

Analisis Exergy Steam Side Equipment pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Kamojang

Musyarrofah

Program Studi S1 Teknik Mesin, Universitas Jember Jember, Indonesia

Kata kunci:
energi panas bumi,
pembangkit listrik tenaga
panas bumi, analisis *exergy*

Email penulis:
musyarrofah@gmail.com

Abstract

Lapangan panas bumi Kamojang terletak di Desa Laksana Kecamatan Ibum Kabupaten Bandung Jawa Barat. Pengembangan panas bumi di Kamojang digunakan untuk pembangkitan energi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Kamojang Unit 4 telah beroperasi selama 10 tahun maka itu dilakukan audit energi pada bagian komponen yang dilewati *steam* dengan metode analisis *exergy*. Melakukan analisis *exergy* dapat menjadikan kita dapat mengetahui *losses exergy* setiap komponen lalu diketahui bagian komponen yang mengalami *losses exergy* terbesar serta efisiensi komponen yang dilewati *steam*, maka kedepannya dapat meningkatkan performa pada komponen-komponennya. Bagian terbesar terjadinya *losses exergy* pada terjadi di komponen turbin sebesar 5973.9 kW sedangkan komponen yang paling efisien adalah scrubber yaitu mencapai 99,87 %.

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik di Indonesia semakin meningkat, menurut data statistik konsumsi tenaga listrik PT PLN pada tahun 2015 mencapai 33.381,08 MW, meningkat 0,18 % dari tahun sebelumnya (Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero), 2015) untuk dapat memenuhi kebutuhan tersebut maka diperlukan penggunaan energi alternatif seperti energi panas bumi. Pemanfaatan energi panas bumi untuk pembangkit listrik pada awalnya direalisasikan di Lardello, Italia pada tahun 1904, uap panas bumi digunakan untuk turbin kecil yang digunakan untuk menyalakan bola lampu. Program ini berkepanjangan dan pada tahun 1913, sebuah pabrik dengan 250 Kw, kapasitas terhubung ke sistem grid Italia (Zhou C, 2013). Di Indonesia salah satu pengembangan energi panas bumi berada di Kamojang yang terletak di Desa Laksana Kecamatan Ibum Kabupaten Bandung Jawa Barat dan karena kebutuhan energi meningkat maka diperlukan pemahaman mengenai penurunan kualitas pembangkit sehingga untuk memaksimalkan pembangkitan tenaga listrik maka dapat dilakukan analisis *exergy* (Bejan, 1948). Dengan melakukan analisis *exergy* maka didapatkan gambaran mengenai besarnya kerugian dari suatu sistem, penyebab dan lokasi terjadinya *losses* terbesar di dalam sistem, sehingga untuk kedepannya dapat melakukan peningkatan pada setiap komponen-komponennya (Dios Santoso, 2012).

2. Metode Penelitian

a. Waktu penelitian

Pengambilan data penelitian ini dilaksanakan di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Kamojang Unit 4, ditempatkan di *section Maintenance*. Pengambilan data penelitian ini dimulai tanggal 9 Januari 2017 – 16 Februari 2017.

b. Metode penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa komponen *steam side equipment* pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Kamojang untuk mencapai penggunaan energi optimal menggunakan analisis *exergy* berdasarkan hukum termodinamika kedua. Persamaan *exergy* dapat dinyatakan dalam Persamaan:

$$E = \dot{m}_i \cdot [(h_i - h_0) - T_0 (s_i - s_0)]$$

Dimana E adalah *exergy*, \dot{m}_i adalah laju aliran massa, S_i adalah entropi, S_0 adalah entropi, h_0 adalah entalpi lingkungan, h_i adalah entalpi, T_0 adalah entalpi lingkungan.

Data-data yang digunakan dalam analisis ini meliputi:

Data operasi komponen scrubber turbin dan ejector PLTP Kamojang Unit 4 mulai bulan mei – desember 2016

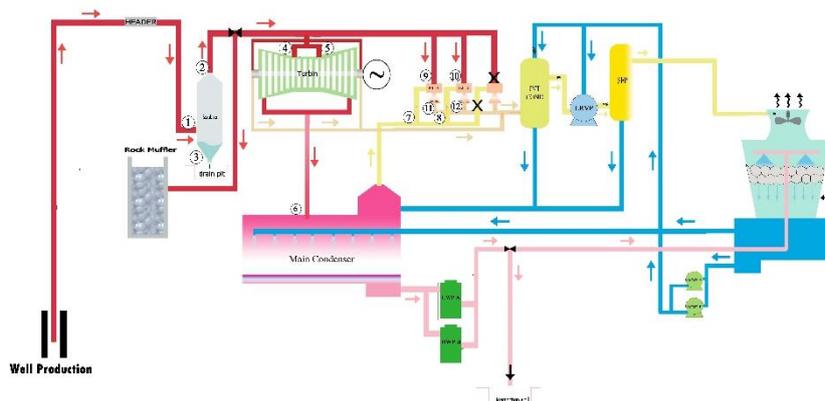
Melakukan analisis exergy pada komponen PLTP Kamojang Unit 4 yang dilewati steam saja, meliputi pipa dari header sampai sebelum scrubber, scrubber, turbin dan ejector.

Temperatur, entropi dan entalpi lingkungan dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1. Temperatur, entropi dan entalpi lingkungan

Bulan	T ₀	h ₀	S ₀
Mei	291.23	76.53	0.27
Juni	290.15	71.99	0.25
Juli	290.19	72.17	0.25
Agustus	289.64	69.85	0.24
September	290.38	72.97	0.25
Oktober	290.30	72.64	0.25
November	290.36	72.88	0.25
Desember	291.06	75.81	0.26

PLTP Kamojang Unit 4 terdiri dari beberapa yaitu scrubber, turbin uap, main condensor, ejector, cooling tower, Auxialary Cooling Water Pump, Hot Well Pump, Separator, inter-condenser. dan sistem penyaluran uap menggunakan pipa uap dari sumur hingga ke pembangkit.



Gambar 1: Diagram alir PLTP Kamojang Unit 4

3. Hasil dan Pembahasan

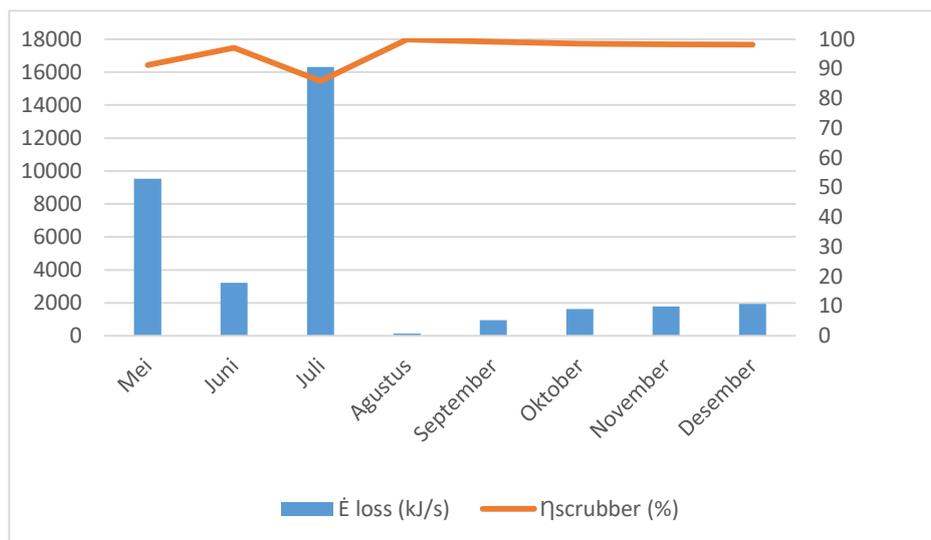
Analisis exergy steam side komponen PLTP Kamojang Unit 4 dilakukan untuk mengetahui besarnya exergy, efisiensi exergy dan losses exergy pada steam side komponen mulai dari komponen pipa, scrubber, turbin dan ejector. Exergy pada header sebesar 109771.3 kW sedangkan exergy pada exhaust pipa atau inlet scrubber sebesar 105993.2 kW, maka losses exergy sebesar 3778.099 kW sehingga efisiensi pipa dari header sampai ke scrubber berkisar 96.56 %. Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan exergy di titik 1 dan 2

Waktu	\dot{E}_1 (kW)	\dot{E}_3 (kW)
Mei	109776,93	100253,35
Juni	109028,70	105806,71
Juli	116101,08	99789,83
Agustus	109356,65	109212,08
September	105756,45	104801,11
Oktober	106616,60	104996,81
November	104462,90	102681,15
Desember	104315,86	102372,37

Tabel 3. Hasil perhitungan *losses exergy* dan efisiensi *scrubber*

Waktu	\dot{E}_{loss}	η_{scrubber}
Mei	9523,58	91,32
Juni	3221,99	97,04
Juli	16311,25	85,95
Agustus	144,57	99,87
September	955,34	99,10
Oktober	1619,79	98,48
November	1781,74	98,29
Desember	1943,50	98,14

Gambar 2. Grafik *losses exergy* dan efisiensi *exergy* pada *scrubber*

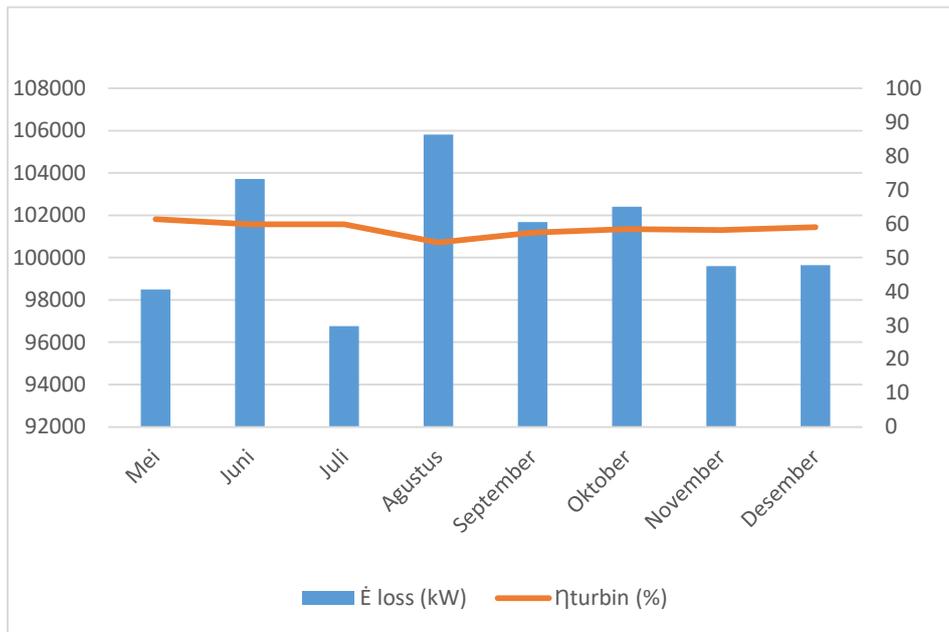
Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai *losses exergy* terbesar terdapat pada bulan juli dan menyebabkan efisiensi *exergy* terendah dibandingkan dengan bulan yang lainnya yaitu 85,95%. sedangkan efisiensi *exergy* terbesar pada scrubber terdapat pada bulan oktober yaitu sebesar 97,04%. Jadi semakin besar *losses exergy* yang dihasilkan maka akan semakin rendah pula efisiensi yang dihasilkan *scrubber*.

Tabel 4. Hasil perhitungan *exergy* di titik 4, 5, 6

Waktu	\dot{E}_4 (kW)	\dot{E}_5 (kW)	\dot{E}_6 (kW)
Mei	49705,54	49638,34	841,47
Juni	52363,73	52295,74	940,55
Juli	48795,00	48769,87	809,15
Agustus	53389,98	53358,64	924,19
September	51305,99	51271,17	899,26
Oktober	51694,95	51651,42	933,29
November	50258,71	50217,28	880,37
Desember	50275,53	50240,04	870,02

Tabel 5. Hasil perhitungan *losses exergy* dan efisiensi turbin

Waktu	\dot{E}_{loss} (kW)	η_{turbin} (%)
Mei	98502,41	61,40
Juni	103718,92	59,88
Juli	96755,72	59,87
Agustus	105824,44	54,52
September	101677,90	57,40
Oktober	102413,07	58,43
November	99595,62	58,11
Desember	99645,54	59,04



Gambar 3. Grafik *losses exergy* dan efisiensi *exergy* pada turbin

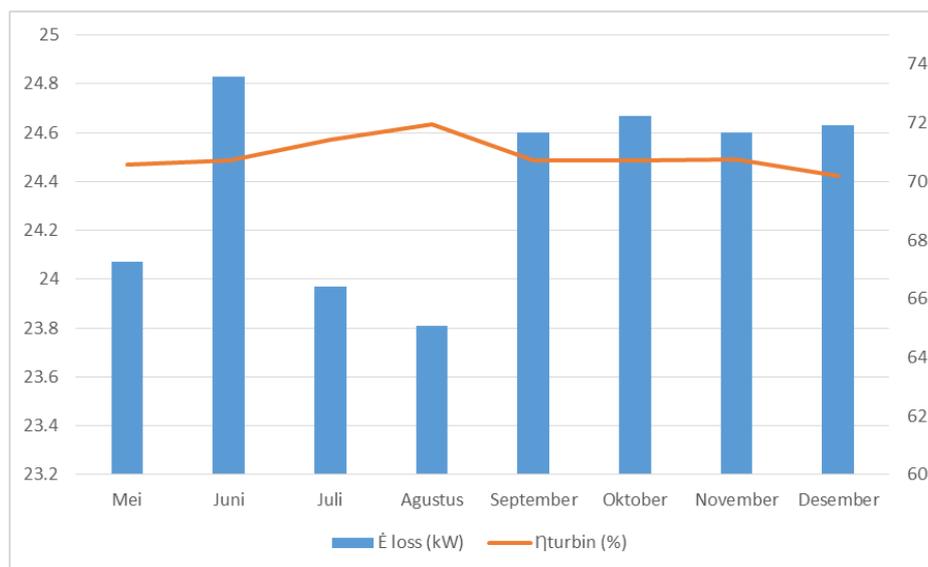
Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai efisiensi terbesar terdapat di bulan Mei hal ini karena turbin baru mulai start up sedangkan bulan bulan Agustus terjadi efisiensi yang rendah, hal ini mengakibatkan energi *gross* pada generator rendah. Maka pada turbin tidak berlaku semakin besar *losses exergy* maka akan semakin rendah efisiensi ekserginya atau sebaliknya. Karena efisiensi bergantung pada energi *gross* yang dihasilkan oleh generator.

Tabel 6. Hasil perhitungan *exergy* di titik 9, 10, 11, 12.

Waktu	\dot{E}_7 (kJ/s)	\dot{E}_8 (kJ/s)	\dot{E}_9 (kJ/s)	\dot{E}_{10} (kJ/s)	\dot{E}_{11} (kJ/s)	\dot{E}_{12} (kJ/s)
Mei	4,51	2,43	48,65	26,19	37,52	20,20
Juni	6,07	3,27	49,07	26,42	39,00	21,00
Juli	5,12	2,76	49,40	26,60	38,94	20,97
Agustus	5,57	2,99	49,63	26,72	39,72	21,38
September	5,89	3,17	48,75	26,25	38,65	20,81
Oktober	6,17	3,32	48,63	26,18	38,77	20,87
November	5,86	3,15	48,82	26,28	38,68	20,83
Desember	5,76	3,10	47,97	25,83	37,71	20,31

Tabel 7. Hasil perhitungan *losses exergy* dan efisiensi ejector.

Waktu	\dot{E}_{loss} (kJ/s)	η_{turbin} (%)
Mei	24,07	70,57
Juni	24,83	70,73
Juli	23,97	71,41
Agustus	23,81	71,96
September	24,60	70,73
Oktober	24,67	70,73
November	24,60	70,75
Desember	24,63	70,19



Gambar 4. Grafik *losses exergy* dan efisiensi *exergy* pada *ejector*

Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai *losses exergy* terbesar terdapat pada bulan agustus dan *losses exergy* terendah terdapat pada bulan november sedangkan efisiensi *exergy* terbesar pada ejector terdapat pada bulan desember yaitu sebesar 71,96% dan efisiensi *exergy* terkecil terdapat pada bulan mei yaitu 70,19% berarti *losses exergy* yang besar dapat mengakibatkan semakin turunnya efisiensi *exergy*. Hal ini dimungkinkan karena pada bulan desember mengalami masukan *motive steam* yang lebih banyak daripada bulan lainnya.

Dari keseluruhan hasil perhitungan *losses exergy* dan efisiensi *exergy* pada setiap steam side komponen diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 7. Hasil perhitungan *losses exergy* dan efisiensi *scrubber*, turbin, *ejector*

Waktu	Efisiensi (%)		
	Scrubber	Turbin	Ejector
Mei	91,32	61,40	70,57
Juni	97,04	59,88	70,73
Juli	85,95	59,87	71,41
Agustus	99,87	54,52	71,96
September	99,10	57,40	70,73
Oktober	98,48	58,43	70,73
November	98,29	58,11	70,75
Desember	98,14	59,04	70,19

Bila diamati dari tabel dan grafik *losses exergy* dan efisiensi *exergy* dari komponen steam side (pipa, scrubber, turbin dan ejector) maka lokasi *losses exergy* terbesar terjadi pada komponen turbin, hal ini diakibatkan karena kerugian gesekan terhadap uap yang masuk ke turbin dan dapat juga dipengaruhi akibat dari bukaan *valve* yang tidak sesuai. Semakin tinggi temperatur dalam suatu sistem, maka nilai entropi semakin tinggi dan entalphi semakin turun, hal ini mengakibatkan adanya selisih yang besar antara sistem dan lingkungan. Sebaliknya, semakin rendah temperatur lingkungan maka akan semakin besar pula selisih antara sistem dengan lingkungan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan tersebut penulis menyimpulkan bahwa:

1. Bagian terbesar terjadinya *losses exergy* pada terjadi di komponen Turbin sebesar 5973.9 kW pada bulan mei 2016 sedangkan komponen yang paling efisien adalah scrubber yaitu mencapai 99,87 % pada bulan agustus 2016

2. Penurunan temperatur lingkungan akan mempengaruhi nilai efisiensi *exergy* komponen sehingga pada turbin juga mengalami peningkatan efisiensi *exergy*
3. Untuk mencapai efisiensi *exergy* yang optimum maka diperlukan kombinasi tekanan dan suhu yang tinggi dengan menyesuaikan laju aliran masuk setiap komponen dengan beban operasi. Sehingga nantinya didapat efisiensi komponen yang maksimal. Tetapi harus dilakukan perhitungan matematis pada sistem agar tidak ada yang mengganggu proses komponen lainnya.

Daftar Pustaka

- Bejan, A. Tsatsaronis, G., Moran, M. 1948. “*Thermal Design and Optimization*”, John Wiley & Son, Bab 3
- Dyos Santoso, Randy Maulana Yusuf. “Analisis Eksergi pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) UBP Kamojang Unit PLTP Darajat Jawa Barat”. *Seminar Nasional AvoER ke-4*. 28-29 November 2012, Palembang, 134.
- Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero), 2015. Statistik PLN. Jakarta: Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero)
- Zhoua C, Doroodchib E, Moghtaderia B. 2013. “An in-depth assessment of hybridsolar–geothermal power generation”, *Energy Convers Manage* 74, 88–101