

Analisa Efisiensi Termal Turbin, Kondensor dan Menara Pendingin pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

Clinton Sihombing

Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Cepu

ABSTRAK

Pembangkit listrik tenaga panas bumi memiliki kesamaan dengan pembangkit listrik lainnya seperti batu bara, gas atau tenaga nuklir yaitu mengubah energi panas menjadi listrik. Ketika fluida panas bumi diekstraksi dari sumur produksi, akan melewati banyak proses atau peralatan yang berbeda dalam perjalanan ke pembangkit listrik. Selama proses ini fluida panas bumi kehilangan energi yang tidak digunakan untuk menghasilkan tenaga. Keseluruhan efisiensi pembangkit dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter salah satunya termasuk desain pembangkit listrik. Studi ini mencoba menganalisis efisiensi termal pada komponen pembangkit: turbin, kondensor dan menara pendingin pada salah satu pembangkit panas bumi di Indonesia. Dengan begitu dapat diketahui bagaimana performa dari komponen tersebut, apakah sudah berjalan dengan baik atau belum. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa komponen turbin, kondensor dan menara pendingin saat ini masih beroperasi dengan baik dengan nilai efisiensi termal sebesar 80%-100%.

Kata kunci: turbin, kondensor, menara pendingin

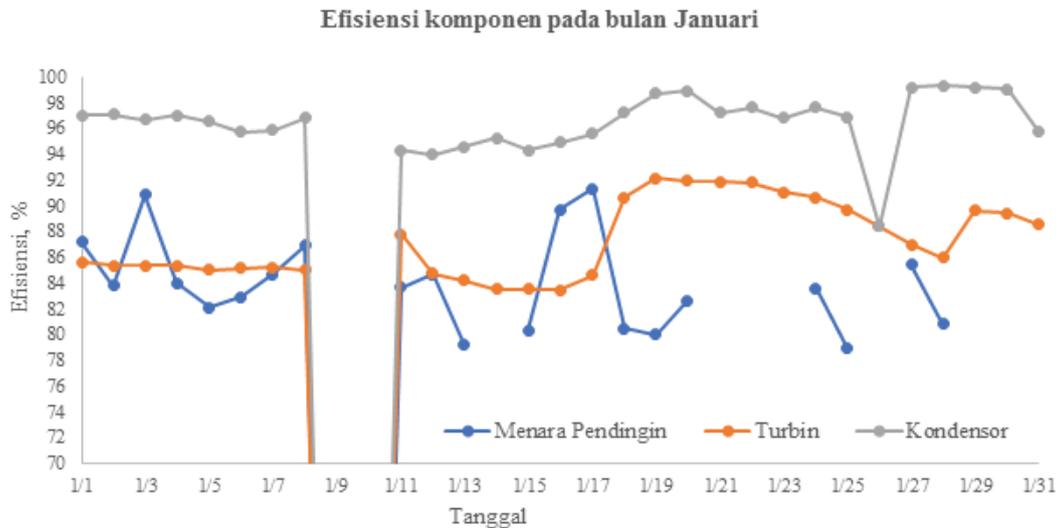
PENDAHULUAN

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

Namun pemanfaatan energi panas bumi khususnya sebagai pembangkit tenaga listrik di Indonesia sendiri masih belum optimal, karena sebagian besar listrik yang didistribusikan ke seluruh wilayah Indonesia masih disuplai menggunakan pembangkit listrik berbahan bakar fosil ataupun batu bara dan hanya beberapa wilayah yang memanfaatkan sumber energi panas bumi sebagai pembangkit listrik.

Dalam pemanfaatan panas bumi sebagai tenaga listrik dapat dilakukan dengan memperhatikan jenis fluida panas bumi tersebut. Teknologi atau *power system* yang digunakan bertujuan untuk mengonversi energi panas bumi tersebut menjadi energi listrik.





Gambar 1. Efisiensi Komponen Pembangkit

Besarnya nilai efisiensi *power plant* juga dapat memiliki pengaruh terhadap kelayakan ekonomi keseluruhan dari sistem panas bumi. Setiap lapangan dapat menggunakan jenis *power plant system* yang berbeda-beda. Pemilihan ini didasarkan pada kesesuaian dengan sumber daya pada lapangan tersebut baik secara teknis maupun ekonomis.

Oleh karena itu sangat perlu untuk diketahui bagaimana kemampuan atau kinerja dari komponen yang digunakan saat ini salah satunya dapat dilihat dengan mengetahui nilai efisiensi dari komponen pembangkit tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Setelah meninjau dari *Proses Flow Diagram* dari pembangkit lapangan tersebut, maka jenis PLTP yang digunakan adalah jenis *direct dry steam power plant* karena uap dari sumur produksi dapat langsung mengalir menuju pembangkit listrik untuk digunakan. Perhitungan efisiensi pada setiap komponen dilakukan pada data selama bulan Januari tahun 2018 yang diperoleh dari *control room* pembangkit.

A. Efisiensi Turbin

Turbin adalah salah satu komponen pada pembangkit listrik yang digunakan untuk mengonversi energi termal dari uap menjadi energi mekanis. Performa turbin selain dilihat dari daya *gross* yang dapat dihasilkan perlu juga dilihat dari besar efisiensinya. Data yang diambil berupa nilai rata-rata pada pembangkit dalam 24 jam (satu hari).

Daya turbin merupakan daya *aktual* yang dihasilkan turbin pada pembangkit tersebut, sedangkan daya ideal turbin merupakan daya turbin yang didapat dari hasil perhitungan pada kondisi ideal. Efisiensi turbin didapat dari perbandingan antara kerja *aktual* turbin dengan kerja pada keadaan ideal seperti pada Pers. (1) berikut.

$$\eta_t = \frac{W_t}{m_s(H_1 - H_{2s})} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$



Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa saat ini efisiensi turbin sebesar 80%-100% dengan daya turbin pembangkit sekitar 51 MW. Sehingga dapat diketahui bahwa saat ini turbin masih bekerja dengan baik karena nilai efisiensi masih berada di atas kondisi efisiensi desain turbin yaitu 85%.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Efisiensi

Tanggal	Daya Turbin	Daya Ideal Turbin	Efisiensi Turbin
	MW	MW	%
01/01/2018	52.05	60.81	85.59
02/01/2018	51.62	60.49	85.33
03/01/2018	51.38	60.20	85.35
04/01/2018	51.42	60.28	85.30
05/01/2018	51.45	60.55	84.97
06/01/2018	51.57	60.58	85.13
07/01/2018	51.7	60.71	85.16
08/01/2018	51.2	60.23	85.01
09/01/2018	<i>Shutdown</i>		
10/01/2018			
11/01/2018	51.97	59.21	87.77
12/01/2018	51.17	60.41	84.70
13/01/2018	50.3	59.75	84.19
14/01/2018	49.62	59.43	83.50
15/01/2018	49.48	59.29	83.46
16/01/2018	49.32	59.13	83.41
17/01/2018	50.3	59.49	84.55
18/01/2018	54.62	60.28	90.62
19/01/2018	56.2	61.01	92.11
20/01/2018	56.07	61.01	91.90
21/01/2018	55.78	60.73	91.85
22/01/2018	55.7	60.68	91.79
23/01/2018	55.28	60.72	91.03
24/01/2018	55.08	60.78	90.62
25/01/2018	54.65	60.96	89.64
26/01/2018	53.9	61.01	88.35
27/01/2018	52.9	60.84	86.94
28/01/2018	52.37	60.94	85.93
29/01/2018	52.1	58.16	89.58
30/01/2018	51.83	57.98	89.40
31/01/2018	51.23	57.89	88.50

Daya turbin digunakan untuk memutar generator untuk menghasilkan listrik. Daya listrik *gross* adalah perkalian antara daya turbin terhadap efisiensi generator. Daya net adalah daya listrik *gross* dikurangi pemakaian listrik sendiri yang digunakan untuk menjalankan sistem tersebut (*parasitic load*) meliputi daya yang diperlukan oleh motor pompa pada sistem air pendingin, pompa vakum dan kipas pada menara pendingin.

Terjadinya perubahan daya turbin bisa disebabkan oleh adanya perubahan tekanan uap (bara) masuk turbin serta perubahan laju aliran massa uap (t/h) yang masuk ke turbin. Semakin tinggi

tekanan uap masuk dan massa uap masuk turbin maka semakin besar daya yang dapat dihasilkan oleh turbin. Namun, bila semakin lama *plant* dioperasikan maka tekanan turbin akan menurun begitu pula jumlah produksi uap lapangan akan semakin menurun.

B. Efisiensi Kondensor

Kondensor merupakan salah satu komponen atau peralatan utama PLTP yang berfungsi untuk mengondensasikan uap yang keluar dari turbin. Proses yang terjadi dalam kondensor kontak langsung adalah perpindahan panas yang disertai proses kondensasi sesuai dengan hukum kekekalan massa dan energi.

Parameter yang perlu diperhatikan pada komponen kondensor adalah tekanan dan temperatur. Supaya menghasilkan daya turbin yang besar, tekanan dan temperatur kondensor perlu dijaga serendah mungkin.

Kinerja kondensor dapat dilihat dari keefektifannya. Keefektifan merupakan rasio antara laju perpindahan panas yang terjadi dalam kondensor dengan laju perpindahan panas maksimum yang terjadi pada kondensor tersebut. Dengan demikian hubungannya dapat dituliskan dengan hubungan matematis yang diberikan pada Pers. (2).

$$\varepsilon = \frac{q_{\text{aktual}}}{q_{\text{maksimum}}} = \frac{T_{c,o} - T_{c,i}}{T_{h,i} - T_{c,i}} \dots\dots\dots (2)$$

Di mana ε merupakan nilai efisiensi kondensor (%), q_{aktual} merupakan laju perpindahan panas yang terjadi dan dapat dievaluasi dari laju panas yang dilepaskan oleh uap *geothermal* yang didinginkan di kondensor. Sedangkan laju perpindahan panas maksimum dievaluasikan untuk kondisi ideal bila temperatur pendingin dapat meningkat sampai dengan temperatur fluida *geothermal* yang telah didinginkan. $T_{c,o}$ adalah temperatur kondensat ($^{\circ}\text{C}$), $T_{h,i}$ adalah temperatur uap keluaran turbin ($^{\circ}\text{C}$) dan $T_{c,i}$ adalah temperature air pendingin yang masuk ke kondensor ($^{\circ}\text{C}$). Data yang diambil dalam penelitian ini berupa nilai rata-rata pada pembangkit dalam 24 jam (satu hari).

Dari hasil perhitungan efisiensi yang telah diperoleh dapat dilihat bahwa saat ini efisiensi kondensor sebesar 90%-100%. Sehingga dapat dikatakan bahwa kondensor masih memiliki performa yang baik untuk mengondensasikan uap keluaran turbin karena nilai efisiensi tersebut berada di atas kondisi efisiensi desain kondensor sebesar 87%.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Efisiensi

Tanggal	T exhaust steam	T cooling water	T condensat	Efisiensi
	deg C	deg C	deg C	%
01/01/2018	51	20.23	50.1	96.97
02/01/2018	51.33	20.67	50.4	97.08
03/01/2018	52	21.1	51.0	96.66
04/01/2018	51.67	20.93	50.7	96.95
05/01/2018	51.67	20.77	50.6	96.54
06/01/2018	51.67	20.6	50.3	95.70
07/01/2018	51.33	20.33	50.0	95.82
08/01/2018	52	21.2	51.0	96.75



Tanggal	T <i>exhaust steam</i>	T <i>cooling water</i>	T <i>condensat</i>	Efisiensi
	deg C	deg C	deg C	%
09/01/2018	<i>Shutdown</i>			
10/01/2018				
11/01/2018	47.33	19.93	45.8	94.29
12/01/2018	46.67	19.67	45.0	93.94
13/01/2018	47	20.13	45.5	94.54
14/01/2018	47	20.3	45.7	95.26
15/01/2018	47	20.1	45.5	94.30
16/01/2018	47	20.27	45.6	94.89
17/01/2018	47.67	20.33	46.5	95.54
18/01/2018	52	21.3	51.1	97.18
19/01/2018	51	20.83	50.6	98.67
20/01/2018	51	20.83	50.7	98.90
21/01/2018	52	21.3	51.1	97.18
22/01/2018	51.67	21.3	50.9	97.57
23/01/2018	51.67	21.27	50.7	96.81
24/01/2018	51.33	21.3	50.6	97.57
25/01/2018	51	21.1	50.1	96.88
26/01/2018	53.33	21.03	49.6	88.35
27/01/2018	49.33	20.97	49.1	99.19
28/01/2018	48.67	20.8	48.5	99.27
29/01/2018	48.33	20.7	48.1	99.17
30/01/2018	48.33	20.73	48.1	99.05
31/01/2018	49	21.2	47.8	95.68

Selain itu dapat dilihat juga bahwa semakin rendah temperatur (dingin) air pendingin maka efisiensi kondensor akan semakin baik. Sehingga sangat diharapkan air pendingin yang masuk kondensor untuk mengkondensasikan uap masuk dengan temperatur rendah sehingga dapat menjaga tekanan rendah pada kondensor.

Tekanan kondensor akan berpengaruh terhadap kenaikan daya keluaran yang dihasilkan turbin. Yang mana naiknya tekanan kondensor akan menyebabkan turunnya daya turbin (berbanding terbalik). Oleh karena itu sangat perlu untuk menjaga tekanan kondensor tetap rendah agar dihasilkan daya turbin yang tinggi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa performa dari kondensor akan berpengaruh terhadap performa dari turbin (daya turbin).

C. Menara Pendingin

Menara pendingin (*cooling tower*) merupakan komponen dalam pembangkit listrik yang berfungsi sebagai penukar panas antara udara dengan kondensat dari kondensor. Performa menara pendingin dapat dinyatakan dalam efektivitas. Semakin tinggi efektivitas berarti semakin baik performa menara pendingin tersebut. Efisiensi tersebut dapat dihitung dengan menggunakan Pers. (3) berikut.

$$\varepsilon = \frac{\text{Range}}{\text{Approach} + \text{Range}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$



Di mana ε merupakan efisiensi menara pendingin (%), *range* merupakan perubahan temperatur air yang melewati menara pendingin menggunakan persamaan (4) dan *approach* merupakan perbedaan antara temperatur air pada keluaran terhadap temperatur bola basah udara masuk dengan menggunakan persamaan (5).

$$Range = T_{masuk} - T_{keluar} \dots\dots\dots (4)$$

$$Approach = T_{keluar} - T_{wb} \dots\dots\dots (5)$$

Tabel 3. Hasil Perhitungan Efisiensi

Tanggal	T Kondensat	T cooling water	T Wet Bulb	Efisiensi
	deg C	deg C	deg C	%
01/01/2018	50.07	20.23	15.8	87.19
02/01/2018	50.43	20.67	14.9	83.73
03/01/2018	50.97	21.1	18.1	90.79
04/01/2018	50.73	20.93	15.2	83.95
05/01/2018	50.60	20.77	14.3	82.10
06/01/2018	50.33	20.6	14.5	82.86
07/01/2018	50.03	20.33	14.9	84.61
08/01/2018	51.00	21.2	16.7	86.86
09/01/2018	<i>Shutdown</i>			
10/01/2018				
11/01/2018	45.77	19.93	14.9	83.64
12/01/2018	45.03	19.67	15.1	84.63
13/01/2018	45.53	20.13	13.4	79.17
14/01/2018	45.73	20.3		
15/01/2018	45.47	20.1	13.9	80.27
16/01/2018	45.63	20.27	17.3	89.66
17/01/2018	46.45	20.33	17.8	91.26
18/01/2018	51.13	21.3	14.0	80.44
19/01/2018	50.60	20.83	13.4	79.99
20/01/2018	50.67	20.83	14.6	82.62
21/01/2018	51.13	21.3	-	
22/01/2018	50.93	21.3	-	
23/01/2018	50.70	21.27	-	
24/01/2018	50.60	21.3	15.5	83.54
25/01/2018	50.07	21.1	13.4	78.90
26/01/2018	49.57	21.03	-	
27/01/2018	49.10	20.97	16.2	85.39
28/01/2018	48.47	20.8	14.2	80.80
29/01/2018	48.10	20.7	-	
30/01/2018	48.07	20.73	-	
31/01/2018	47.80	21.2	-	



METODE PENELITIAN

Tinjauan pada pembangkit dan pengambilan data dari penelitian ini dilakukan pada salah satu lapangan panas bumi di Indonesia. Terdapat 2 jenis data yang digunakan yaitu:

A. Data Primer

Data primer adalah data yang langsung diambil dari sumber, atau data yang masih asli dan masih memerlukan analisis lebih lanjut. Pada penelitian ini data yang diambil adalah:

- a. Tekanan, temperatur dan laju alir massa pada masing-masing komponen.
- b. Daya spesifik yang dibangkitkan.
- c. Temperatur lingkungan daerah tersebut.

B. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung. Data ini berasal dari bahan perpustakaan atau juga dari peneliti melalui media perantara. Dalam hal ini data yang dihimpun adalah:

- a. Jenis teknologi yang digunakan dalam pembangkit.
- b. Teori-teori yang berhubungan dengan energi panas bumi.
- c. Rumus-rumus yang digunakan untuk menghitung atau mengolah data primer yang telah didapatkan.
- d. *Steam table* untuk mendukung perhitungan.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Temperatur kondensat, *cooling water* dan *wet bulb* adalah data temperatur terukur di lapangan yang mana pada hari tertentu ada data *wet bulb* yang tidak lengkap karena tidak tersedianya data di lapangan sehingga efisiensi menara pendingin tidak dapat dihitung.

Dari hasil perhitungan efisiensi yang telah diperoleh dapat dilihat bahwa saat ini efisiensi menara pendingin sebesar 80%-90%. Sehingga dapat dikatakan bahwa menara pendingin masih memiliki performa yang baik karena nilai efisiensi tersebut berada di atas kondisi efisiensi desain menara pendingin sebesar 81% sehingga air kondensat dari kondensor dapat digunakan lagi sebagai air pendingin dengan temperatur rendah (dingin).

Selain itu dari Tabel 3. menunjukkan bahwa semakin besar nilai temperatur *wet bulb* maka efisiensi menara pendingin akan naik, yang artinya temperatur keluaran air pendingin yang dihasilkan lebih rendah (dingin). Karena itu sangat diinginkan temperatur bola basah sekitar menara pendingin yang lebih tinggi.

Hal ini berarti menunjukkan bahwa kondisi lingkungan sekitar mempengaruhi performa pembangkit, terutama terhadap komponen yang langsung berinteraksi dengan lingkungan seperti menara pendingin. Sebagai contoh apabila nilai kelembaban relatif (RH) daerah sekitar pembangkit tinggi yang artinya temperatur bola basah sekitar rendah, maka kemampuan transpor energi laten ke udara menjadi kecil sehingga diperlukan aliran udara yang lebih besar pada menara pendingin untuk menurunkan temperatur air kondensat.

Dapat diketahui pula bahwa masing-masing komponen tersebut akan saling mempengaruhi

performa setiap komponen. Maka diharapkan menara pendingin memiliki efisiensi yang bagus untuk menghasilkan air pendingin dengan temperatur rendah sehingga dapat digunakan pada kondensator dan kondensator dapat bekerja dengan baik untuk mengkondensasikan uap keluaran turbin dan kondensator beroperasi dengan tekanan rendah agar dapat diperoleh daya turbin yang tinggi dengan efisiensi yang baik.

KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil perhitungan efisiensi termal komponen turbin, kondensator dan menara pendingin pembangkit pada bulan Januari 2018, dapat diketahui bahwa saat ini komponen tersebut masih beroperasi dengan baik dengan performa efisiensi 80%–100%. Sehingga dapat dikatakan juga bahwa pembangkit yang digunakan saat ini masih beroperasi dengan baik karena memiliki komponen dengan performa yang baik. Dengan produksi pembangkit pada lapangan tersebut saat ini sekitar 51 MW

DAFTAR PUSTAKA

- Parsons, D. (1998). Energy Conversion, U.S. Department of Energy, Washington, DC.
- Saptadji, M. N. (2001). Teknik Panas Bumi, Departemen Teknik Perminyakan ITB, Bandung.
- Zarrouk, J. S. (2012). Efficiency of Geothermal Power Plants: A Worldwide Review, Department of Engineering Sciences, University of Auckland, New Zealand.
- Dipippo, R. (2012). Geothermal Power Plant: Principle, Application and Case Study, Elsevier Science, Oxford, UK

