

TURBINE GENERATOR EFFICIENCY ANALYSIS IN GEOTHERMAL POWER PLANT PT GEODIPA ENERGI UNIT DIENG

Alfian Hardi Qurrahman^{1*}, Wahyu Wilopo²⁾, Himawan Tri Bayu³⁾

^{*}Master Of Systems Engineering, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Jl. Teknik Utara, No.3, Berek, Kocoran, Caturtunggal, Kec. Depok, Kabupaten Sleman,
Daerah Istimewa Yogyakarta 55281
E-mail: ¹alfian.hardiq@gmail.com

Abstract

The Geothermal power plant at PT Geodipa Dieng has been operating for more than 10 years. It has undergone for several improvements including the replacement of turbines where to increase turbine efficiency. Before changing the turbine, the efficiency of turbine has decreased due to several factors, such as decrease in load, maintenance, usage, the lifetime etc. Therefore it needs to be analyzed the efficiency of the turbine to find out whether the turbine is still feasible or not, and to find out whether it has necessary to replace the turbine again. The result of the turbine generator efficiency are obtained in one year from April 2017 to March 2018 with an average value of 70-85%. Based on the literature, the value is still at the turbine efficiency standard in general, which is 60-80%. So the turbines can still be categorized reliably and do not need to be changed.

Keywords: *Geothermal, Efficiency turbine, Geodipa Dieng*

1. Pendahuluan

Energi fosil masih menjadi pilihan utama di berbagai negara di dunia di dalam hal pembangkit tenaga listrik. Negara-negara tersebut tidak sedikit pula yang melakukan persaingan untuk mendapatkan energi fosil tersebut. Namun semakin berjalannya waktu energi fosil semakin ditinggalkan karena adanya energi terbarukan, salah satunya adalah energi panas bumi. Energi panas bumi merupakan alternatif yang sedang diminati oleh negara-negara di dunia untuk menggantikan energi fosil di dalam hal pembangkit tenaga listrik. Ada beberapa di dunia yang telah memanfaatkan energi panas bumi yaitu Prancis, Italy, Inggris, Jepang, dan bahkan Indonesia

Indonesia merupakan negara yang mempunyai energi panas bumi terbesardi dunia yaitu sebesar 40% dari cadangan panas bumi yang ada di dunia. Panas bumi di Indonesia tersebar di sepanjang jalur lempeng tektonik, mengikuti cincin gunung api. Terhitung sebanyak 312 titik potensi panas bumi yang tersebar di sepanjang pulau Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi Utara dan Maluku Utara dengan potensi mencapai 28.910 MW dengan total cadangan 16.524 Mw dan kapasitas terpasang masih mencapai 1.403 Mw (MEMR, 2015).

Panas bumi yang terpasang harus terus ditingkatkan dan untuk yang telah terpasang harus terus dijaga agar tidak terjadi pengurangan daya yang terpasang, hal ini dapat dilakukan dengan terus melakukan monitoring dan pemeliharaan dari semua komponen pembangkit listrik tenaga panas bumi tersebut, salah satu komponen yang paling penting untuk terus dilakukan pemeliharaan adalah turbin generator. Turbin generator merupakan komponen yang menghasilkan listrik, komponen tersebut mengkonversi energi panas dari sumber panas bumi menjadi energi listrik.

Konversi energi panas ke energi listrik akan semakin baik ketika efisiensi turbin tersebut semakin baik, efisiensi turbin penting untuk diperhatikan dan terus dimonitoring karena

ketika efisiensi turbin kecil maka aliran massa yang masuk turbin akan semakin besar. Oleh karena itu efisiensi turbin harus terus dalam keadaan handal agar aliran massa yang masuk turbin tidak besar, dan agar daya yang dihasilkan dari aliran massa yang tidak terlalu besar tersebut maksimal. Saat turbin sudah tidak handal maka perlu dilakukan perawatan bahkan perlu dilakukan pergantian termasuk pergantian turbin yang dilakukan oleh PT Geodipa Dieng, untuk meningkatkan daya yang dihasilkan perlu dilakukan pergantian turbin. Pada tahun 2014 daya yang dihasilkan generator sebesar 21,71 Mw (Agung, Itoi, Jalilinasrabady, & Jaelani, 2014), pada tahun 2018 daya yang dihasilkan dapat meningkat karena adanya pergantian turbin yang dilakukan PT tersebut.

2. Metodologi penelitian

2.1 Dasar Teori

2.1.1 *Mass Balance*

Di dalam suatu sistem tertutup massa dari suatu aliran dianggap konstan sehingga diberikan oleh persamaan berikut (Loh, 1968).

$$\frac{d}{dt} \int_V p dV = 0$$

Dimana V adalah volume dan p adalah kerapatan massa.

2.1.2 *Energy Balance*

Pada pertengahan abad 19 ditemukan sebuah fakta bahwa energi kinetik dan energi potensial dapat diubah menjadi energi panas tanpa merubah nilai dari kedua energi tersebut, penemuan tersebut sampai saat ini terkenal dengan sebutan hukum termodinamika pertama yaitu “Jumlah kalor pada suatu sistem ialah sama dengan perubahan energi di dalam sistem tersebut ditambah dengan usaha yang dilakukan oleh sistem” (Loh, 1968)

2.1.3 Efisiensi Generator

Efisiensi panas dari sistem pembangkit listrik didefinisikan sebagai rasio daya keluaran bersih dan panas yang dilepaskan dari sumber energi panas bumi, yang didefinisikan sebagai persamaan berikut (Yao, Zhang, & Yu, 2018)

$$\eta_{system} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_w}$$

\dot{W}_{net} dan \dot{Q}_w dapat ditulis dengan persamaan berikut ini

$$\dot{Q}_w = \dot{m}_w (h_{w1} - h_{w2})$$

$$\dot{W}_{net} = \sum \dot{W}_E - \dot{W}_P$$

Dimana:

η_{system} = efisiensi panas dari sistem

\dot{W}_{net} = Daya keluaran bersih (kW)

\dot{Q}_w = Aliran panas dari *geothermal water*

\dot{W}_E = Daya keluaran *expander* (kW)

\dot{W}_P = Daya keluaran *pump* (kW)

\dot{m}_w = laju aliran massa (kg/s)

h_{w1} = entalpi spesifik dari *geothermal water 1* (Kj/kg)

h_{w2} = entalpi spesifik dari *geothermal water 2* (Kj/kg)

2.2 Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan berupa data primer dan data sekunder. Data primer di dapatkan melalui pengukuran langsung di PT Geodipa Dieng yang berupa data suhu dan tekanan pada turbin milik pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) milik PT Geodipa Dieng.

Data sekunder dikumpulkan dari sumber-sumber data yang dianggap relevan dengan penelitian ini yaitu berupa paper-paper dan data literature terdahulu.

2.3 Pemrosesan data

Pengolahan parameter suhu dan tekanan dengan cara interpolasi menggunakan *steam table* untuk mendapatkan nilai volume spesifik, energi dalam, entalpi dan entropi pada setiap komponen turbin milik PT Geodipa Dieng

Pengolahan data *flow rate* dan entalpi pada turbin generator untuk mendapatkan nilai efisiensi dari turbin generator. Setelah mendapatkan nilai efisiensi turbin maka dianalisis apakah nilai tersebut masih sesuai dengan referensi atau literatur yang didapatkan pada pengumpulan data sekunder. Dari nilai efisiensi tersebut dapat dilihat juga apakah turbin tersebut masih handal atau tidak sesuai referensi

3. Hasil & Pembahasan

3.1 Data Penelitian

Data yang diambil berupa data suhu dan tekanan pada turbin dalam waktu satu tahun, Tabel 1 merupakan beberapa data suhu dan tekanan pada turbin PT Geodipa Dieng baik input maupun Output.

Data tersebut selanjutnya diolah untuk didapatkan nilai entalpi, entropi dll, yang selanjutnya bersama dengan *flowrate* nilai entalpi dan entropi akan digunakan untuk mencari nilai efisiensi turbin.

Tabel 1. Data Penelitian

No	Date	flow rate	Turbin			
			input		Output	
			Suhu	Tekanan	Suhu	Tekanan
Satuan	ton/hr	C	bar	C	bar	
1	31/03/2018	328	155	8,2	42,7	-0,52
2	29/03/2018	358	152	8,4	42,6	-0,51
3	02/02/2018	331	150	8,6	42	-0,61
4	02/01/2018	352	152	8,3	42,4	-0,55
5	01/01/2018	349	143	8,4	41,6	-0,58
6	02/12/2017	364	142	8,4	42,6	-0,6
7	01/12/2017	358	140	8,3	42,3	-0,61
8	02/11/2017	337	142	8,4	41,3	-0,56
9	01/11/2017	330	144	8,2	40,3	-0,62
10	02/10/2017	278	151	8,4	40,4	-0,64
11	01/10/2017	256	140	8,5	39,7	-0,66
12	02/09/2017	329	152	8,5	40,9	-0,62
13	01/09/2017	313	151	8,5	40,6	-0,61
14	04/08/2017	330	151	8,4	43,1	-0,56
15	03/08/2017	320	139	8	42,1	-0,57
16	02/07/2017	311	139	8,2	41,8	-0,61
17	01/07/2017	314	132	8,4	41	-0,61
18	02/06/2017	324	125	8,3	43	-0,64
19	01/06/2017	321	124	8,3	43,2	-0,63
20	02/05/2017	344	134	8,3	41,8	-0,59
21	01/05/2017	335	137	8,4	42,4	-0,6
22	02/04/2017	283	132	8,3	40,3	-0,64
23	01/04/2017	301	138	8,4	41	-0,65

3.2 Perhitungan *Mass Balance*

Berikut ini adalah contoh pengolahan neraca massa pada turbin. Perhitungan ini dilakukan untuk melihat bahwa tidak ada massa yang hilang saat proses turbin berlangsung atau bekerja sehingga efisiensi pada turbin benar-benar berasal dari aliran massa yang masuk dan yang keluar turbin

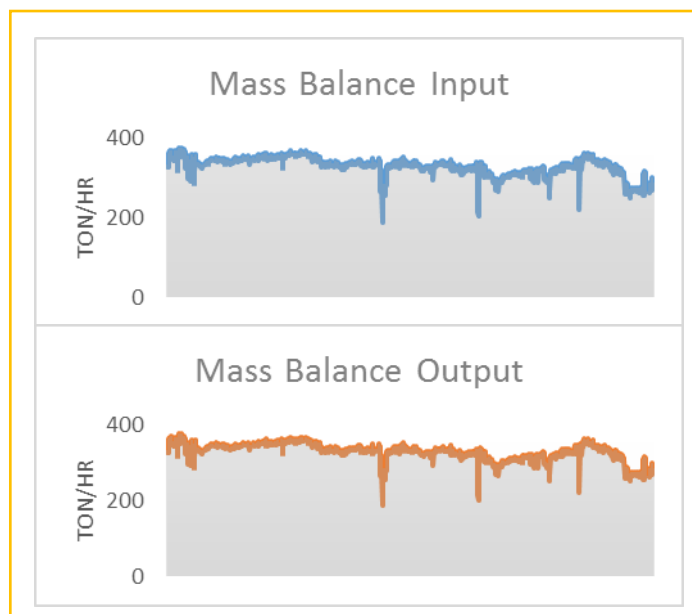
Dengan asumsi fluida masuk turbin adalah *steam* dan keluaran turbin terdiri dari *steam* dan kondensat, maka didapat:

$$\begin{aligned}
 \text{Laju alir } \textit{steam} \text{ masuk turbin} &= 341,725 \text{ ton/jam} \\
 \textit{Steam} \text{ keluaran turbin} &= 0,7949 \times 341,725 \text{ ton/jam} = 271,631 \text{ ton/jam} \\
 \text{Kondensat keluaran turbin} &= 0,2051 \times 341,725 \text{ ton/jam} = 70,094 \text{ ton/jam} \\
 \text{Total laju alir keluaran turbin} &= 341,725 \text{ ton/jam}
 \end{aligned}$$

Tabel 2. Neraca Massa di Turbin

Komponen	Input (ton/h)	Output (ton/h)
	F1	F2
Uap	341,725	271,631
Air	-	70,094
Jumlah	341,725	341,725

Adapun neraca massa dengan perhitungan data dalam waktu satu tahun yaitu seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Neraca massa

Nilai *mass balance* yang yang diperoleh merupakan nilai *mass balance* yang terjadi di dalam turbin, nilai tersebut dipengaruhi oleh *flowrate* dari fluida dan kandungan fraksi uap pada turbin, dengan asumsi fluida yang masuk turbin berupa *steam* dan yang keluar turbin berupa *stem* dan kondensat.

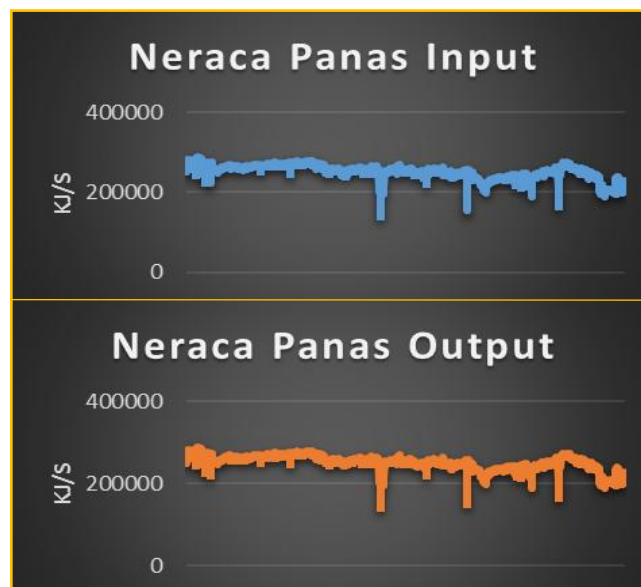
3.3 Perhitungan Neraca energi

Energi balance yang ditinjau berupa energi panas yang masuk pada turbin dimana energi panas tersebut didapatkan dari perbandingan panas yang masuk dan panas yang keluar turbin. Panas yang masuk berupa *steam* yang dihitung dengan mengalikan *flowrate* dan nilai entalpi panas dalam wujud uap. Panas yang keluar turbin berupa *steam* dan kondensat yang dihitung dengan menjumlahkan beberapa panas yaitu panas dari air, panas dari uap, panas laten dan panas yang terpakai (panas mekanik). Tabel 3 menunjukkan salah satu contoh perhitungan neraca panas pada tanggal 31 maret 2018.

Tabel 3. Neraca Panas di Turbin

Komponen	In (kJ/s)	Out (kJ/s)
	Q1	Q2
Air	-	785,998
Uap	250774,222	3437,39
Panas Laten	-	59570,3
Panas Energi	-	186980,571
Jumlah	250774,222	250774,222

Gambar 2. menunjukkan nilai neraca panas pada PLTP Geodipa Energi unit dieng dalam waktu satu tahun dari april 2017 sampai maret 2018. Dengan mengetahui neraca panas kita dapat mengetahui bahwa tidak ada panas yang berasal dari lingkungan dan yang menuju lingkungan sehingga efisiensi dari turbin tidak terpengaru oleh kehilangan panas karena lingkungan dan menuju lingkungan.



Gambar 2. Neraca Panas

3.4 Perhitungan Efisiensi Turbin

Proses yang berlangsung di dalam turbin adalah ekspansi isentropik sehingga entropi masuk turbin sama dengan entropi keluar turbin. Besarnya fraksi uap dan kondensat yang keluar turbin dapat dihitung berdasarkan data entropi cair (S_f) dan entropi gas (S_g) pada kondisi *outlet* turbin

Efisiensi turbin generator merupakan perbandingan antara daya kotor yang masuk turbin

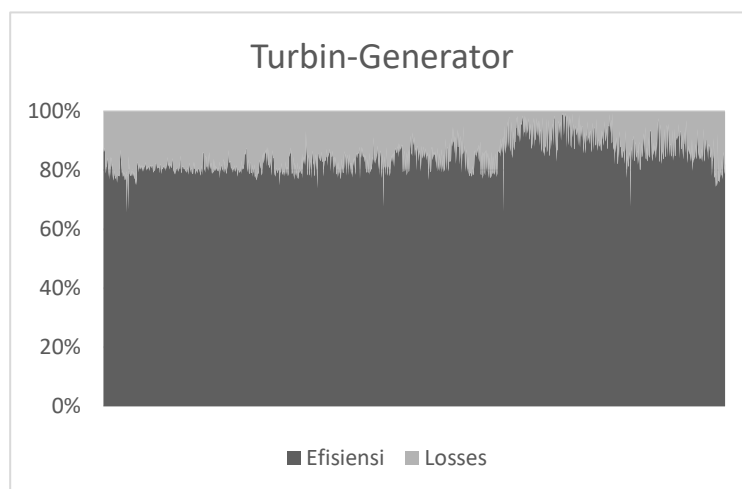
dan daya keluaran bersih dari generator, hal ini dikarenakan turbin dikopel dengan generator dan bekerja secara bersama-sama. Berikut ini merupakan salah satu contoh perhitungan efisiensi turbin. Tabel 4. menunjukkan hasil interpolasi dari *Steam Table*

Tabel 4. Data *Saturated Steam Table* pada Tekanan *Outlet* Turbin

Tekanan (bar)	Hg (kJ/kg)	Hf (kJ/kg)	Sg (kJ/kg. K)	Sf (kJ/kg. K)
0,075	2573,9	168,74	8,2494	0,57625
0,0988	Hg2	Hf2	Sg2	Sf2
0,1	2583,8	191,83	8,1482	0,64926

$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{Turbin}} &= \frac{W_s}{W_{\text{isentropik}}} \\
 &= \frac{46,075}{64,7459} \times 100\% \\
 &= 71,16\%
 \end{aligned}$$

Efisiensi menunjukkan seberapa besar daya yang mampu dikonversi oleh generator dari inputan energi yang ada. Besarnya efisiensi turbin-generator pada pembangkit listrik tenaga panas bumi PLTP Geodipa Energi Unit Dieng. Gambar 3 menunjukkan besarnya nilai efisiensi turbin-generator pada PLTP Dieng.



Gambar 3. Efisiensi Turbin Geodipa

Nilai efisiensi turbin-generator PLTP Dieng pada Gambar 3. rata-rata bernilai diatas 70% dan di bawah 85%. Pada kondisi terendah efisiensi dari pembangkit tersebut masih berada di angka 60% hal ini masih sesuai dengan nilai efisiensi yang ditunjukkan oleh studi literatur yaitu sebesar 60-80%. (Zarrouk & Moon, 2014). Kondisi terendah pada sistem tersebut terjadi ketika *flowrate* yang masuk pada turbin nilainya sangat kecil, dan berada di bawah nilai yang seharusnya dapat ditampung oleh suatu turbin. Nilai efisiensi yang melebihi 90% disebabkan oleh *flowrate yang* lebih besar dari yang seharusnya ditampung oleh turbin. Secara garis besar nilai efisiensi seharusnya tidak dipengaruhi oleh besarnya *flowrate*, besarnya *flowrate* yang masuk pada turbin hanya menunjukkan kemampuan turbin dalam menampung uap panas dari separator, semakin besar daya tampung turbin maka hasil yang

diolah turbin menjadi daya akan semakin besar, begitupula sebaiknya

4. Kesimpulan

1. Nilai efisiensi turbin PLTP Geodipa Dieng masih sesuai dengan referensi atau studi literature PLTP pada umumnya dengan nilai 70-85%.
2. Efisiensi turbin PT Geodipa Dieng dapat dikatakan masih handal karena masih berada di atas nilai referensi atau studi literatur yaitu 60-80%

Daftar Pustaka

- [1] Pambudi, N. A., Itoi, R., Jalilinasraby, S., & Jaelani, K. (2014). Exergy analysis and optimization of Dieng single-flash geothermal power plant. *Energy Conversion and Management*, 78, 405-411.
- [2] Loh, W. H. T. (1968). *Fundamentals of Thermodynamics and Aerothermodynamics*. In *Jet, Rocket, Nuclear, Ion and Electric Propulsion* (pp. 3-116). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [3] Energi, K., & Mineral, S. D. (2015). *Rencana Strategis Kementerian ESDM Tahun 2015-2019*.
- [4] Yao, S., Zhang, Y., & Yu, X. (2018). Thermo-economic analysis of a novel power generation system integrating a natural gas expansion plant with a geothermal ORC in Tianjin, China. *Energy*, 164, 602-614.
- [5] Zarrouk, S. J., & Moon, H. (2014). Efficiency of geothermal power plants: A worldwide review. *Geothermics*, 51, 142-153.

