

ANALISIS PENGARUH LAJU UAP TERHADAP EFISIENSI TURBIN UAP CONDENSING PADA PLTU PT. XXX

ANALYSIS OF THE EFFECT OF STEAM RATE ON THE EFFICIENCY OF STEAM CONDENSING TURBINE AT PLTU PT. XXX

Irwan Suriaman¹, Agus Suprayitno², Asep Hermanto³

^{1,2,3}Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana, Jalan Cikopak No. 53 Purwakarta

Corresponding author: asephermanto788@gmail.com

History:

Abstrak

Terkait perkembangan energi dunia saat ini, tidak lepas dari peran pembangkit listrik, baik itu pembangkit konvensional maupun terbarukan. Pada dunia industri yang semakin maju dan mengarah ke persaingan global, maka perusahaan secara berkelanjutan perlu diminimalisir kerusakan pada mesin selama kegiatan produksi, melalui perbaikan dan perawatan. Turbin uap termasuk mesin penggerak, dengan energi fluida kerja dipergunakan langsung untuk memutar sudu turbin. Pada aliran fluida memberikan pengaruh pada daya dan efisiensi turbin uap. Pemanfaatan turbin uap banyak digunakan dalam berbagai industri. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari laju uap terhadap efisiensi turbin berdasarkan data aktual maupun data desain. Pengambilan data dilakukan menggunakan metode observasi di PT. XXX pada pembangkit listrik tenaga uap. Analisis nilai efisiensi turbin berdasarkan nilai laju uap dan beberapa variabel uap lain yang masuk dan keluar turbin terkait daya generator serta daya kerja turbin. Efisiensi dapat juga dihitung dengan membandingkan daya *output* dan *input* yang dihasilkan turbin. Berdasarkan analisis diperoleh bahwa data dari laju uap, daya aktual, kerja, dan *heat rate* turbin diperoleh hasil nilai efisiensi tertinggi sebesar 90,5% dan terendah 56,1%. Berdasarkan hasil analisa data penelitian yang telah dilakukan bahwa kenaikan dan penurunan efisiensi turbin uap dipengaruhi aliran massa uap selain itu juga oleh faktor: tekanan, temperatur dan entalpi.

Kata kunci: Tekanan, Turbin, Temperatur, Entalpi, Fluida, Efisiensi.

Abstract. Regarding the development of the world energy today, it cannot be separated from the role of power plants, both conventional and renewable plants. In an industrial world that is increasingly advanced and leads to global competition, companies need to continuously minimize machine breakdowns during production activities, through repair and maintenance. The steam turbine is a propulsion engine, where the working fluid energy is used directly to rotate the turbine blades. Fluid flow has an influence on the power and efficiency of the steam turbine. Steam turbines are widely used in various industries. This study aims to determine the effect of steam rate on turbine efficiency based on actual data. Data collection was carried out using the observation method at PT.XXX on steam power plants. The analysis of the turbine efficiency value is based on the value of the steam rate and several other steam variables entering and leaving the turbine related to the generator power and turbine working power. Efficiency can also be calculated by comparing the turbine output and input power. Based on the results of the analysis, it was found that the data from the steam rate, actual power, work, and turbine heat rate obtained the highest efficiency value of 90.5%, and the lowest of 56.1%. Based on the results of data analysis research that has been done that the increase and decrease in the efficiency of the steam turbine is influenced by the mass flow of steam but also by factors: pressure, temperature, and enthalpy.

Keywords: Pressure, turbine, temperature, enthalpy, fluid, efficiency.

1 Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Perkembangan energi dunia saat ini, tidak lepas dari peran pembangkit listrik, baik itu pembangkit konvensional maupun terbarukan. Dunia industri yang semakin maju dan mengarah ke persaingan global, maka perusahaan secara berkelanjutan perlu diminimalisir kerusakan pada mesin selama kegiatan produksi, melalui perbaikan dan perawatan (Jhon, 2018). Sehingga hal ini akan meningkatkan kinerja generator pembangkit listrik yang dapat mengurangi gangguan, yang pada akhirnya dapat meningkatkan keuntungan dan produksi perusahaan (Michael, 2000).

PT. XXX merupakan sebuah perusahaan yang memiliki pembangkit energi listrik tenaga uap, yang menghasilkan listrik dan uap untuk dipergunakan dalam proses produksi pembuatan serat kapas. Komponen utama dari pembangkit tersebut terdiri dari *demin water*, *boiler*, kondensor, pompa air *boiler*, turbin uap. PT. XXX merupakan perusahaan serat kapas terbesar di Indonesia (Hamdani, 2017).

Pembangkit listrik tenaga uap telah banyak mengalami perkembangan baik untuk peningkatan efisiensi maupun peningkatan kinerja, dalam hal efisiensi perlu adanya perhitungan karakteristik dari turbin seperti dalam jurnal yang berjudul "Studi Eksperimen Perbandingan Pengaruh Variasi Tekanan *Inlet* Turbin dan Variasi Pembebanan Terhadap Karakteristik Turbin Pada *Organic Rankine Cycle*" oleh Risqiawan dan Khrisna tahun 2013 yang menjelaskan bahwa performansi turbin dengan adanya pengaruh variasi tekanan masuk turbin dan juga pembebanan pada generator (Rayon, 2001). Perubahan tekanan masuk turbin dan perubahan (Sunarwo, 2015). beban pada generator mempengaruhi kerja turbin dalam siklus *Rankine organic* (Arismunandar, 1988).

Kondisi turbin uap *condensing* di PLTU PT. XXX mengalami potensi penurunan kinerja, mengingat usia dari turbin tersebut dan beberapa faktor yang dapat mengakibatkan penurunan kinerja turbin, salah satu faktor yang menjadi titik awal penurunan kinerja adalah laju uap, kemudian temperatur, tekanan, dan entalpi (Sheth, 2012). Kondisi ini akan dapat terlihat dari penelitian yang lebih kompleks dan menyeluruh, namun dalam penelitian ini adalah diagnosa awal mengenai penyebab penurunan kinerja turbin uap *condensing*.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui nilai pengaruh jumlah laju uap yang masuk terhadap *heat rate*, daya aktual dan efisiensi turbin uap.
2. Untuk mengetahui nilai efisiensi turbin uap dalam berbagai variasi laju uap dan data daya aktual.

1.3. Batasan Masalah

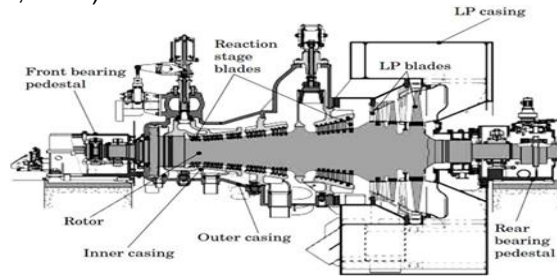
Pembahasan penelitian ini dibatasi pada analisa laju uap (*steam*) masuk turbin terhadap efisiensi turbin uap secara aktual dari data di lapangan, dengan data ideal operasional turbin berdasarkan *manual book* turbin tersebut, dengan tidak mengesampingkan parameter lain yang berpengaruh antara lain: temperatur, tekanan, dan entalpi.

2 Kajian Pustaka

2.1. Turbin Uap

Turbin uap Gambar 1 adalah mesin penggerak yang merubah secara langsung energi yang terkandung dalam uap menjadi gerak putar pada poros, yang mana uap (*steam*) yang diproduksi dari kartel uap. Setelah melalui proses yang di kehendaki maka uap yang di

hasilkan dari proses tersebut dapat di gunakan untuk memutar turbin melalui alat memancar (*nozzle*) dengan kecepatan *relative*, dimana kecepatan *relative* membentur sudu penggerak sehingga dapat menghasilkan putaran , uap yang memancar keluar *nozzle* diarahkan ke sudu-sudu turbin yang berbentuk lengkungan dan dipasang disekeliling roda turbin, uap yang mengalir melalui celah-celah antara sudu turbin itu dibelokkan kearah mengikuti lengkungan dari sudu turbin (Jamaludin, 2017).



Gambar 1. Turbin Uap

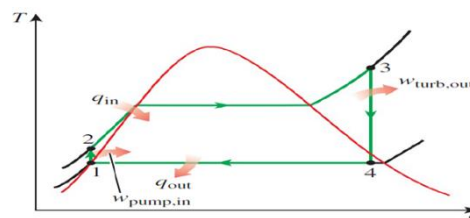
2.2. Turbin Uap *Condensing*

Condensing turbine adalah jika uap dari turbin keluar menuju tekanan vakum (± 0.08 bar) pada condenser untuk dirubah fasanya kembali menjadi air. Turbin kondisi dipakai bila seluruh energi uap dipergunakan untuk menghasilkan daya. Uap yang keluar dari turbin dikondensasikan dalam kondenser, dengan tujuan mendapatkan tekanan lawan yang cukup rendah, sehingga menghasilkan daya yang tinggi (Ravindra, 2013). Kemudian air hasil kondensasi dapat disirkulasikan kembali ke dalam ketel. Turbin kondensasi yang disebut juga turbin kondensasi langsung (*straight condensing turbine*). Tekanan keluar turbin kurang dari 1 atm dan dimasukkan kedalam kompresor (William, 1989).

2.3. Siklus *Rankine*

Siklus ideal yang terjadi didalam turbin adalah siklus *rankine* air pada siklus 1 dipompakan kondisinya adalah *isentropic* $s_1 = s_2$ masuk ke boiler dengan tekanan yang sama dengan tekanan di *condenser* tetapi boiler menyerap panas sedangkan *condenser* melepaskan panas kemudian dari boiler masuk ke turbin (Jamaludin, 2017).

Dengan kondisi super panas $h_3 = h_4$ dan keluaran dari turbin berbentuk uap jenuh dimana laju aliran massa yang masuk ke turbin sama dengan aliran massa keluar dari turbin ini dapat di gambarkan dengan menggunakan diagram menurut hukum pertama *thermodinamika* gambar 2 kerja yang di hasilkan oleh suatu proses siklus adalah sama dengan jumlah perpindahan kalor pada fluida kerja selama proses siklus tersebut berlangsung, jadi untuk proses siklus 1 – 2 – 2 – 3 – 3 – 4 – 1 dalam kenyataan siklus sistem turbin uap menyimpang dari siklus ideal (siklus *rankine*) (Risqiawan, 2013).



Gambar 2. Siklus Rankine

2.4. Rumus-Rumus yang Digunakan

- Efisiensi berdasarkan daya input

$$\eta = \frac{\text{daya output}}{\text{daya input}} \times 100\%$$

keterangan :

η = efisiensi turbin

daya *output* = daya yang dihasilkan oleh generator turbin dalam satuan MW

daya *input* = energi kinetik uap dalam satuan MW

kemudian untuk mencari daya input dapat menggunakan persamaan berikut:

$m \times h$

keterangan :

m = laju aliran massa uap dalam satuan kg/s

h = entalpi uap dari energi sistem potensial termodinamika dengan satuan kJ/kg

3 Hasil Analisis dan Pembahasan

Analisis efisiensi turbin uap *condensing* di PT. XXX diperlukan sebuah laju uap antara laju uap yang dihasilkan di boiler dengan hasil efisiensi turbin uap, maka perlu adanya sebuah kesinambungan antara keduanya. Adapun pengambilan data selama 7 hari untuk di analisa berdasarkan data desain, beban maksimum, beban operasional, dan beban minimum.

Berikut data Tabel 1 yang dipakai dalam perhitungan nilai efisiensi turbin berdasarkan data desain dan data aktual turbin uap *condensing* PT. XXX.

Tabel 1. Data desain Turbin uap

Data Desain Turbin	Nilai	Unit
Tekanan Uap Masuk P_1	61	Bar
Temperatur Uap Masuk T_1	485	°C
Laju Uap Masuk m_1	100	TPH
Entalpi Uap Masuk h_1	3386,11	kJ/kg
Entropi Uap Mauk S_1	6,82703	kJ(kg°C)
Tekanan Turbin Intermediet P_2	15	Bar
Temperatur Turbin Intermediet T_2	350	°C
Laju Uap Turbin Intermediet m_2	20	TPH
Entalpi Turbin Intermediet h_2	3148,05	kJ/kg
Tekanan Turbin Rendah P_3	3	Bar
Temperatur Turbin Tekanan Rendah T_3	245	°C
Laju Uap Turbin Tekanan Rendah m_3	80	TPH
Entalpi Turbin Tekanan Rendah h_3	2957,7	kJ/kg
Temperatur Keluar Turbin T_4	100	°C
Daya Turbin	10,8	MW

4
2
Efisi
ensi
i
turb
in
ber
das
arka
n
data
des
ain

Efisi
ensi
turb
in
berd
asar
kan
daya

input data desain dapat dikalkulasikan dengan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{\text{daya output}}{\text{daya input}} \times 100\%$$

Menghitung kinerja turbin dengan menggunakan data spesifikasi turbin sebagai berikut:

Input

Daya listrik (daya *output*) = 10,8 MW

Tekanan masuk turbin (P_1)= 61 Bar = 6,1 MPa

Temperature masuk (T_1) = 485 °C

Laju aliran uap (m_1) = 100 T/h = 27,77 kg/s

Entalpi (h_1) = 3386,11 kJ/kg

$E_{in} = m \times h$

$E_{in} = 27,77 \times 3386,11$

$E_{in} = 94032,2747 \text{ kW}$

$E_{in} = 94,032 \text{ MW}$

Ekstraksi

Tekanan masuk turbin (P_2)= 1,5 MPa

Temperature masuk (T_2) = 350 °C

Laju aliran uap (m_1) = 20,000 = 5,55 kg/s

Entalpi (h_2) = 3148,05 kJ/kg

$E_{in} = m \times h$

$E_{in} = 5,55 \times 3148,05$

$E_{in} = 17471,6775 \text{ kW}$

$E_{in} = 17,471 \text{ MW}$

Low Pressure

Tekanan masuk turbin (P_3)=3 Bar = 0,3 MPa

Temperature masuk (T_3) = 245 °C

Laju liran uap (m_3) = 80 T/h = 22,22 kg/s

Entalpi (h_3) = 2957,7 kJ/kg

$E_{in} = m \times h$

$E_{in} = 22,22 \times 2957,7$

$E_{in} = 65720,094 \text{ kW}$

$E_{in} = 65,720 \text{ MW}$

$$\eta = \frac{\text{daya output}}{\text{daya input}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{10,8}{94,032 - 17,471 - 65,720} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{10,8}{10,841} \times 100\%$$

$$\eta = 0,996 \times 100\%$$

$$\eta = 99,6\%$$

Maka efisiensi turbin berdasarkan perhitungan data data desain dan energi masuk turbin sebesar 99,6%.

4.3. Efisiensi Turbin Berdasarkan Data Aktual

Untuk mencari nilai efisiensi turbin dapat menggunakan data *sample* yang di ambil selama 7 hari dari tanggal 25 sampai dengan tanggal 31 Juli 2020, di unit 1 turbin uap condensing PLTU PT. XXX, berikut adalah data harian turbin uap pada tanggal 26 Juli 2020.

Tabel 2. Data kinerja turbin harian tanggal 26 Juli 2020

Data Turbin Aktual	Nilai	Unit
Tekanan Uap Masuk P_1	61,088	Bar
Temperatur Uap Masuk T_1	479,068	°C
Laju Uap Masuk m_1	64,867	TPH
Entalpi Uap Masuk h_1	3371,71	kJ/kg
Entropi Uap Masuk S_1	6,80797	kJ/(kg°C)
Tekanan Turbin Intermediet P_2	15,416	Bar
Temperatur Turbin Intermediet T_2	341,657	°C
Laju Uap Turbin Intermediet m_2	19,238	TPH
Entalpi Turbin Intermediet h_2	3128,43	kJ/kg
Tekanan Turbin Rendah P_3	2,722	Bar
Temperatur Turbin Tekanan Rendah T_3	209,439	°C
Laju Uap Turbin Tekanan Rendah m_3	40,434	TPH
Entalpi Turbin Tekanan Rendah h_3	2888,84	kJ/kg
Temperatur Keluar T_4	100	°C
Daya Turbin	7,849	MW

- a. Efisiensi turbin berdasarkan daya output dan input dapat dikalkulasikan dengan persamaan berikut

$$\eta = \frac{\text{daya output}}{\text{daya input}} \times 100\%$$

Menghitung kinerja turbin dengan mengambil rata-rata data harian diperoleh pada tanggal 26 juli 2020

Input

Daya listrik (daya *output*) = 7,849 MW

Tekanan masuk turbin = 6,1 MPa

Temperature masuk = 479,068 °C

Laju aliran uap = 64,867 T/h = 18,01 kg/s

Entalpi = 3371,71 kJ/kg

$E_{in} = m \times h$

$E_{in} = 18,01 \times 3371,71$

$E_{in} = 60724,49 \text{ kW}$

$E_{in} = 60,7 \text{ MW}$

Ekstraksi

Tekanan masuk turbin = 1,5 MPa

Temperatur masuk = 341,657 °C

Laju aliran uap = 19,238 T/h = 5,3 kg/s

Entalpi = 3128,43 kJ/kg

$E_{in} = m \times h$

$E_{in} = 5,3 \times 3128,43$

$E_{in} = 16580,67 \text{ kW}$

$E_{in} = 16,5 \text{ MW}$

Low Pressure

Tekanan masuk turbin = 0,272 MPa

Temperature masuk = 209,439 °C

Laju liran uap = 40,434 T/h = 11,23 kg/s

Entalpi = 2888,84 kJ/kg

$E_{in} = m \times h$

$E_{in} = 11,23 \times 2888,84$

$E_{in} = 32441,67 \text{ kW}$

$$E_{in} = 32,4 \text{ MW}$$

$$\eta = \frac{\text{daya output}}{\text{daya inpu}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{7,849}{60,7-16,5-32,4} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{7,849}{11,8} \times 100\%$$

$$\eta = 0,665 \times 100\%$$

$$\eta = 66,5\%$$

Maka efisiensi turbin berdasarkan perhitungan data aktual hari kedua sebesar 66,5% kinerja turbin dipengaruhi oleh massa dan entalpi dari *steam* yang digunakan.

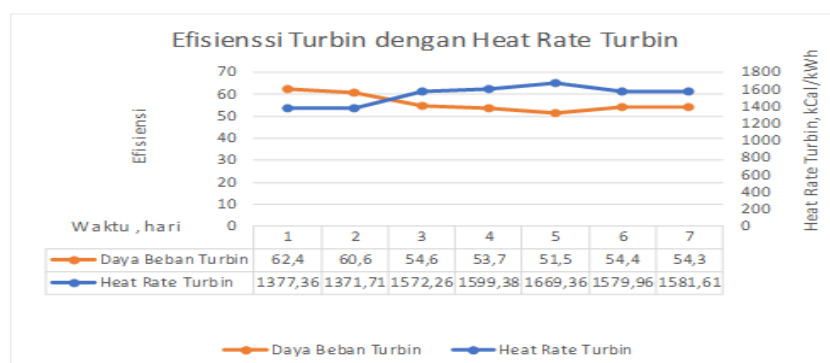
4.4. Hasil Analisa Data

Hasil perhitungan dan pengolahan data desain dan data aktual untuk mencari nilai efisiensi, ini ditampilkan menurut data desain dengan membandingkan data aktual 7 hari pengambilan data melalui Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Data hasil Analisa kinerja turbin

Parameter	Data Desain	Data Aktual	Unit
Efisiensi Turbin	99,6	66,5	%
Daya Turbin	10,8	7,849	MW
Efisiensi Berdasarkan Heat Rate	54,7	60,6	%
Heat Rate Turbin	1571,2	1371,71	Kcal/kWh
Daya Kerja Turbin	31,902	17,768	MW

4.5. Hubungan Antara *Heat Rate* terhadap Efisiensi

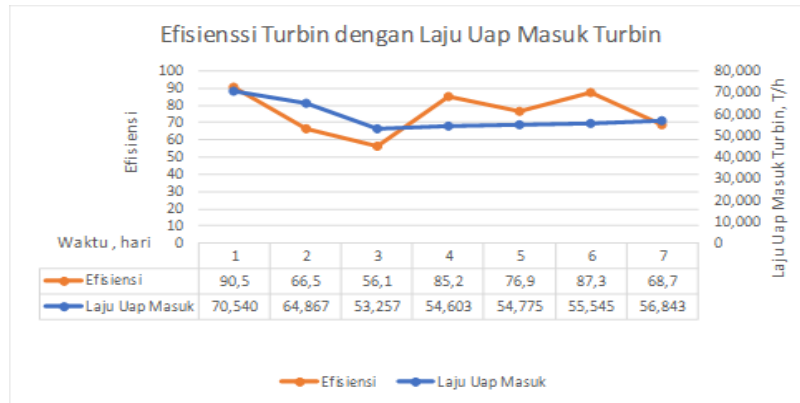


Grafik 1. *Heat rate* dengan efisiensi turbin

Berdasarkan hasil analisis data yang diambil dari tanggal 25 sampai 31 Juli 2020 dengan hasil *heat rate* turbin yang memiliki pengaruh pada nilai efisiensi yang terjadi, hal ini berdasarkan nilai potensi panas yang terekstraksi menjadi kinerja turbin dalam

beban daya yang dihasilkan, dalam data yang ditampilkan dapat terlihat potensi panas yang terproses pada kenyataannya terdapat potensi panas yang justru tidak termaksimalkan menjadi daya beban dan tereliminasi begitu saja.

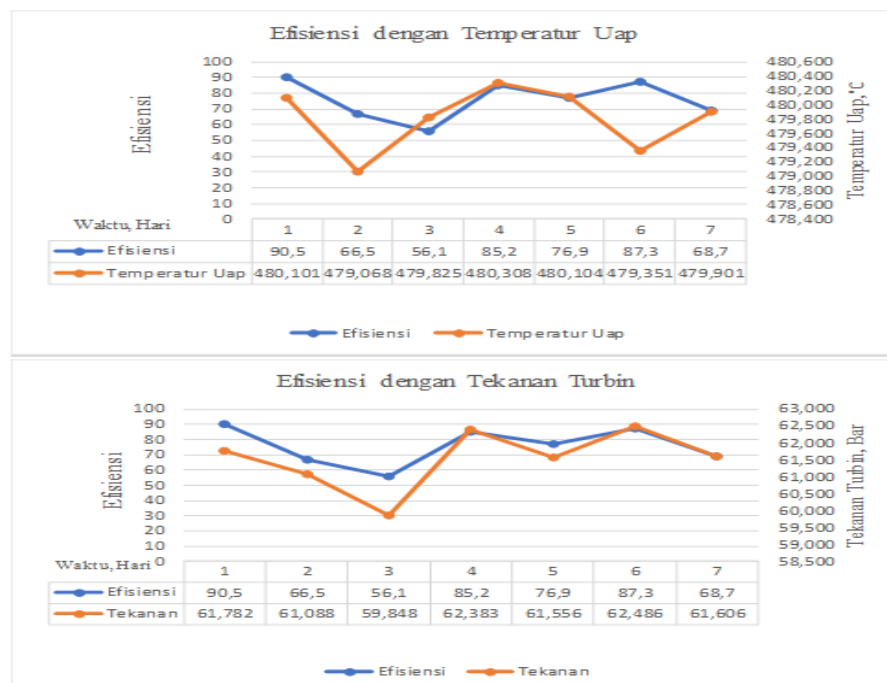
4.6. Hubungan antara Efisiensi dengan Laju Uap Masuk Turbin



Grafik 2. Efisiensi dengan laju uap masuk

Berdasarkan data yang diambil dan telah dianalisis secara baik terlihat bagaimana efisiensi yang cenderung menurun dan terlihat pula laju uap yang terjadi mengalami penurunan, hal ini berakibat pada kondisi kinerja turbin karena pada dasarnya laju uap masuk berpengaruh terhadap efisiensi turbin itu sendiri.

4.7. Hubungan Temperatur Uap dan Tekanan dengan Efisiensi Turbin

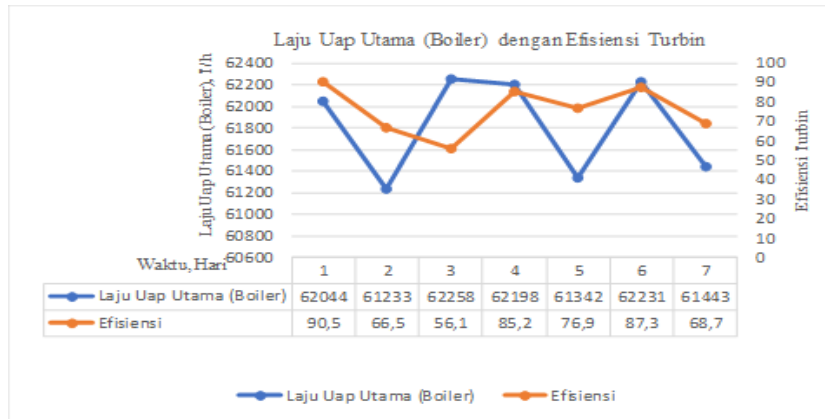


Grafik. 3. Hubungan antara temperatur dan tekanan dengan efisiensi Turbin

Berdasarkan data yang diambil pada tanggal 25 sampai 31 Juli 2020, dalam beberapa parameter yang diambil antara lain laju uap masuk, tekanan turbin, temperatur uap, dapat kita analisa bahwa parameter lainpun memiliki pengaruh terhadap efisiensi turbin

uap condensing, hal ini dapat kita lihat dari grafik diatas bagaimana temperatur dan tekanan juga berpengaruh terhadap efisiensi namun hal yang paling berpengaruh adalah laju uap masuk,

4.8 Hubungan Laju Uap Utama (Boiler) dengan Efisiensi Turbin



Grafik 4. Hubungan antara laju uap utama dengan efisiensi turbin

Berdasarkan data boiler 1 yang diperoleh pada tanggal 25 sampai 31 Juli 2020, terjadi kondisi yang berfluktuasi laju uap yang dihasilkan oleh boiler hal ini berdasarkan kondisi yang di atur oleh nozzle agar menghasilkan nilai kinerja yang baik. Pada hari ke 2, 5 dan 7 terjadi penurunan laju uap hal ini langsung berakibat pada kinerja turbin yang mengalami tren penurunan dan meningkat terbatas kemudian menurun dalam rentang lambat namun konstan.

Jadi dapat disimpulkan bahwa efisiensi di pengaruhi oleh naik turunnya nilai laju uap dan beberapa parameter lainnya.

4 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian di PLTU PT. XXX maka dapat menyimpulkan sebagai berikut :

1. Proses turbin uap khususnya di PT. XXX terdiri dari siklus bahan bakar, siklus uap dan air, dan siklus pembakaran. Peningkatan kerja turbin dipengaruhi nilai laju aliran massa uap yang melewati turbin untuk mencapai nilai maksimum kinerja.
2. Efisiensi turbin sangat dipengaruhi nilai laju aliran uap yang masuk dan nilai potensi panas yang dapat terekstraksi menjadi daya beban, efisiensi turbin juga terpengaruh nilai *heat rate*. Data desain = 99,6%, hari pertama = 90,5%, hari kedua = 66,5%, hari ketiga 56,1% hari keempat 85,2%, hari kelima 76,9%, hari keenam 87,3% dan hari ketujuh 68,7%. Dalam hal kinerja turbin ada beberapa parameter yang dapat atau dinyatakan berpengaruh secara signifikan, antara lain, nilai entalpi, nilai entropi, fraksi uap, kerja actual turbin dan nilai laju uap turbin.
3. Fluktuasi aliran laju uap masuk turbin hal ini masih jauh dibawah kondisi ideal yang seharusnya, hasil ini didapat dari Analisa dan perhitungan daya *output dan input*, dan heat rate, adapun beberapa hal yang dapat menjadi cara untuk mencapai peningkatan terhadap kinerja turbin antara lain dengan mengatur atau memodifikasi *governor* pengatur kecepatan dan tekanan uap akan meningkatkan efisiensi, dan mengatur *mass balance* agar lebih *efektif* dalam menyalurkan uap yang masuk.
4. Efisiensi dari hari pertama sampai ketujuh mengalami fluktuasi baik itu naik maupun turun disebabkan oleh laju uap yang masuk setiap jam berubah, pengaruh laju uap, temperatur, dan tekanan juga berimbas pada nilai entalpi yang dihasilkan.

Referensi

- Jamaludin, I. K. 2017. Analisa perhitungan daya turbin yang dihasilkan dan efisiensi. Edisi1.
- Rayon, P. I. 2001. turbin design data. In *steam dan gas, turbin dan compresore* (p.415). purwakarta jawa barat, Indonesia.
- Arismunandar, W. 1988. *Penggerak mula Turbin* (Vol. 2). Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Michael J. Moran, H. N. 2000. *Fundamentals Of Engineering Thermodynamics* (Vol. 4). (L. Simartama, Ed., & M. P. Ir. Yulianto Sulisty Nugroho, Trans.) Ohio: John Wiley & Sons, Inc.
- William C reynolds, H. C. 1989. *Engineering Thermodynamics (termodinamika teknik)* (Vol. 3). (samino, Ed., & M. D. DR. Ir. Filino Harahap, Trans.) McGraw- Hill, Inc, Erlangga.
- Manan, A. 2015. *Heat and Mass Balance Diagram*. Retrieved from www.pembangkitlistrik.com:https://www.pembangkitlistrik.com/heat-and-mass- balance-diagram.
- H. Jhon 2018. Analisis Perhitungan Heat Rate Pada Turbin Uap Berdasarkan Performa Test Unit 1 di PT. Indonesia Power Uboh Banten 3 Lontar. *motor bakar*, 2.
- Sunarwo, S. 2015. Teknik Energi. *Analisis heat rate pada turbin uap berdasarkan performance test PLTU Tanjung Jati B Unit 3*, 11.
- Wahyudin, B. 2019. *Analisis Efisiensi Turbin Uap Terhadap Kapasitas Listrik*.
- Najamudin, 2016. Menghitung daya yang dihasilkan turbin uap.
- Sofyan, N. P. 2009. Analisa prestasi kerja turbin uap pada pembebanan bervariasi.
- Risqiawan, K. 2013. Studi eksperimen perbandingan pengaruh variasi tekanan inlet turbin dan variasi pembebanan terhadap karakteristik turbin pada *organic rankine cycle*.
- Sheth, M. 2012. *Determining performance of super critical power plant with the help of gate cycle*.
- Ravindra, 2013. *Effect of parameters in once-thorough boiler for controlling reheat steam temperature in supercritical power plant*.
- Hamdani, D. 2017. Analisa Efisiensi Turbin Uap *Back pressure* di PT. XXX.