolut) sedangkan nilai terendahnya 38,913% dengan nilai *heat rate turbine* yaitu 2210,035 kkal/kWh pada tekanan vakum 0,0995 bar (tekanan absolut). Pada kondisi sebelum *overhaul* nilai efisiensi tertinggi yaitu 39,794% dengan nilai *heat rate turbine* yaitu 2161,154 kkal/kWh pada tekanan vakum 0,0882 bar (tekanan absolut) sedangkan nilai terendahnya 37,005% dengan nilai *heat rate turbine* yaitu 2323,984 kkal/kWh pada tekanan vakum 0,1079 bar (tekanan absolut). Peningkatan efisiensi turbin ini disebabkan oleh peningkatan nilai

vakum setelah perawatan pada komponen bantu turbin, terutama peralatan sistem kevakuman.

Peningkatan nilai vakum kondensor berpengaruh pada nilai efisiensi turbin uap, dimana vakum pada kondensor menyebabkan tekanan udara pada kondensor menjadi rendah yang mempermudah uap bergerak menuju kondensor yang artinya menyebabkan *heat drop* sehingga mempermudah uap jenuh pada sudu LP turbine turun menuju kondensor yang artinya efisiensi turbin akan meningkat karena kondensor memperingan kerja dari turbin dengan adanya kevakuman. Sedangkan jika tekanan vakum semakin rendah maka dapat mengakibatkan *steam exhaust turbine* tidak tertarik ke kondensor atau terjadi aliran balik ke turbin sehingga terjadi penumpukan *steam* pada LP turbine dan memicu kelainan pada alat serta merusak sudu-sudu turbin. Selain itu, jika tekanan di kondensor tidak dalam kondisi vakum, perbedaan tekanan antara kondensor dan turbin tidak cukup besar untuk mengubah seluruh fase uap menjadi air kondensat. Akibatnya, suhu *exhaust* pada turbin akan lebih tinggi, dan sudu pada tingkat akhir turbin tekanan rendah bisa mengalami *overheat* dan kerusakan.

Kinerja turbin uap dapat diukur dari nilai *turbine heat rate*-nya, di mana semakin kecil nilai ini, semakin baik kinerja turbin uap tersebut. Hal ini tercermin dalam efisiensi turbin. Pada dasarnya, efisiensi turbin uap berbanding terbalik dengan nilai *turbine heat rate* berdasarkan persamaan *turbine heat rate* diatas yang berarti semakin kecil nilai *turbine heat rate*, semakin tinggi efisiensi turbin, dan sebaliknya, semakin besar nilai *turbine heat rate*, semakin rendah efisiensi turbin.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- 1) Hasil perhitungan performa turbin, setelah dilakukannya pemeliharaan (*overhaul*) tekanan vakum tertinggi yaitu 0,0736 bar (tekanan absolut), nilai efisiensi turbinnya adalah 40,693% dengan nilai *heat rate turbine* yaitu 2114,401 kkal/kWh. Pada kondisi sebelum *overhaul* nilai tekanan vakum tertinggi yaitu 0,0882 bar (tekanan absolut) dengan nilai efisiensinya yaitu 39,794% dan nilai *heat rate turbine*-nya yaitu 2161,154 kkal/kWh.
- 2) Adanya *overhaul* memengaruhi tekanan vakum, dimana tekanan vakum yang tinggi

artinya tekanan kondensornya semakin rendah. Setelah *overhaul*, nilai tekanan vakum meningkat atau lebih tinggi dari sebelum *overhaul* sehingga efisiensi turbin meningkat sedangkan *heat rate* turbin semakin menurun. Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa performa turbin uap dapat dipengaruhi oleh tekanan vakum kondensor, dimana semakin tinggi nilai tekanan vakum kondensor, efisiensi turbin meningkat sedangkan *heat rate* turbin semakin menurun (begitu pun sebaliknya). Pada saat tekanan vakum semakin rendah (tekanan kondensor semakin tinggi) hal tersebut dapat berakibat buruk bagi kondensor yaitu mengakibatkan *steam exhaust turbine* tidak tertarik ke kondensor dan merusak sudu-sudu *turbine*.

5.2 Saran

Adapun saran yang diajukan oleh penulis yaitu sebagai berikut.

- 1) Melakukan pemeriksaan dan pemeliharaan berkala pada filter-filter dari mulai *bar screen* sampai debris filter karena tekanan vakum dapat turun ketika filter-filter tidak bekerja dengan maksimal dan kotoran pun akan ikut masuk bersama air laut dan menempel pada dinding-dinding *tube* kondensor sehingga air yang masuk sedikit dan proses perpindahan panas terhambat. Serta pembersihan *tube* kondensor dengan menggunakan *ball cleaning* harus terjadwal dengan baik.
- 2) Melakukan *Overhaul* secara terjadwal untuk menjaga tekanan vakum tetap bagus dan menjaga performa turbin uap sebagai komponen utama pembangkit listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Albert ID & Sinaga N. Analisis Pengaruh Perubahan Tekanan Vakum Kondensor Terhadap Efisiensi dan Heat Rate Turbin Uap di PLTU Kendari-3 Unit 2. *Jurnal SIMETRIS*. 2021;12(2):1 – 2.
- [2] Syaifullah I, Muldiani RF, Sasono T. Perancangan Fin-tube Surface Cleaning System Untuk Pembersihan Air-Cooled Heat Exchanger. *Jurnal Mekanik Terapan*. 2023;4(2): 109.
- [3] Arruan EJ, Bujung C, Polii J. Analisis Pengaruh Tekanan Vakum dan Perubahan Suhu Air Terhadap Efektivitas Main Condenser di PLTP Lahendong Unit 2. *Jurnal Pendidikan Fisika*. 2023;6(1).
- [4] Hariyadi S, Setiyawan A. Analisa Termodinamika Pengaruh Penurunan Tekanan Vakum Pada Kondensor Terhadap Peforma Siklus PLTU Menggunakan Software Gate Cycle. *Jurnal Teknik Pomits*. Surabaya.
- [5] Reddy MP, Singh AS, Reddy VM, Elwardany A, Reddy H. Computational analysis of influence of particle size, oxygen concentration, and furnace temperature on the ignition characteristics of pulverized high ash and high moisture coal particle. *Alexandria Engineering Journal*. 2022;61(8): 6169-6180.
- [6] Wang YF, Wang MX, Liu Y, Yin L, Zhiu XR, Xu JF, et al. 2020. Fuzzy modeling of boiler efficiency in power plants. *Information Science*. 2021;542: 391–405.
- [7] Khaleel OJ, Ibrahim TK, Ismail FB, Al-Sammarraie AT, Hassan SH bin A. Modeling and analysis of optimal performance of a coal-fired power plant based on exergy evaluation. *Energy Reports*. 2022; 8: 2179–2199.
- [8] Saputro BA, Sudia B, & Kadir A. Analisis Pengaruh Perubahan Tekanan Vakum Kondensor Terhadap Heat Rate Turbin di PLTU Moramo Sebelum dan Sesudah Perawatan. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*. 2021;6(1): 18.
- [9] Prayudi & Hendri. Analisis Performa Kondensor di PT. Indonesia Power UJP PLTU Lontar Banten Unit 2. *Jurnal Power Plant*. 2017; 4(4): 273.
- [10] Sudimarto, Effendi AR. Analisis Perubahan Tekanan Vakum Kondensor Terhadap Kerja Turbin dan Produksi Listrik PLTU Unit 1 Sebalang Menggunakan Simulasi Cycle Tempo. *Jurnal Power Plant*. 2020;8(1): 13.
- [11] Bono MF, Widyaningsih WP. Analisis Kinerja Kondensor Terhadap Perubahan Tekanan Vakum di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan PLTGU Cilegon. *Jurnal Teknik Energi*. 2014;10(1): 30.
- [12] Manna SS. Studi Pengaruh Operating Heat rate Terhadap Efisiensi Kinerja Pltu Labuhan Angin Sibolga. 2017: 1–54.
- [13] Peifeng N, K Chen, Y Ma, X Li, A Liu, G Li. Model turbine heat rate by fast learning network with tuning based on ameliorated krill herd algorithm. *Knowledge-Based Syst*. 2016;118: 80–92.
- [14] Permana J, Kurniawan I. Analisis Perhitungan Daya Turbin yang Dihasilkan dan Efisiensi Turbin Uap Pada Unit 1 dan Unit 2 di PT. Indonesia Power UBOH UJP Banten 3 Lontar. *Motor Bakar: Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Tangerang*. 2017;1(2): 4.
- [15] Jamaludin, DH RP. Analisis Perhitungan Heatrate pada Turbin Uap Berdasarkan

Performance Test Unit 1 di Pt. Indonesia Power
UBOH UJP Banten 3 Lontar. Motor Bakar:
Jurnal Teknik Mesin Universitas
Muhammadiyah Tangerang. 2018;2(1).