

ANALISIS PERFORMA *EXTRACTION CONDENSING TURBINE UNIT* 1 DI PLTU BABELAN

* Andrian Saputro¹, Intan Soleha²

^{1,2} Fakultas Teknik dan Informatika, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Dian Nusantara, Jakarta, Indonesia

*Email Korespondensi:

andrian.saputro@undira.ac.id

ARTIKEL INFORMASI

Diterima:
3 March 2021

Direvisi:
15 April 2021

Dipublikasi:
16 Mei 2021

ABSTRAK

Pada tahun 2014, Cikarang Listrindo Energy membangun PLTU di Babelan untuk berpartisipasi dengan program pemerintah tersebut. Pada tahun 2017 kondisi PLTU Babelan masih dalam tahap commissioning. Pada bulan April 2017 Unit 1 sudah mulai beroperasi. Setelah plant dapat memproduksi listrik selama 3 tahun, maka mulailah dilakukan uji performa untuk setiap komponen utama turbin listrik, salah satunya adalah uji performa turbin uap. Uji performa ini dilakukan untuk mendapatkan hasil dari uji performa secara actual dimana akan dibandingkan dengan data desain awal yang nantinya akan dijadikan standar acuan garansi dari pihak vendor turbin uap tersebut. Uji performa ini dilakukan dengan menggunakan standar dari ASME PTC 6. Uji performa turbin uap dapat dilihat dari beberapa parameter yaitu meliputi Capability test, Heat rate dan efisiensi turbin. Hasil uji performa turbin uap berdasarkan desain yaitu daya output sebesar 138.010 MW, heat rate sebesar 8865 kJ/kWh, dan efisiensi turbin sebesar 87.38 %, sedangkan daya output pada saat commissioning sebesar 139.295 MW, heat rate sebesar 8919 kJ/kWh, efisiensi turbin sebesar 87.07 %, dan daya output pada saat pengambilan data aktual sebesar 137.595 MW, heat rate sebesar 8830.64 kJ/kWh dan efisiensi turbin sebesar 88.65 %. Toleransi yang diberikan berdasarkan ASME PTC 6 untuk daya output dan heat rate sebesar 2%. Tekanan exhaust turbin sangat berpengaruh pada peningkatan efisiensi turbin, dimana semakin rendah tekanan exhaust turbin maka efisiensi turbin semakin meningkat.

Keyword: *Turbin Uap, Performance Test, Capability test, Heat Rate, Efisiensi Turbin*

1. PENDAHULUAN

Efisiensi dan kehandalan pembangkit tenaga listrik sangat di perlukan selama pengoperasian berlangsung, hal ini berdampak terhadap pemakaian bahan bakar dan ketersediaan cadangan energi primer yang semakin menipis, serta menjaga kehandalan peralatan beroperasi dengan baik. sehingga unit pembangkitan bisa terus beroperasi menjaga sistem kelistrikan yang seefisien mungkin dan melakukan perawatan peralatan yang sangat tepat dan cepat.

PLTU XX merupakan pembangkit listrik yang menggunakan batubara sebagai bahan bakarnya, dengan kapasitas daya sebesar 1x 25 MW, sehingga sangat di butuhkan dalam menjaga pasokan listrik pulau Lombok, Pada PLTU Jeranjang Unit 3 ada beberapa parameter pengoperasian yang mengalami penurunan yang

menyebabkan menurunnya efisiensi pembangkit dan Salah satu tolak ukur efisien tidaknya suatu pembangkit terlihat dari nilai plant heat rate.

Plant heat rate adalah besarnya energi (kJ/kkal) yang dibutuhkan untuk membangkitkan satu kWh electricity. Nilai plant heat rate dipengaruhi oleh nilai turbine heat rate dan efisiensi boiler. Semakin kecil nilai plant heat ratesemakin efisien unit pembangkit tersebut. Perhitungan Plant heat rate juga bertujuan untuk menganalisa suatu system pembangkit terhadap penurunan performance pembangkit tersebut, sehingga dapat memberikan rekomendasi dan membuat langkah-langkah penurunan pada saat perbaikan berkala. dan diharapkan performance pembangkit dapat kembali optimal seperti kondisi saat testing komisioning.

Adapun identifikasi masalah pada penelitian ini adalah Besarnya nilai plant heat rate PLTU aktual sebelum perbaikan berkala, Penyebab kenaikan nilai plant heat rate pada PLTU dan Langkah – langkah untuk menurunkan nilai plant heat rate PLTU dengan demikian nilai plant heat rate dapat mendekati kondisi saat komisioning test.

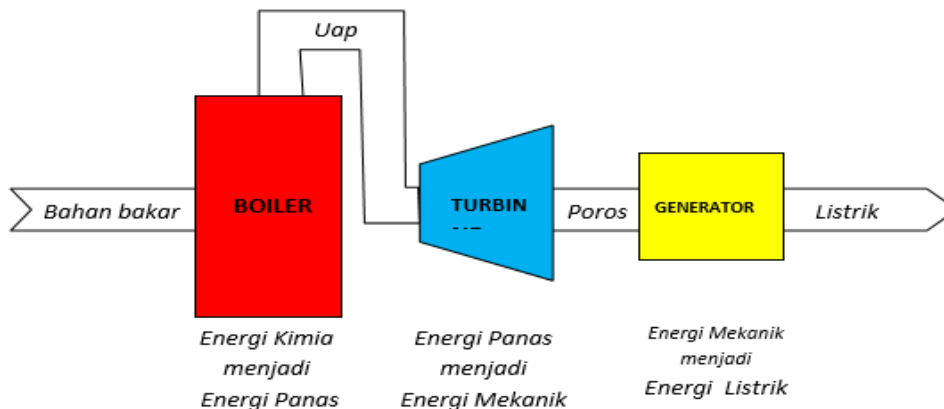
Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk melakukan analisa terhadap nilai plant heat rate PLTU aktual dibandingkan pada saat komisioning dengan menggunakan metode heat loss. Dari hasil analisa yang diperoleh tersebut diharapkan bisa menjadi rekomendasi pada saat perbaikan. Dengan harapan nilai plant heat rate PLTU setelah perbaikan dapat mendekati kondisi saat komisioning test.

2. KAJIAN PUSTAKA

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap

PLTU adalah pembangkit listrik yang mengubah energi kinetik uap menjadi energi listrik. pada PLTU berlangsung melalui 3 tahapan, yaitu :

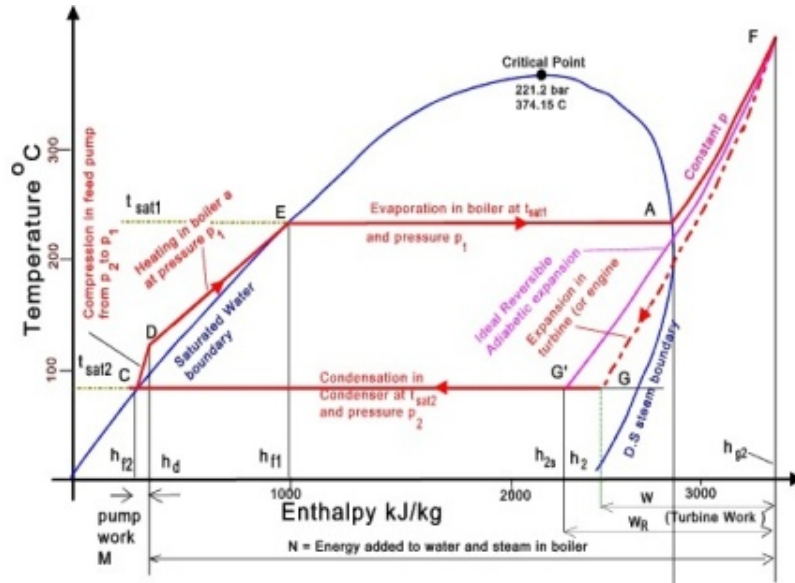
- 1) Energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi.
- 2) Energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.
- 3) Energi mekanik diubah menjadi energy listrik.



Gambar 1 konversi energi PLTU
Sumber : PLTU Suralaya

Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Siklus *rankine* banyak digunakan untuk pembangkit termal yang menggunakan uap sebagai media penggerak turbin. Ada 4 peralatan utama pada pembangkit dengan sistem siklus *rankine* yaitu *Boiler*, Turbin, Kondensor dan Pompa.



Gambar 2. diagram T-S Siklus Rankine

Sumber : <http://artikel-teknologi.com/siklus-rankine/>

Pada siklus *rankine*, air mengalami empat proses sesuai gambar 3 di atas, yaitu:

- Proses C-D** : Proses ini dinamakan proses kompresi-isentropik karena saat dipompa secara ideal tidak ada perubahan entropi yang terjadi.
- Proses D-F** : Air bertekanan tinggi tersebut masuk ke *boiler* untuk mengalami proses dipanaskan secara isobarik (tekanan konstan).
- Proses F-G** : Proses ini terjadi pada turbin uap. Uap kering dari *boiler* masuk ke turbin dan mengalami proses ekspansi secara isentropik.
- Proses G-C** : Uap air yang keluar dari turbin uap masuk ke kondensor dan mengalami kondensasi secara isobarik.

Peralatan Utama Pada PLTU

Peralatan-peralatan utama pada PLTU meliputi :

- Boiler**
Boiler merupakan peralatan yang digunakan untuk merubah energi yang berada pada bahan bakar untuk memproduksi uap panas lanjut yang bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi.
- Air Heater**
Air heater digunakan untuk mema naskan udara pembakaran dengan memanfaatkan laluan gas buang hasil pembakaran pada *boiler*.
- Turbin**
Turbin uap merupakan suatu komponen pada PLTU yang berfungsi untuk merubah energi termal yang diperoleh dari *boiler* menjadi energi listrik.
- Kondensor**
Kondensor merupakan perangkat penukar panas untuk mengkondensikan uap keluar turbin hingga berubah fasanya menjadi air kembali. air pendingin kondensor memanfaatkan air laut untuk sirkulasinya.

Plant Heat Rate

Plant heat rate adalah jumlah energi yang dibutuhkan suatu pembangkit untuk memproduksi 1 kWh energi listrik. Nilai *plant heat rate* menjadi tolak ukur seberapa efisien unit pembangkit. Ketika nilai *plant heat rate* lebih rendah maka semakin efisien unit tersebut. Selain itu nilai *plant heat rate* dapat merefleksikan kondisi suatu unit pembangkit.

Perhitungan Plant Heat Rate Berdasarkan Ptc - 4 & 6

Metode Energy Balance

Perhitungan dengan metode ini membutuhkan lebih banyak data sehingga jumlah pengukuran yang dilakukan lebih banyak. Metode *energy balance* yang digunakan sesuai pada *American Society of Mechanical*

Engineers Performace Test Code (ASME PTC) 4 mengenai *fired steam generator* dan ASME PTC 6 mengenai *steam turbine*. Perhitungan *plant heat rate* metode *energy balance* dihitung menggunakan rumusan berikut :

$$\text{Gross Plant Heat Rate} = \frac{\text{THR}}{\text{Efisiensi Boiler} - 100} \text{ (kJ/kWh)}$$

$$\text{Net Plant Heat Rate} = \frac{\text{Gross Plant Heat Rate} \times \text{Generator Power Output}}{\text{Power Terkirim}} \text{ (kJ/kWh)}$$

Dimana :

- a. *THR* : *Turbine heat rate* (kJ/kWh)
- b. Efisiensi *boiler* dalam satuan persen (%)
- a. **Turbine Heat Rate (THR)**

Turbine heat rate merupakan energi yang dibutuhkan turbin yang diperoleh dari proses transfer panas untuk menghasilkan 1 kWh *electricity*.

Turbine Heat Rate = $\frac{\text{Heat in} - \text{Heat out}}{\text{Generator Power Output}}$ Persamaan yang digunakan untuk menghitung *turbine heat rate* sebagai berikut :

$$\text{ (kJ/kWh)}$$

Dimana :

- Heat in*: Energi panas yang masuk ke turbin (kJ/hr)
- Heat out*: Energi panas yang keluar dari turbin (kJ/hr)

1. Heat In

Heat in merupakan seluruh energi yang masuk pada sistem *boundary* turbin. *Heat in* pada turbin merupakan energi pada *main steam*.

$$\text{Heat in} = Q_{ms} \text{ (kJ/hr)}$$

$$Q_{ms} = M_s \times H_s \text{ (kJ/hr)}$$

Dimana :

- Q_{ms}* : Energi pada *main steam* (kJ/hr)
- M_s* : Jumlah aliran *main steam* (kg/hr)
- H_s* : *Enthalphy* pada *main steam* (kJ/kg)
- $M_s = M_{fw} + M_{is}$ (kg/hr)

Dimana :

- M_s* : Jumlah aliran pada *main steam* (kg/hr)
- M_{fw}* : Jumlah aliran pada *final feed water* (kg/hr)
- M_{is}* : Jumlah aliran *superheater spraywater* (kg/hr)

2. Heat Out

Heat out merupakan seluruh energi yang keluar pada sistem *boundary* turbin. *Heat out* pada turbin meliputi energi pada *final feed water* dan *superheater spraywater*.

$$\text{Heat out} = Q_{fw} \text{ (kJ/hr)}$$

$$\text{Heat out} = (M_{fw} H_f) \text{ (kJ/hr)}$$

Dimana :

- M_{fw}* : *Feed wáter Flow* (kg/hr)
- H_f*: Nilai *entalphy* (kJ/kg)

Efisiensi Boiler

Efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan antara *output* terhadap *input* dalam suatu proses.

- a. *Heat Loss* Akibat *Dry Gas Losses*, dengan persamaan :

$$Q_{pLDfg} = \frac{H_{DFgLvCr} \times M_{FrDFg}}{H_f} 100 \%, (\%)$$

Dimana :

- $H_{DFgLvCr}$: *Enthalphy temperature outlet*
- flue gas excluded leakage* (kJ/kg)
- M_{FrDFg} : *Dry gas* (kg/kg-*fuel*)

H_f : High heating value batubara (kJ/kg)

b. Heat Loss Akibat Kandungan H_2O Pada Bahan Bakar, dihitung dari :

$$Q_{pLWF} = \frac{MFrWF \times (HstLvCr - Hw)}{H_f} 100 \%, (\%)$$

Dimana :

$MFrWF$: Moisture dari pada batubara (kg/kg-fuel)

$HstLvCr$: Enthalpy steam pada AH outlet temperature excluding leakage (kJ/kg)

Hw : Enthalphy of water vapour pada temperatur reference (kJ/kg)

H_f : High heating value batubara (kJ/kg)

c. Heat Loss Akibat Moisture Dari Pembakaran H_2

$$Q_{pLH2F} = \frac{MFrWH2F \times (HstLvCr - Hw)}{H_f} 100 \%, (\%)$$

Dimana :

$MFrWH2F$: Kandungan moisture dari pembakaran hidrogen (kg/kg-fuel)

$HstLvCr$: Enthalphy steam pada AH outlet temperature excluding leakage (kJ/kg)

Hw : Enthalphy of water vapour pada temperatur reference (kJ/kg)

H_f : High heating value batubara (kJ/kg)

d. Heat Losses Akibat Moisture Di Udara dari :

$$Q_{pLWA} = \frac{MFrWA \times HWvLvCr}{H_f} 100 \%, (\%)$$

Dimana :

$MFrWA$: Moisture at AH inlet wet air (kJ/kg)

$HWvLvCr$: Enthalphy water vapor at AH outlet gas exclude leakage (kJ/kg)

H_f : High heating value batubara (kJ/kg)

e. Heat Loss Akibat Unburned Carbon

$$Q_{pLUbC} = \frac{MpUbC \times 33700}{100 \times H_f} 100 \%, (\%)$$

Dimana :

33700 : Nilai kalor karbon yang terjadi di residu (kJ/kg)

$MpUbC$: Karbon yang tidak terbakar saat pembakaran (kg/kg-refuse)

H_f : High heating value batubara (kJ/kg)

f. Heat Loss Akibat Surface Radiation Dan Convection

$$Q_{rLsrc} = \frac{C1 \times (Hcaz + Hraz) \times Afz \times Tdi}{3600 \times 1000 \times H_f} 100\%, (\%)$$

$$\begin{aligned} Hcaz &= 0,35 Va^{0,8}, \text{ (Btu/ft}^2\text{h.}^\circ\text{F)} \\ Hraz &= 0.847 + 2.376E - 3Tdi + 2.94E - \end{aligned}$$

$$6Tdi^2 + 1.37E - 9Tdi^3, \text{ (Btu/ft}^2\text{h.}^\circ\text{F)}$$

Dimana :

$C1$: 0.293 (J/s)

$Hcaz$: Koefisien heat transfer konveksi untuk area z (Btu/ft²h.°F)

$Hraz$: Koefisien heat transfer radiasi untuk area z (Btu/ft²h.°F)

Afz : Luas permukaan dari casing untuk lokasi z (ft²)

Tdi : Perbedaan temperatur antara temperatur permukaan casing dengan temperatur udara ambien di sekitar casing (°F)

H_f : High heating value batubara (kJ/kg)

g. Heat Loss Yang Tidak Terukur

$$Q_{pLUn} : \text{Mengacu sesuai design}$$

h. Heat Losses Akibat Sensible Heat Of Residue

$$Q_{pLRs} = \frac{(xUcb \times MFrR \times Hcba) + (xUcf \times MFrR \times Hcfa)}{H_f} 100\%, (\%)$$

Dimana :

- $MFrR$: Masa dari *residue* (kg/kg-fuel)
- $xUcb$: *Bottom ash split* pada desain (%)
- $Hcba$: *Enthalphy bottom ash* pada temperatur *bottom ash* (kJ/kg)
- $xUcf$: *Fly ash split* pada desain (%)
- $Hcfa$: *Enthalphy fly ash* pada temperatur *fly ash* (kJ/kg)
- Hf : *High heating value batubara* (kJ/kg)

i. Heat Loss Akibat Kandungan Co pada Gas Buang

$$QpLCO = \frac{DVpCO \times MoDFg \times MwCO \times HHVCO}{Hf} 100\%,$$

Dimana :

- $DVpCO$: Kandungan CO pada gas buang (%)
- $MwCO$: Berat molekul CO, 28.01 (kg/mol)
- $HHVCO$: High heating value CO, 10111 (kJ/kg)
- $MoDFg$: mol dari dry gas dengan pengukuran excess air pada lokasi yang sama (moles/kg fuel)
- Hf : High heating value batubara (kJ/kg)

j. Heat Loss Akibat Kandungan Nox Pada Gas Buang

$$QpLNOx = DvpNOx MoDFg \frac{HrNOx}{Hf} 100 \%, (\%)$$

$$MoDFg = MoDPc MoThACr \left(0.7905 + \frac{XpA}{100} \right), (mol/fuel)$$

Dimana :

- $DvpNOx$: Jumlah NOx pada volume gas buang (%)
- $MoDFg$: mol dari dry gas dengan pengukuran excess air pada lokasi yang sama (moles/kg fuel)
- $HrNOx$: Formasi panas dari NO = 89950 (kJ/gm mol)
- Hf : High heating value batubara (kJ/kg)

6. Heat Credit

a. Credit Pada Udara Masuk

$$QpBDA = \frac{MFrDA \times HDA}{Hf} 100 \%, (\%)$$

Dimana :

- $MFrDA$: Jumlah udara yang masuk ke boiler (kg/kg-fuel)
- HDA : Enthalpy of dry air at AH inlet air (kJ/kg)
- Hf : High heating value batubara (kJ/kg)

b. Credit Pada Moisture Di Udara Masuk

$$QpBWA = \frac{MFrWA \times HWv}{Hf} 100 \%, (\%)$$

Dimana :

- $MFrWA$: Moisture at AH inlet wet air (kJ/kg)
- HWv : Enthalpy of dry vapor at AH inlet air (kJ/kg)
- Hf : High heating value batubara (kJ/kg)

c. Credit Sensible Heat Pada Bahan Bakar

$$QpBF = \frac{Hdb}{Hf} 100 \%, (\%)$$

Dimana :

- Hdb : Enthalphy dari dry air fuel temperatur masuk boiler (kJ/kg)
- Hf : High heating value batubara (kJ/kg)

Dalam perhitungan efisiensi boiler dengan metode *heat loses*, energi input dapat dituliskan sebagai :

$$EF = 100 - SmQpL + SmQpB, (\%)$$

$$SmQpL = QpLDFg + QpLWF + QpLH2F + QpLWA + QpLUbC + QrLSrc + QpLUn + QpLRs$$

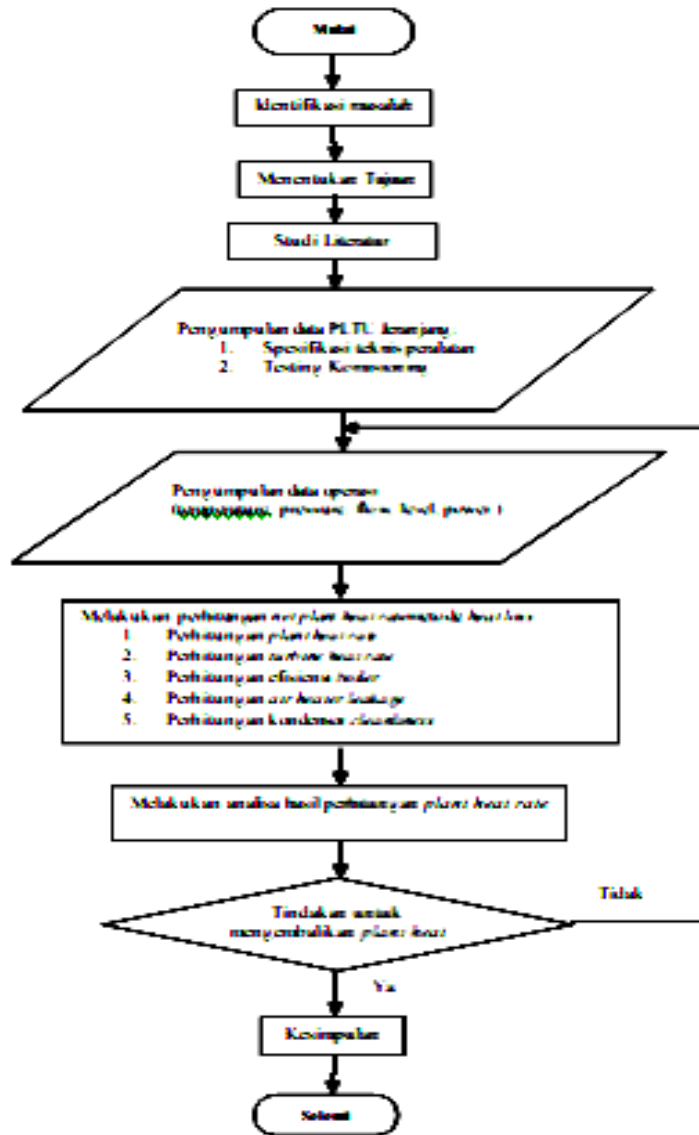
$$SmQpB = QpBDA + QpBWA + QpBF, (\%)$$

Dimana :

- $SmQpL$: Jumlah losses yang dihitung berdasarkan input bahan bakar (%)
- $SmQpB$: Jumlah credit yang dihitung berdasarkan input bahan bakar (%)

3. METODE

Metodologi penelitian merupakan tahap-tahap penelitian yang harus ditetapkan dahulu sebelum melakukan pemecahan masalah, sehingga penelitian dapat dilakukan dengan terarah dan memudahkan dalam menganalisis permasalahan yang ada. Berikut diagram alir Metode Penelitian yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3 berikut :



Gambar 3. Diagram alir proses penelitian.

Prosedur Pengambilan Data

Pengukuran parameter-parameter yang dibutuhkan adalah dengan mengambil data dari desain awal turbin uap. Data ini digunakan sebagai data pembanding untuk pengujian performa turbin uap secara aktual. Setelah data desain diolah menggunakan persamaan yang telah dibahas pada bab sebelumnya, selanjutnya adalah mengambil beberapa parameter yang akan digunakan untuk pengolahan data. Data diambil setiap 1 minggu selama 4 jam sekali yaitu pada bulan Mei minggu ketiga 2020 sampai dengan Agustus 2020 sesuai dengan minimum pengambilan data dari ASME PTC 6. Selain itu pengambilan data dilakukan pada saat sistem dalam keadaan *base load*.

Base load merupakan kondisi dimana turbin uap secara maksimal menghasilkan daya output berupa daya listrik. Hal tersebut dilakukan agar hasil pengolahan data mempunyai nilai pada saat kondisi yang sama sehingga hasilnya tidak rancu.

Spesifikasi Data Dan Perhitungan

Data yang di jelaskan pada Bab ini ialah data hasil dari komisioning PLTU Babelan, Bekasi, dan data actual berdasarkan hasil pemantauan dan pengukuran.

Heat Rate

Dengan mengambil salah satu sampel penelitian, maka dilakukan perhitungan sebagai berikut :

- m_{in} = 134 kg/s
- h_{in} = 3450.5 kJ/s
- m_{fw} = 130.304 kg/s
- h_{fw} = 924.4 kJ/s
- m_{blow} = 0.33 kg/s
- h_{blow} = 2662.9 kJ/s
- m_{desu} = 4.021 kg/s
- h_{desu} = 722.3 kJ/s

$$HR = \frac{Q}{P_{generator}} \times 3600$$

$$Q = (m_{in} \cdot h_{in}) - (m_{fw} \cdot h_{fw}) + (m_{blow} \cdot h_{blow}) - (m_{desu} \cdot h_{desu})$$

$$HR = \frac{(134 \times 3450.5) - (130.304 \times 924.4) + (0.33 \times 2662.9) - (4.021 \times 722.3)}{138000} \times 3600 = 8865 \frac{kJ}{kWh}$$

Turbine Efficiency

- m_{in} = 134 kg/s
- T_{in} = 540 °C
- P_{in} = 125 Bar
- h_{in} = 3450.5 kJ/kg
- m_{eks1} = 6.14 kg/s
- T_{eks1} = 303.5 °C
- P_{eks1} = 22.41 Bar
- h_{eks1} = 3025.4 kJ/kg
- m_{eks2} = 5.61 kg/s
- T_{eks2} = 249.9 °C
- P_{eks2} = 13.95 Bar
- h_{eks2} = 2927.83 kJ/kg
- m_{eks3} = 8.32 kg/s
- T_{eks3} = 183.8 °C
- P_{eks3} = 7.41 Bar
- h_{eks3} = 2805.6 kJ/kg
- m_{eks4} = 8.7 kg/s
- T_{eks4} = 134 °C
- P_{eks4} = 3.04 Bar
- h_{eks4} = 2725.55 kJ/kg
- m_{eks5} = 6.93 kg/s
- T_{eks5} = 92.6 °C
- P_{eks5} = 0.77 Bar
- h_{eks5} = 2663.81 KJ/kg
- P_{out} = 0.15 Bar
- T_{out} = 54.5 °C
- h_{out} = 2382.5164 kJ/kg

Untuk mendapatkan nilai dari entalphy isentropis yaitu dengan cara memplot data pada diagram mollier atau menggunakan steam table. Pada diagram mollier atau steam table dapat dicari dengan cara memplot nilai dari kuliatas uap (x) dengan tekanan exhaust (P_{out})

$$X = 0.83, H_{isent} = 2194.99 \text{ kJ/kg}$$

$$T\eta = \frac{WT_{total \text{ actual}}}{WT_{total \text{ Isentropis}}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned}
 WTeks1 &= \min(hin - heks1) \\
 WTeks2 &= (\min - meks1). (heks1 - heks2) \\
 WTeks3 &= (\min - meks1 - meks2). (heks2 - heks3) \\
 WTeks4 &= (\min - meks1 - meks2 - meks3). (heks3 - heks4) \\
 WTeks5 &= (\min - meks1 - meks2 - meks3 - meks4). (heks4 - heks5) \\
 WTeks6 &= (\min - meks1 - meks2 - meks3 - meks4 - meks5). (heks5 - hout) \\
 WTisent &= (\min - meks1 - meks2 - meks3 - meks4 - meks5). (heks5 - hisent)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 WTeks\ 1 &= 134. (3450.5 - 3025.4) = 56963.4\ kW \\
 WTeks\ 2 &= (134 - 6.14). (3025.4 - 2927.83) = 12475.3\ kW \\
 WTeks\ 3 &= (134 - 6.14 - 5.61). (2927.83 - 2805.6) = 14942.62\ kW \\
 WTeks\ 4 &= (134 - 6.14 - 5.61 - 8.32). (2805.6 - 2725.55) = 9210.1\ kW \\
 WTeks\ 5 &= (134 - 6.14 - 5.61 - 8.32 - 8.7). (2725.55 - 2663.81) = 6496.9\ kW \\
 WTeks\ 6 &= (134 - 6.14 - 5.61 - 8.32 - 8.7 - 6.93). (2663.81 - 2382.516) = 27651.16\ kW \\
 Wisent &= (134 - 6.14 - 5.61 - 8.32 - 8.7 - 6.93). (2663.81 - 2194.99) = 46085.006\ kW
 \end{aligned}$$

Mencari daya total turbin uap aktual

$$\begin{aligned}
 WTtotal\ aktual &= WTeks1 + WTeks2 + WTeks3 + WTeks4 + WTeks5 + WTeks6 \\
 WTtotal\ aktual &= 56963.4 + 12475.3 + 14942.62 + 9120.1 + 6496.9 + 27651.16 \\
 WTtotal\ aktual &= 127649.48\ kW
 \end{aligned}$$

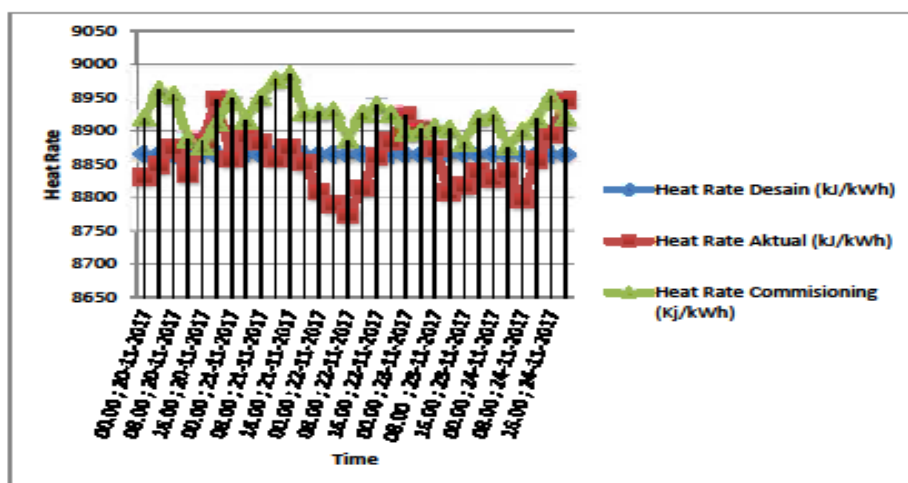
Mencari daya total turbin uap isentropis

$$\begin{aligned}
 WTtotal\ isent &= WTeks1 + WTeks2 + WTeks3 + WTeks4 + WTeks5 + Wisent \\
 WTtotal\ isent &= 56963.4 + 12475.3 + 14942.62 + 9120.1 + 6496.9 + 46085.006 \\
 WTtotal\ isentropis &= 146083.326\ kW
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T\eta &= \frac{WTtotal\ actual}{WTtotal\ Isentropis} \times 100\% \\
 T\eta &= \frac{127649.48}{146083.326} \times 100\% = 87.38\ \%
 \end{aligned}$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Daya Output Desain, Daya Output Commissioning dan Daya Output Aktual

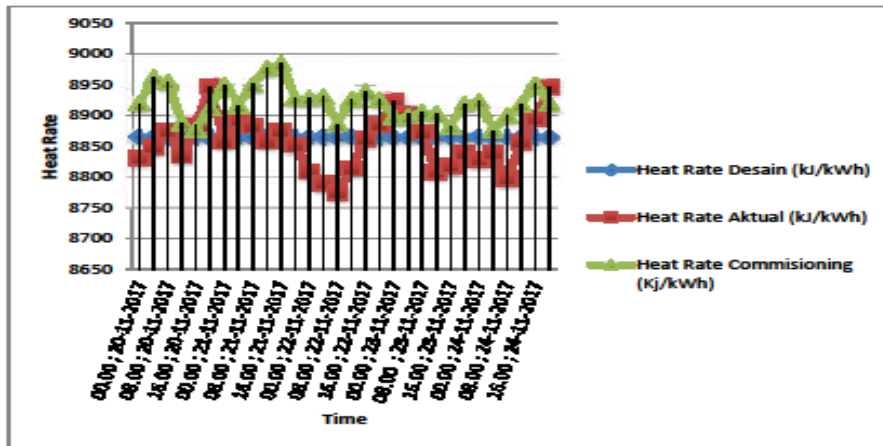


Gambar 4. Grafik Perbandingan Daya Output

Dari gambar 4. dapat dilihat bahwa daya output pada saat commissioning lebih besar dibandingkan dengan daya output secara desain maupun pada saat aktual pengambilan data. Daya output desain sebesar

138.010 MW, sedangkan daya output pada saat commissioning yaitu 139.295 MW atau mempunyai deviasi sekitar 0.9% lebih besar dibandingkan data desain, dan daya output pada saat pengambilan data aktual sebesar 137.595 MW atau mempunyai deviasi 0.3% lebih kecil dibandingkan dengan desain . Untuk toleransi daya output yang diberikan berdasarkan ASME PTC 6 yaitu sebesar 2%. Jadi untuk daya output pada saat commissioning maupun pada saat pengambilan data aktual masih dalam *range* toleransi yang diberikan. Daya output pada saat commissioning lebih besar dikarenakan pada saat performance test commissioning energi uap yang masuk lebih besar dibandingkan dengan data desain maupun pada saat pengambilan data aktual.

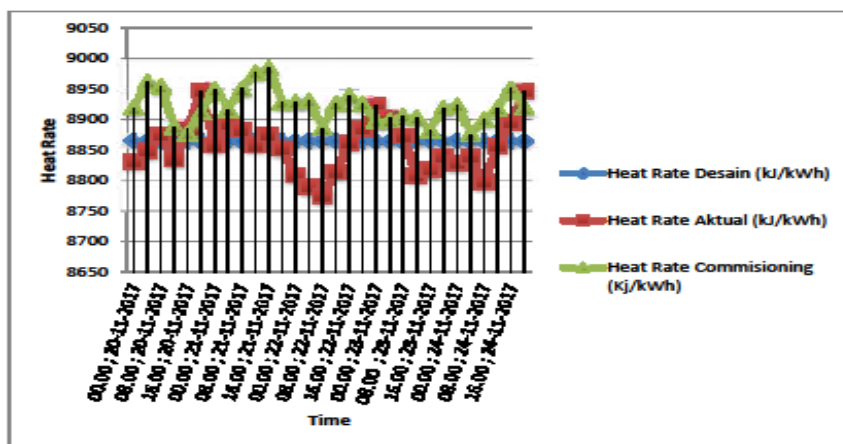
Perbandingan Heat Rate Desain, Heat Rate Aktual, dan Heat Rate Commissioning



Gambar 5. Grafik Perbandingan Heat Rate

Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa heat rate pada saat commissioning cenderung lebih besar dibandingkan dengan heat rate desain maupun heat rate pada saat pengambilan data aktual. Heat rate desain yaitu sebesar 8865 kJ/kWh sedangkan heat rate commissioning sebesar 8919 kJ/kWh atau mempunyai deviasi sebesar 0.9% lebih besar dibandingkan heat rate desain, dan untuk heat rate pada saat pengambilan data aktual sebesar 8830 kJ/kWh atau mempunyai deviasi sebesar 0.39% lebih kecil dari heat rate desain. Untuk toleransi dari heat rate sendiri berdasarkan ASME PTC 6 yaitu sebesar 2% . Jadi untuk heat rate pada saat commissioning maupun pada saat pengambilan data aktual masih masuk dalam *range* toleransi yang diberikan. Semakin besar nilai heat rate maka nilai efisiensi turbin akan turun, hal ini menyebabkan konsumsi bahan bakar untuk memanaskan air menjadi uap semakin bertambah.

Perbandingan Turbine Efficiency Desain, Turbine Efficiency Commissioning, Turbin Efficiency Aktual



Gambar 6 Grafik Perbandingan Efisiensi Turbin

Dari gambar 6 dapat dilihat bahwa efisiensi turbin aktual lebih besar dibandingkan dengan efisiensi turbin pada saat commissioning maupun efisiensi turbin desain. Nilai efisiensi turbin aktual sebesar 88.21 %, sedangkan efisiensi turbin pada saat commissioning yaitu sebesar 87.1 % dan efisiensi turbin desain sebesar

87.38%. Efisiensi turbin aktual lebih besar karena *exhaust pressure* pada saat pengambilan data aktual lebih vacuum dibandingkan dengan data desain maupun pada saat commissioning. Besarnya efisiensi turbin ditentukan berdasarkan seberapa *vacuum exhaust pressure* dari turbin uap tersebut. Bisa kita lihat dari data yang didapatkan bahwa *exhaust pressure* desain sebesar 0.15 Bar, sedangkan *exhaust pressure* pada saat commissioning sebesar 0.15 Bar dan *exhaust pressure* data aktual sebesar 0.126 Bar.

5. KESIMPLAN DAN SARAN

Dari analisis dan perhitungan yang telah dilakukan pada turbin uap jenis condensing extraction turbine, maka dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Daya output desain sebesar 138.010 MW, sedangkan daya output pada saat commissioning sebesar 139.295 MW, dan daya output aktual sebesar 137.595 MW. Toleransi dari daya output berdasarkan ASME PTC 6 sebesar 2 % dari data desain, sehingga untuk daya output commissioning maupun daya output aktual masih masuk dalam toleransi yang diberikan.
- 2) Heat rate turbin desain sebesar 8865 kJ/kWh, sedangkan heat rate turbin pada saat commissioning sebesar 8919 kJ/kWh, dan heat rate turbin aktual sebesar 8831 kJ/kWh. Toleransi yang diberikan berdasarkan ASME PTC 6 sebesar 2% , sehingga untuk heat rate turbin pada saat commissioning dan pada saat pengambilan data aktual masih masuk dalam range yang diberikan.
- 3) Efisiensi turbin desain sebesar 87.38 %, sedangkan efisiensi turbin pada saat 87.068% dan efisiensi turbin pada saat pengambilan data aktual sebesar 88.65 %. Efisiensi turbin sangat dipengaruhi oleh kevakuman dari exhaust turbin sendiri
- 4) Dari hasil penelitian performa turbin uap pada saat commissioning maupun pada saat pengambilan data aktual, semua parameter-paramater yang diuji masih masuk dalam toleransi yang diberikan berdasarkan dari ASME PTC 6
- 5) Steam flow dan energi uap yang masuk mempengaruhi besarnya efisiensi turbin, hal ini dapat kita lihat dimana energi uap pada saat pengambilan data aktual lebih besar yaitu sebesar 3463.4 kJ/kg dengan efisiensi sebesar 88.65 %, sedangkan energi uap pada data desain sebesar 3450 kJ/kg dengan efisiensi sebesar 87.38% dan energi uap pada saat commissioning sebesar 3445.73 kJ/kg dengan efisiensi sebesar 87.1%. Menjaga kevakuman dari exhaust turbin atau kevakuman dari Air Cooled Condenser sangat berpengaruh pada peningkatan efisiensi turbin
- 6) Salah satu penyebab turunnya efisiensi turbin ialah naiknya pressure pada air cooled condenser, hal ini bisa kita lihat pada grafik perbandingan antara efisiensi turbin desain, commissioning dan aktual, dimana semakin vacuum pressure exhaust turbin atau pressure air cooled condenser, maka efisiensi turbin akan semakin turun. Salah satu cara untuk menjaga kevakuman pada air cooled condenser agar exhaust pressure turbin rendah dibutuhkan penjadwalan proses pembersihan tube-tube pada air cooled condenser agar terhindar dari penumpukan kotoran pada tube-tube air cooled condenser, dimana akan berpengaruh pada proses kondensasi uap keluaran turbin, hal ini termasuk upaya dalam menjaga kevakuman exhaust turbine dan dapat meningkatkan efisiensi dari turbin itu sendiri.

REFERENCES

- American Society of Mechanical Engineering. 2008. Performance Test Code 4. New York : HIS
- American Society of Mechanical Engineering. 2008. Performance Test Codes 6. New York : HIS
- Power Plant Engineering Black And Veatch, 2008
- Daffiqurrohman, Hafif. (2013). *Laporan Kerja Praktik Machinery and Heavy Equipment Division*. PT Badak LNG.
- Permana, Dedi . (2012). *Materi Presentasi Steam Turbine LNG Academy*. Bontang: PT Badak.
- Moran, Michel. J, Shapiro, Howard N. 2006. *Fundamental of Engineering Thermodynamics (Fifth Edition)*. England: John Wiley and Sons.
- American Society of Mechanical Engineer. 2006. *Erratum to ASME PTC 6-2004 Steam Turbine*. New York, USA: ASME.
- Siemens.(2014). *Operation and Maintenance Manual Book Steam Turbine*. Germany.