

EVALUASI PERHITUNGAN EFISIENSI TURBIN PADA GENERATOR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI DIENG

Cokorda Gede Astika¹, Luchis Rubianto¹, Maulana Erryan Yavianda²

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

² PLTP Dieng, Jl. Dieng, Karangtengah 53456, Kabupaten Banjarnegara, Indonesia

tjokdeas@gmail.com; [luchis.rubianto@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Energi panas bumi adalah energi yang terdapat dalam air panas, uap, mineral, beserta gas lainnya. Pemanfaatan energi ini dilakukan melalui Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi. Energi panas bumi dimanfaatkan karena dapat menghasilkan panas alami dalam bentuk uap yang dapat menggerakkan turbin. Proses pembuatan energi listrik dari panas bumi tidak berbeda jauh dengan pembangkit listrik tenaga uap yaitu menggunakan turbin sebagai alat penghasil listrik. Turbin memanfaatkan kecepatan aliran *steam*. Aliran *steam* yang mengalir melalui sudu-sudu mengalami perubahan momentum, yang menghasilkan tekanan yang mendorong sudu dan menyebabkan *runner* berputar. Terjadi transformasi energi kinetik menjadi energi mekanis pada turbin, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai penggerak generator dan menghasilkan energi listrik. Perubahan energi ini berlangsung di sudu-sudu turbin. Untuk meningkatkan efektivitas kerja dari pembangkit listrik, penting untuk melakukan analisis guna mendapatkan besarnya nilai sesungguhnya dan ideal dari turbin. Efisiensi diukur untuk membandingkan antara nilai sesungguhnya yang dihasilkan dan nilai yang semestinya dihasilkan dari turbin. Perhitungan efisiensi turbin mencakup *flowrate*, suhu, *pressure*, daya yang dihasilkan, dan entalpi panas yang dihasilkan oleh *steam*. Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai rata-rata efisiensi turbin generator PLTP Dieng berada di atas 84%. Hal tersebut menunjukkan bahwa turbin generator PLTP Dieng masih bekerja dengan baik.

Kata Kunci: efisiensi, listrik, panas, steam, turbin

ABSTRACT

Geothermal energy is the energy found in hot water, steam, minerals, and other gases. The utilization of this energy is carried out through Geothermal Power Plants. Geothermal energy is utilized because it can produce natural heat in the form of steam that can drive turbines. The process of generating electricity from geothermal energy is not much different from steam power plants, which use turbines as the electricity-generating device. The turbine utilizes the velocity of the steam flow. The steam flow passing through the blades experiences a change in momentum, generating pressure that pushes the blades and causes the runner to rotate. There is a transformation of kinetic energy into mechanical energy in the turbine, which is then utilized as a driver for the generator and produces electrical energy. This energy transformation occurs in the turbine blades. To improve the operational effectiveness of the power plant, it is important to conduct an analysis to obtain the actual and ideal values of the turbine. Efficiency is measured to compare the actual value produced with the value that should ideally be produced by the turbine. The calculation of turbine efficiency includes flowrate, temperature, pressure, power generated, and the heat enthalpy produced by the steam. From the calculation results, the average efficiency value of the PLTP Dieng turbine generator is above 84%. This indicates that the PLTP Dieng turbine generator is still operating well.

Keywords: efficiency, electric, heat, steam, turbine



1. PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan teknologi, kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat dalam berbagai aktivitas manusia. Namun, hingga kini, energi listrik belum memiliki pengganti yang setara, sementara alternatif yang dicari adalah energi primer untuk penggerak utama dalam pembangkit listrik [1]. Oleh karena itu, permintaan terhadap energi listrik terus berkembang seiring dengan meningkatnya perekonomian dan kuantitas penduduk. PLN (Perusahaan Listrik Negara) berfungsi sebagai pemasok dan pengelola energi listrik di Indonesia, tetapi hingga sekarang belum bisa memenuhi kebutuhan masyarakat akan energi listrik [2]. Hal ini disebabkan oleh dominasi pembangkit listrik berbasis tenaga uap yang masih bergantung pada batu bara sebagai bahan bakar utama [3]. Batu bara adalah sumber daya alam yang tidak terbarukan, sehingga akan habis seiring waktu dan tidak dapat digunakan lagi [4]. Saat ini, pemerintah berusaha mengurangi keterikatan pada batu bara dan berganti menjadi energi terbarukan, seperti panas bumi sebagai sumber utama dalam produksi energi listrik. Panas bumi merupakan salah satu sumber cadangan bahan baku yang digunakan untuk mengurangi keterikatan pada energi tidak terbarukan yang terbatas [5]. Energi panas bumi adalah sumber energi yang terkandung dalam air panas, uap air, batuan mineral dan gas lainnya, pemanfaatannya untuk Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi. Indonesia memiliki potensi besar untuk menghasilkan energi panas bumi karena memiliki banyak gunung berapi aktif yang tersebar di hampir kepulauan nusantara [6]. Energi panas bumi yang dihasilkan oleh gunung-gunung api aktif di Indonesia berkisar 27 GWe, hal tersebut berkaitan dengan letak lokasi geologis Indonesia yang memiliki banyak gunung berapi aktif [7]. Panas bumi digunakan karena mampu menghasilkan panas alami berupa *steam* yang mampu menggerakan turbin[8]. Indonesia adalah negara yang memiliki banyak gunung api aktif dan dapat digunakan sebagai sumber penyedia panas bumi untuk keperluan pembangkit listrik[9]. Proses pembuatan energi listrik dari panas bumi tidak berbeda jauh dengan pembangkit listrik tenaga uap yaitu menggunakan turbin sebagai alat penghasil energi listrik [10].

Turbin memanfaatkan kecepatan aliran *steam* untuk menghasilkan energi listrik. *Steam* yang bergerak melalui sudu-suudu mengalami perbedaan momentum, yang menghasilkan tekanan yang mendorong sudu dan menyebabkan *runner* bergerak [11]. Di sini, terjadi transformasi energi kinetik menjadi energi mekanis dalam turbin, yang digunakan untuk mengaktifkan generator dan menghasilkan energi listrik. Perubahan energi ini berlangsung pada sudu-suudu turbin [12]. Untuk meningkatkan efektivitas operasional dari sebuah pembangkit listrik, penting untuk melakukan analisis guna mengetahui besarnya nilai sesungguhnya dan terbaik yang dihasilkan oleh turbin [13]. Efisiensi didefinisikan sebagai rasio antara nilai sesungguhnya yang dihasilkan dan nilai terbaik dari turbin. Dengan analisis efisiensi ini, dapat ditentukan apakah turbin masih berjalan dengan optimal berdasarkan nilai sesungguhnya yang dihasilkan. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan Qurrahman, dkk. (2019) diperoleh hasil efisiensi turbin pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Dieng yaitu sebesar 70-85% [14]. Efisiensi tersebut telah sesuai dengan literatur yang menyatakan jika efisiensi turbin berjalan baik pada efisiensi lebih dari 60% [15]. Namun efisiensi turbin setiap hari selalu berganti, oleh karena itu perlu adanya pengecekan skala berkala untuk meminimalisir kerusakan pada turbin dan memastikan efisiensi turbin tetap stabil dan baik.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini mencakup pengumpulan data dan perhitungan yang akan memperlihatkan kinerja efisiensi turbin yang dipergunakan di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Dieng. Beberapa perhitungan perlu dilakukan untuk menentukan nilai efisiensi. Perhitungan ini dilakukan dengan memanfaatkan data mengenai *pressure*, suhu, *flowrate*, dan kapasitas daya yang dihasilkan dari turbin di pembangkit listrik tenaga panas bumi Dieng.

2.1 Data Pengamatan

Berikut merupakan data yang diperoleh dari turbin PLTP Dieng:

Tabel 1. Data suhu dan *pressure* turbin PLTP Dieng

Tanggal	<i>Steam Inlet Turbin</i>		<i>Steam Outlet Turbin</i>	
	P (bar)	T (°C)	P (bar)	T (°C)
23/11/2024	8,152637164	174,9322866	0,10303502	45,2302932
24/11/2024	8,155457815	175,3468272	0,09968616	44,6854044
25/11/2024	8,242691358	175,4328054	0,10081225	44,8202451
26/11/2024	8,244835218	175,3310140	0,10223115	45,0194409
27/11/2024	8,195642789	175,3489024	0,09924893	44,6142794
			3	3
				44,7748133
28/11/2024	8,107956568	174,9706268	0,10035487	3
			0,09243753	41,8459218
29/11/2024	7,917053541	174,5669759	8	3
			0,09319294	41,8434982
30/11/2024	7,983302911	174,6814575	7	3
			0,09353563	41,9756240
01/12/2024	8,062268098	174,4957072	9	8
			0,09400103	41,9557787
02/12/2024	8,036019961	174,4327749	7	6
				42,0113245
03/12/2024	8,150684992	174,9160767	0,09397015	6
			0,09364718	41,9850362
04/12/2024	7,959941705	174,5023346	2	1
			0,09458020	42,0842768
05/12/2024	8,073495229	174,5874786	1	4
			0,09697946	43,2958413
AVERAGE	8,098614411	174,8880975	9	1

Tabel 2. Data *flowrate* dan daya turbin PLTP Dieng

Tanggal	<i>Flowrate Steam</i> (ton/hr)	Daya (MW)
23/11/2024	345,899211	58,52
24/11/2024	371,296163	56,87
25/11/2024	368,177419	58,87
26/11/2024	377,864563	57,42
27/11/2024	375,892242	57,21

Tanggal	Flowrate Steam (ton/hr)	Daya (MW)
28/11/2024	370,775370	56,75
29/11/2024	369,096029	57,10
30/11/2024	367,596191	55,76
01/12/2024	367,549001	57,56
02/12/2024	371,539439	57,71
03/12/2024	376,417684	57,71
04/12/2024	372,5665792	58,28
05/12/2024	372,9747721	58,42
AVERAGE	369,8188203	58,7

2.2 Perhitungan Data

Perhitungan neraca massa

$$A = A\% \times m \quad (1)$$

$$B = B\% \times m \quad (2)$$

dimana:

A = *Steam* keluar turbin (kg/s)

B = Kondensat keluar turbin (kg/s)

A% = Fraksi *steam* keluar turbin

B% = Fraksi kondensat keluar turbin

m = *Flowrate* uap masuk turbin (kg/s)

Tabel 3. Neraca massa pada turbin PLTP Dieng

Komponen	Input (ton/hr)	Output (ton/hr)
Uap	369,8188203	294,3628534
Air	-	75,45596683
Jumlah	369,8188203	369,8188203

Perhitungan neraca panas

$$Q_{loss} = Q_{input} - Q_{output} \quad (3)$$

$$Q_{loss} = Q_{uap} - (Q_{steam} + Q_{kondensat}) \quad (4)$$

$$Q_{loss} = ((m \times C_p \times \Delta T) + (m \times \lambda)) - ((A\% \times m \times C_p \times \Delta T) + (B\% \times m \times \lambda)) \quad (5)$$

dimana:

Q = Kalor (kJ/s)

A% = Fraksi *steam* keluar turbin

B% = Fraksi kondensat keluar turbin

m = *Flowrate* uap masuk turbin (kg/s)

C_p = *Heat capacity* (kJ/kg°C)

ΔT = Perbedaan suhu fluida (°C)

λ = Lambda panas laten (J/kg)

Tabel 4. Neraca panas *steam* PLTP Dieng

Komponen	Q_{input} (kJ/s)	Q_{output} (kJ/s)
Uap	249722,84	202026,90
Air	-	1602,508
Energi Panas	-	46093,44
Total	249722,84	249722,84

Perhitungan efisiensi turbin

$$\eta = (P / (\Delta H \times m)) \times 100\% \quad (6)$$

dimana:

η = Efisiensi turbin (%)

P = Daya yang dihasilkan (MW)

ΔH = Entalpi panas

m = *Flowrate* uap masuk turbin (kg/s)

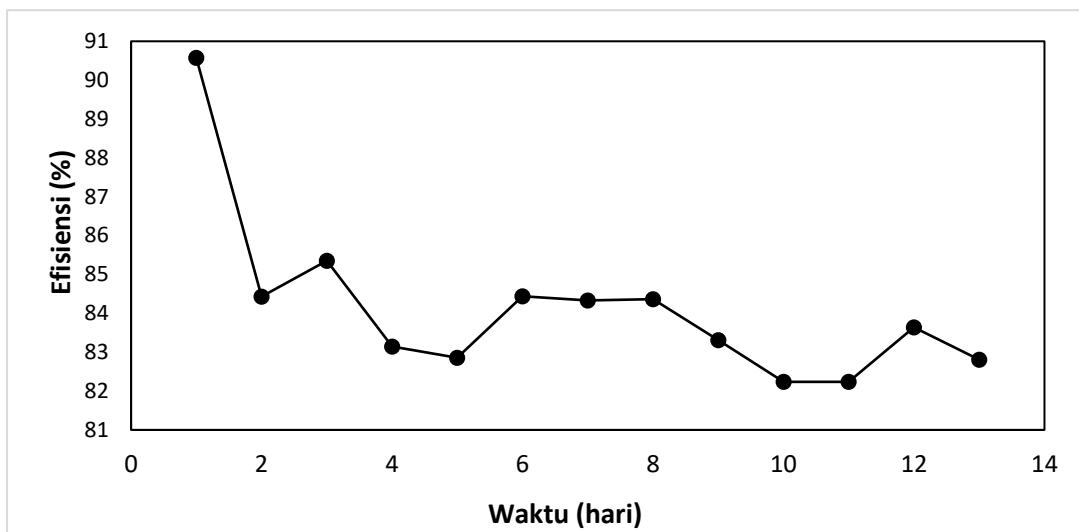
Tabel 5. Hasil perhitungan efisiensi turbin PLTP Dieng

Tanggal	Efisiensi Turbin (%)
23/11/2024	90,57386547
24/11/2024	84,4329187
25/11/2024	85,35588153
26/11/2024	83,14523607
27/11/2024	82,85756268
28/11/2024	84,43925326
29/11/2024	84,33435419
30/11/2024	84,36694112
01/12/2024	83,31178628
02/12/2024	82,23725307
03/12/2024	82,23725307
04/12/2024	83,64249321
05/12/2024	82,80849617
AVERAGE	84,13409960

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai neraca massa yang diperoleh mencerminkan neraca massa yang terdapat pada turbin, yang disebabkan oleh aliran fluida dan fraksi uap di dalam turbin. Pemodelan yang digunakan adalah bahwa fluida yang masuk ke turbin berupa *steam*, sementara yang keluar terdiri dari uap dan kondensat [6]. Berdasarkan data yang didapatkan, nilai *flowrate* uap yang masuk ke dalam turbin adalah 369,8188203 ton/hr. Adapun keluaran uap berupa *steam* dan kondensat yaitu sebesar 294,3628534 ton/hr untuk keluaran *steam* dan 75,45596683 ton/hr. Perhitungan keseimbangan energi mencakup energi panas yang masuk pada turbin dimana energi panas tersebut diperoleh melalui perbedaan nilai panas yang masuk dan panas yang keluar turbin. Panas yang masuk berupa *steam* yang didapatkan melalui proses perkalian

flowrate dan nilai entalpi panas pada fase uap. Panas yang keluar dari turbin terdiri dari uap dan kondensat, yang didapatkan dari penjumlahan bagian komponen panas, yaitu panas dari air, panas dari uap, dan panas yang terpakai [8]. Jumlah kalor yang masuk adalah 249722,84 kJ/s. Sedangkan jumlah kalor yang keluar adalah 202026,90 kJ/s untuk panas uap, 1602,508 kJ/s untuk panas kondensat (air), 46093,44 kJ/s untuk panas yang terpakai (energi mekanik).



Gambar 1. Grafik efisiensi turbin PLTP Dieng terhadap waktu

Efisiensi turbin rata-rata bernilai di atas 84% tetapi di bawah 92%. Bahkan dalam kondisi terkecil, efisiensi pembangkit tersebut masih mencapai 80%, yang sejalan dengan nilai efisiensi yang dilaporkan dalam referensi, yaitu sebesar 80% [14]. Kondisi terkecil ini bermula saat aliran yang melewati turbin berada pada angka yang rendah, dimana angka tersebut kurang dari kapasitas yang seharusnya dapat terdapat pada turbin[12]. Sementara itu, besarnya efisiensi melewati angka 90% disebabkan oleh aliran yang lebih tinggi dari kapasitas yang semestinya terdapat pada turbin. Pada umumnya, nilai efisiensi semestinya tidak terpengaruh dengan tingginya nilai aliran fluida, aliran yang masuk ke turbin dapat mencerminkan kemampuan turbin dalam menampung uap panas dari separator. Besarnya kapasitas turbin berdampak pada besarnya daya yang dapat dihasilkan dari proses pengolahan oleh turbin. Selain aliran fluida, terdapat entalpi panas dari suatu *steam* akan mempengaruhi efisiensi suatu turbin. Semakin besar nilai entalpi panas suatu *steam* maka semakin tinggi daya yang dihasilkan. Namun tergantung kapasitas daya yang mampu dihasilkan dari turbin tersebut. Jika nilai entalpi besar, namun daya yang dihasilkan kecil maka nilai efisiensi turbin akan bernilai rendah [4].

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan data yang didapatkan melalui hasil perhitungan, nilai *flowrate* uap yang masuk ke dalam turbin adalah 369,8188203 ton/hr. Adapun keluaran *steam* berupa *steam* dan kondensat yaitu sebesar 294,3628534 ton/hr untuk keluaran *steam* dan 75,45596683 ton/hr. Jumlah kalor yang masuk adalah 249722,84 kJ/s. Sedangkan jumlah kalor yang keluar adalah 202026,90 kJ/s untuk panas uap, 1602,508 kJ/s untuk panas kondensat (air), 46093,44 kJ/s

untuk panas yang terpakai. Dan rata-rata efisiensi turbin Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Dieng memiliki angka sebesar 84%. Hal ini membuktikan bahwa turbin masih bekerja dengan baik.

Dari penelitian yang telah dilakukan, perlu adanya penelitian berkelanjutan untuk meningkatkan efisiensi turbin lebih lanjut, keandalan turbin, serta mengoptimalkan daya listrik yang dihasilkan di PLTP Dieng.

REFERENSI

- [1] A. Mazaya dan T. Kurniawan, "Collaborative Governance Pemanfaatan Energi Panas Bumi Sebagai Sumber Pembangkit Listrik," *Jurnal Inovasi Penelitian*, vol. 3, no. 2, hal. 5731–5740, 2022.
- [2] A. K. Kusumma, D. Nugroho, dan A. A. Nugroho, "Analisa Efisiensi Kinerja Generator G-101 Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi," *Jurnal Transistor Elektro dan Informatika*, vol. 4, no. 1, hal. 57–67, 2022.
- [3] O. W. Irawan, L. S. Pratama, dan C. Insani, "Analisis Termodinamika Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap Kapasitas 1500 kW," *Jurnal Teknik Mesin-ITI*, vol. 5, no. 3, hal. 109–118, 2021.
- [4] M. Arrazi, Zamzami, dan Maimun, "Analisis Efisiensi Turbin Uap Ssebagai Penggerak Generator Pabrik Minyak Kelapa Sawit PT. Syaukath Sejahtera (Gandapura)," *Jurnal Tektro*, vol. 7, no. 1, hal. 91–97, 2023.
- [5] K. C. Amrita, "Analisis Thermal Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi PT. Indonesia Power UPJP Kamojang," Skripsi Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [6] Y. A. Syarif, "Pengaruh Laju Massa UapTerhadap Efisiensi Kerja Turbin Uap Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Lahendong Unit 5 di Tompaso Sulawesi Utara," Skripsi Politeknik Ati Makassar, 2021.
- [7] P. Ahluriza dan U. Harmoko, "Analisis Pemanfaatan Tidak Langsung Potensi Energi Panas Bumi di Indonesia," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 2, no. 1, hal. 53–59, 2021.
- [8] Y. A. Saputri, K. Sa'diyah, dan E. Yulianto, "Analisis Efisiensi Heater Pada Pengolahan Steam Unit 7 Pembangkit Listrik Tenaga Uap," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 8, no. 1, hal. 54–63, 2022.
- [9] H. Ariyanti Ewar, A. Nasar, dan Y. E. Ika, "Pengembangan Alat Peraga Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Sebagai Media Pembelajaran Fisika Pada Materi Sumber Energi Terbarukan," *Jurnal Pendidikan Fisika*, vol. 7, no. 1, hal. 128, 2023.
- [10] G. G. Tangkere, R. N. Palilingan, dan J. Polii, "Analisa Kinerja Demister Selama Tahun 2019 di PLTP Lahendong," *Jurnal Fisika dan Terapannya*, vol. 2, no. 1, hal. 21–24, 2021.
- [11] F. K. Wardhani, R. Kirom, M. Si, dan I. D. Herman, "Analisis Cooling Water Temperatue Terhadap Peforma Turbin Uap di PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha," vol. 7, no. 1, hal. 1102–1105, 2020.
- [12] D. A. Yumna, Hardjono, dan G. Yudhaprawira, "Studi Analisis Efisiensi Steam Turbine Generator Pada Bagian Asam Sulfat dan Utilitas Departemen Produksi IIIB PT Petrokimia Gresik," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 10, no. 1, hal. 33–40, 2024.

- [13] Y. Santi, R. 'Aisy Ansori, M. Mufid, dan H. D. Arti, "Perhitungan Efisiensi Panas Pada Heat Recovery Steam Generator di PT PLN Indonesia Power UBP Grati," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 11, no. 1, hal. 60–66, 2025.
- [14] A. H. Qurrahman, W. Wilopo, dan H. T. Bayu, "Turbine Generator efficiency analysis in Geothermal Power Plant PT Geodipa Energi Unit Dieng.," *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta*, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto (IDTA), 2019.
- [15] G. A. Kusuma, G. Mangindaan, dan M. Pakiding, "Analisa Efisiensi Thermal Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Lahendong Unit 5 Dan 6 Di Tompaso," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 7, no. 2, hal. 123–134, 2018.