

Pengaruh Temperatur Air Pendingin Terhadap Efisiensi dan Kinerja Turbin di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Unit 2 Lahendong

Zevanya Daniela Talumesang*, Armstrong Sompotan, Sixtus Iwan Umboh

Fisika, Universitas Negeri Manado, Minahasa, 95619, Indonesia

*E-mail: zevanyadaniela@gmail.com

Diterima 28 April 2022; Disetujui 30 April 2022

ABSTRAK

Air pendingin memiliki peran dalam proses kondensasi uap dari turbin menuju kondensor. Air pendingin berpengaruh untuk menjaga tekanan vakum di dalam kondensor, agar supaya uap yang menuju kondensor terkondensasi secara maksimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya pengaruh variasi dari nilai temperatur air pendingin terhadap efisiensi dan kinerja turbin. Penelitian dimulai dengan meninjau kondisi turbin dan juga spesifikasi turbin termasuk keadaan lingkungan sekitar. Semakin tinggi nilai temperatur air pendingin maka semakin besar efisiensi yang dicapai. Pada saat temperatur air pendingin $29,14^{\circ}\text{C}$ nilai efisiensi turbin adalah sebesar 72% dengan nilai kinerja turbin yang dicapai sebesar 627,568 kJ/kg. Pada saat temperatur air pendingin $30,43^{\circ}\text{C}$ efisiensi turbin yang dicapai sebesar 80% dengan nilai kinerja yang dicapai sebesar 570,994 kJ/kg. Hasil penelitian juga menunjukkan semakin tinggi suhu air pendingin maka nilai kinerja turbin akan menurun dan sebaliknya apabila suhu air pendingin turun maka nilai kinerja turbin akan meningkat.

Kata kunci : Temperatur Air Pendingin, Efisiensi Turbin, Kinerja Turbin, Tekanan Vakum Kondensor

ABSTRACT

Cooling water has a role in the process of condensing steam from the turbine to the condenser. Cooling water has an effect on maintaining the vacuum pressure in the condenser, so that the steam going to the condenser is maximally condensed. This study aims to determine the effect of variations of the cooling water temperature on the efficiency and performance of the turbine.. The research begins by reviewing the turbine conditions and turbine specifications including the surrounding environment. The higher the cooling water temperature, the greater the efficiency achieved. When the cooling water temperature is 29.14°C the turbine efficiency value is 72% with the turbine performance value achieved is 627.568 kJ/kg. When the cooling water temperature is 30.43°C the turbine efficiency achieved is 80% with the performance value achieved is 570,994 kJ/kg. The results also show that the higher the cooling water temperature, the turbine performance value will decrease and vice versa if the cooling water temperature decreases, the turbine performance value will increase.

Keywords : Cooling Water Temperature, Turbine's Efficiency, Turbine's Performance, Vacuum Pressure

1. PENDAHULUAN

Indonesia berada di jalur ring of fire atau jalur gunung api sehingga banyak potensi panas bumi. Panas bumi merupakan sumber energi panas yang terbentuk secara alami di bagian bawah lapisan permukaan bumi. Energi panas bumi dihasilkan dari aktivitas tektonik dan terbentuk pada kerak bumi. Lapangan panas bumi Lahendong adalah satu dari beberapa lapangan panas bumi yang ada di Indonesia. PLTP Lahendong sendiri mampu membangkitkan energi listrik sebesar 4×20 MW.

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) adalah pembangkit listrik yang

memanfaatkan energi panas bumi sebagai energi utama penggerak pembangkit listrik. Pada prinsipnya sama seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), hanya pada PLTU uap dibuat di permukaan menggunakan boiler, sedangkan pada PLTP uap berasal dari reservoir panas bumi. PLTP dirancang untuk menghasilkan output yang berupa energi listrik dalam besaran tertentu. Nilai kinerja dan efisiensi pada turbin akan berpengaruh pada biaya operasi. Kinerja turbin dapat diketahui dengan cara memperhitungkan entalpi masuk turbin dan entalpi keluar turbin. Hasil dari perhitungan kinerja tersebut dapat pula untuk menghitung efisiensi turbin uap.

Temperatur air pendingin dapat mempengaruhi tekanan vakum kondensor yang dimana tekanan vakum kondensor ini dapat mempengaruhi daya, kinerja, dan efisiensi turbin. Oleh karena itu perlu untuk diketahui seberapa besar pengaruh temperatur air pendingin terhadap nilai kinerja dan efisiensi turbin dan mendapatkan grafik perbandingan temperatur air pendingin terhadap kinerja dan efisiensi turbin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya pengaruh variasi dari nilai temperatur air pendingin terhadap efisiensi dan kinerja turbin.

2. KAJIAN LITERATUR

Energi panas bumi ini berasal dari aktivitas tektonik di dalam bumi yang terjadi sejak planet ini diciptakan. Indonesia yang terletak pada jalur ring of fire menguntungkan Indonesia di bidang energi gunung berapi aktif yang menjadi sumber energi panas bumi. Energi panas bumi ini kemudian dimanfaatkan sebagai sumber energi dari pembangkit listrik tenaga panas bumi.

Pembangkit listrik tenaga panas bumi adalah pembangkit listrik yang menggunakan panas bumi (geothermal) sebagai energi penggerakannya. Fluida panas bumi yang telah dikeluarkan ke permukaan bumi mengandung energi panas yang akan dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Apabila fluida panas bumi yang keluar dari kepala sumur berupa dua fasa (fasa uap dan fasa cair) maka terlebih dahulu harus dilakukan proses pemisahan fluida. Proses pemisahan fluida ini dimungkinkan dengan melewati fluida ke dalam separator, sehingga fasa uap akan terpisah dari fasa cair. Fraksi uap yang dihasilkan inilah yang kemudian dialirkan ke turbin.

Temperatur air pendingin mempengaruhi tekanan kondensor atau tekanan keluar turbin. Akan tetapi, temperatur air pendingin ini tidak memiliki kemampuan untuk mengaturnya. Temperatur air pendingin akan berubah bergantung iklim dan lokasi sebuah pembangkit berada. Temperatur air pendingin juga sangat berpengaruh tekanan vakum kondensor dan pengaruhnya signifikan.

Semakin rendah temperatur air pendingin, uap keluaran turbin lebih cepat terkondensasi sehingga tekanan kondensor akan rendah (vakum tinggi). Semakin tingginya tekanan

vakum pada kondensor akan menyebabkan penurunan daya yang dihasilkan. Daya yang dihasilkan dapat diperhitungkan dengan menggunakan nilai laju alir massa dan kinerja turbin. Hasil dari perhitungan kinerja turbin kemudian digunakan untuk memperhitungkan efisiensi turbin uap.

3. METODE PENELITIAN

Lokasi yang dijadikan sebagai tempat penelitian yaitu berada di Desa Tondangow, Kecamatan Tomohon Selatan, Kota Tomohon.

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif dengan perhitungan secara termodinamika. Data yang digunakan merupakan data *logsheet* harian selama 7 hari mulai dari tanggal 1 – 7 September 2020 dan dengan rentang waktu 12 jam mulai dari pukul 08.00 WITA sampai 20.00 WITA. Sebagai data pendukung untuk menghitung nilai efisiensi dan kinerja turbin, penelitian ini menggunakan data operasi langsung (*logsheet*) dengan mengambil laju aliran massa, temperatur masuk turbin, temperatur keluar turbin, tekanan vakum kondensor, dan temperatur air pendingin sebagai parameter ukur. Data tersebut kemudian diolah menggunakan Microsoft Excel. Berikut merupakan tahapan untuk menghitung efisiensi dan kinerja turbin uap:

a. Fraksi Uap

$$x = \frac{(S_2 - S_f)}{S_{fg}} \times 100\% \quad (1)$$

dengan:

x adalah fraksi uap (%)

S_2 adalah entropi uap keluaran turbin (kJ/kg.K).

S_f adalah entropi uap dalam keadaan saturasi cair (liquid) (kJ/kg.K)

S_{fg} adalah entropi perubahan dari air ke gas (kJ/kg.K)

b. Nilai dari h_{2s} didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$h_{2s} = h_f + x \cdot h_{fg} \quad (2)$$

dengan:

h_{2s} = entalpi uap isentropis pada temperatur keluar turbin (kJ/kg).

h_f = entalpi uap dalam keadaan saturasi cair (liquid) (kJ/kg)

x = fraksi uap (%)

h_{fg} = entalpi perubahan dari cair ke gas (kJ/kg).

c. Kinerja turbin didapatkan melalui

perhitungan entalpi uap masuk turbin (h_1) dengan entalpi uap isentropic keluar turbin (h_{2s}). Kinerja turbin dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{kinerja turbin} = h_1 - h_{2s} \quad (3)$$

dengan:

h_1 = entalpi uap pada temperatur uap masuk (kJ/kg).

h_{2s} = entalpi uap isentropis pada temperatur keluar turbin (kJ/kg)

d. Daya masuk (P_{in}) didapatkan dengan mengetahui nilai dari nilai laju alir massa dan kinerja turbin yang dirumuskan secara sistematis melalui persamaan:

$$P_{in} = \dot{m} \times (h_1 - h_{2s}) \quad (4)$$

dengan:

P_{in} = daya input turbin (kW)

$\dot{m}$ = laju alir uap massa (kg/s)

h_1 = entalpi uap pada temperatur uap masuk (kJ/kg).

h_{2s} = entalpi uap isentropis pada temperatur keluar turbin (kJ/kg).

e. Daya keluar (P_{out}) didapatkan dari perhitungan daya yang terbaca dan efisiensi generator. Untuk menghitung daya keluar digunakan persamaan:

$$P_{out} = \frac{P_{generator}}{\eta_{generator}} \quad (5)$$

dengan:

P_{out} = daya output keluar turbin (kW).

$P_{generator}$ = daya yang dibangkitkan oleh generator (kW).

$\eta_{generator}$ = efisiensi generator (%).

f. Efisiensi isentropik turbin didapatkan melalui persamaan:

$$\eta_{isentropik} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (5)$$

dengan:

$\eta_{isentropik}$ = efisiensi isentropis turbin uap (%).

P_{out} = daya output keluar turbin (kW).

P_{in} = daya input turbin (kW).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

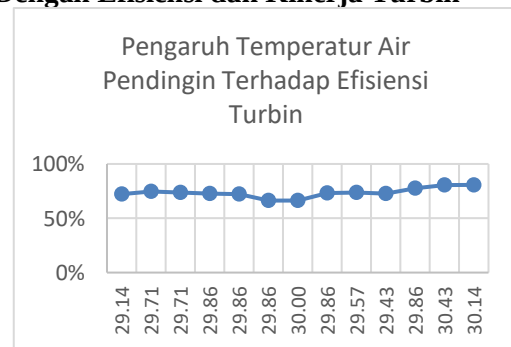
Tabel 1. Data rata-rata operasi harian

Waktu	Temp. Air Pendingin	Beban	Flow	Turbin Inlet		Turbin Outlet	
				T	P	P	T
08.00	29,14	13,43	107,00	170,57	7,5	0,120	52,29
09.00	29,71	14,86	117,14	167,86	7,49	0,136	51,29
10.00	29,71	14,57	116,57	167,29	7,50	0,135	53,00
11.00	29,86	14,29	115,57	166,14	7,50	0,135	52,29
12.00	29,86	14,29	115,86	164,86	7,51	0,135	51,86
13.00	29,86	13,71	120,14	164,57	7,54	0,129	51,29
14.00	30,00	13,71	119,86	165,14	7,56	0,128	51,00
15.00	29,86	14,29	114,57	166,29	7,53	0,133	51,71
16.00	29,57	14,57	116,57	166,71	7,51	0,137	52,14
17.00	29,43	14,00	111,86	167,57	7,53	0,128	51,14
18.00	29,86	18,14	141,71	168,14	7,39	0,155	56,00
19.00	30,43	18,86	147,86	170,00	7,34	0,185	58,29
20.00	30,14	18,86	147,14	170,14	7,33	0,184	58,43
min	29,14	13,43	107,00	164,57	7,33	0,120	51,00
max	30,43	18,86	147,86	170,57	7,56	0,185	58,43
avg	29,80	15,20	122,45	167,33	7,48	0,142	53,13

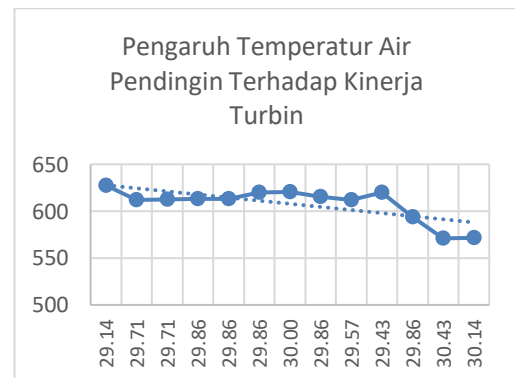
Tabel 2. Perhitungan Efisiensi dan Kinerja Turbin

Waktu	x		h2	Wi	Pturbin	Poutput	Efisiensi
		%					
AM/PM			kJ/kg	kJ/kg	kJ/s	kJ/s	%
08.00 AM	0,8103	81%	2138,07	627,5679	18652,71	13428,57	72%
09.00 AM	0,8144	81%	2153,69	611,8715	19910,10	14857,14	75%
10.00 AM	0,8142	81%	2152,84	612,8017	19843,10	14571,43	73%
11.00 AM	0,8142	81%	2152,71	612,9301	19677,00	14285,71	73%
12.00 PM	0,8141	81%	2152,63	613,0913	19730,84	14285,71	72%
13.00 PM	0,8123	81%	2145,91	619,9701	20690,27	13714,29	66%
14.00 PM	0,8121	81%	2145,56	620,3918	20655,11	13714,29	66%
15.00 PM	0,8135	81%	2150,61	615,1882	19578,61	14285,71	73%
16.00 PM	0,8144	81%	2153,91	611,8145	19811,14	14571,43	74%
17.00 PM	0,8122	81%	2145,71	620,0862	19266,96	14000,00	73%
18.00 PM	0,8193	82%	2171,08	593,921	23379,75	18142,86	78%
19.00 PM	0,8254	83%	2193,76	570,994	23451,54	18857,14	80%
20.00 PM	0,8253	83%	2193,21	571,4716	23357,77	18857,14	81%
Min	0,8103	81%	2138,07	570,994	18652,71	13428,57	66%
Max	0,8254	83%	2193,76	627,568	23451,54	18857,14	81%
Avg	0,8155	82%	2157,67	607,854	20615,76	15197,80	74%

Hubungan Temperatur Air Pendingin Dengan Efisiensi dan Kinerja Turbin



Gambar 1. Grafik Temperatur Air Pendingin Terhadap Efisiensi Turbin



Gambar 2. Grafik Temperatur Air Pendingin Terhadap Kinerja Turbin

Gambar 1 dan 2 di atas merupakan grafik efisiensi dan kinerja turbin terhadap temperatur air pendingin. Nilai temperatur air pendingin paling besar adalah sebesar 30,43°C yang memiliki nilai efisiensi turbin sebesar 80%. Nilai temperatur air pendingin paling rendah yaitu sebesar 29,14°C yang memiliki nilai efisiensi turbin sebesar 72%. Ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu air pendingin maka nilai efisiensi yang dihasilkan semakin besar. Nilai efisiensi paling baik dicapai pada malam hari yaitu pada pukul 20.00 dengan nilai efisiensi sebesar 82%. nilai efisiensi tersebut dapat dikatakan baik karena masih berada dalam toleransi efisiensi turbin uap untuk pembangkit panas bumi yaitu 81% – 85%. Adapun yang mempengaruhi efisiensi turbin, yaitu adanya penurunan kualitas dari system pendinginnya. Nilai tekanan kondensor yang semakin tinggi dapat mengakibatkan penurunan efisiensi turbin uap.

Berdasarkan Gambar 2, ditunjukkan fitting data kinerja turbin terhadap temperatur air pendingin. Dari grafik diatas, dapat dilihat nilai kinerja turbin paling besar berada pada nilai temperatur air pendingin sebesar 29,14°C yang mana merupakan nilai temperatur air pendingin paling rendah. Untuk nilai kinerja turbin paling rendah berada pada nilai temperatur air pendingin sebesar 30,43°C yang mana merupakan nilai temperatur air pendingin paling besar. Hal ini berarti semakin tinggi suhu air pendingin maka nilai kinerja turbin akan menurun dan sebaliknya apabila suhu air pendingin turun maka nilai kinerja turbin akan meningkat. Penurunan nilai kinerja turbin disebabkan oleh kenaikan nilai entalpi keluar turbin uap, kenaikan ini salah satunya disebabkan oleh temperatur air pendingin yang mempengaruhi besarnya nilai tekanan vakum kondensor sehingga proses kondensasi uap pada kondensor kurang baik.

PLTP Lahendong Unit 2 di desain dengan kapasitas terpasang 1×20 MW untuk kandungan NCG (*Non-Condensable Gas*) sebesar 1% akan tetapi keadaan dilapangan ketika uap dialirkan ke sistem besar kandungan NCG mencapai 2% – 3%. Ejektor yang berfungsi menjaga kevakuman dalam kondensor dengan mengeluarkan secara kontinu gas-gas yang tidak terkondensasi hanya untuk mengeluarkan kandungan NCG sebesar 1%. Kondisi ini mengakibatkan sistem tidak mampu bekerja dengan baik untuk

mengeluarkan NCG lebih dari 1% sehingga sistem harus menurunkan jumlah aliran uap yang masuk pada turbin yang berakibat turunnya daya *output*/beban yang dihasilkan pembangkit dan menurunkan nilai efisiensi turbin.

Perbandingan Efisiensi Kinerja Turbin Pada Nilai Temperatur Air Pendingin Paling Tinggi dan Paling Rendah

Nilai temperatur air pendingin paling tinggi adalah 30,43°C di malam hari atau pada pukul 19.00 PM. Nilai temperatur air pendingin naik pada malam hari, sehingga nilai efisiensi turbin yang dicapai adalah 80%. Nilai temperatur air pendingin paling rendah adalah 29,14°C di pagi hari atau pada pukul 08.00AM. Nilai efisiensi yang tercapai sebesar 72%. Besarnya nilai selisih efisiensi turbin untuk nilai temperatur air pendingin paling besar dan paling kecil adalah sebesar 9%. Selisih antara temperatur air pendingin tertinggi dan terendah adalah sebesar 1,29°C. Efisiensi turbin paling tinggi dicapai pada temperatur air pendingin bernilai sebesar 30,14% dengan nilai efisiensi sebesar 81%. Efisiensi paling rendah dicapai pada temperatur air pendingin bernilai sebesar 29,86% dan 30,00%.

5. KESIMPULAN

1. Semakin tinggi nilai temperatur air pendingin maka semakin besar efisiensi yang dicapai. Semakin tinggi nilai temperatur air pendingin, maka semakin kecil nilai kinerja turbin.
2. Temperatur air pendingin paling tinggi terdapat pada malam hari dengan nilai sebesar 30.43°C dengan nilai efisiensi turbin sebesar 80% dan nilai kinerja turbin sebesar 570,994 kJ/kg. Temperatur air pendingin paling rendah terdapat pada pagi hari dengan nilai sebesar 29,14°C dengan nilai efisiensi yang dicapai sebesar 72% dan nilai kinerja turbin yang dicapai sebesar 627,568 kJ/kg. Perbandingan antara efisiensi paling tinggi dan paling rendah adalah sebesar 9%.

6. REFERENSI

- Atoni, & Mahmud, K. H. (2015). Pengaruh Variasi Temperatur Air Pendingin Kondensor Terhadap Tekanan Pada

- Beban Tetap. Jurnal Integrasi Sistem Industri UMJ , 2.
- Saptadji, N. M. (2001). Teknik PanasBumi. Institut Teknologi Bandung.
- Wardhani, F. K., Kirom, M. R., & Herman, D. (2020). Analisis Cooling Water Temperatur Terhadap Performa Turbin Uap Di PT Geo Dipa Energi (PERSERO) Unit Patuha. e-Proceeding of Engineering, 7, pp. 1102-1105.
- Srinivasan, R. (2003). Optimum Condenser Cooling Water Temperature Rise in Power Plants. International Joint Power Generation Conference collocated with TurboExpo 2003.