

ANALISA ENERGI DAN EKSERGI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP BANTEN 3 LONTAR

Aries Karyadi¹⁾, Chalilullah Rangkuti²⁾

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

E-mail: arieskaryadi@gmail.com¹⁾, chalil@trisakti.ac.id²⁾

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Banten 3 yang berlokasi di Lontar merupakan PLTU dengan bahan bakar batubara yang memiliki kapasitas produksi sebesar 3 x 315 MW. Setelah beroperasi semenjak bulan Desember 2011, tentu saja akan terjadi penurunan performa akibat pengoperasiannya. Oleh karena itu, dirasakan perlu untuk membuat suatu kajian untuk menganalisa performa serta rugi-rugi yang terjadi pada pembangkit tersebut.

Analisa ketidakefisienan pembangkit tersebut dapat dilakukan melalui analisa energi dan eksergi. Analisa energi akan dilakukan melalui konsep termodinamika dasar. Kemudian analisa eksergi akan dilakukan untuk mencari rugi-rugi akibat eksergi yang musnah pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Banten 3 Lontar. Analisa eksergi ini dapat mendeteksi lokasi dan besar kerugian pada sistem dan menjadi dasar untuk melakukan perbaikan pembangkit di masa yang akan datang.

Melalui Hasil analisa energi dan eksergi tersebut didapatkan gambaran penurunan performa serta besar kerugian akibat eksergi yang musnah yang menyebabkan ketidakefisienan pada PLTU Banten 3 Lontar. Hasil analisa ini juga dapat menjadi kajian awal dalam melakukan perbaikan sistem pembangkit Banten 3 Lontar di masa yang akan datang.

Kata kunci: *PLTU, Energi, Eksergi, Eksergi yang Musnah*

Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Banten 3 yang berlokasi di Lontar, Banten merupakan bagian dari Proyek Percepatan Pembangunan Pembangkit 10.000 MW yang dibangun berdasarkan pada Perpres No. 71 tahun 2006. PLTU Banten 3 Lontar dibangun di atas lahan seluas 94 hektar dengan memiliki 3 unit pembangkit dimana kapasitas masing-masing unit sebesar 315 megawatt sehingga total kapasitas tenaga listrik yang dihasilkan pembangkit ini adalah sebesar 945 MW. Daya listrik yang dihasilkan kemudian akan disalurkan melalui jaringan transmisi 150 kV (SUTT) ke Gardu Induk Teluk Naga dan Gardu Induk New Tangerang. Proyek Pembangunan PLTU Lontar ini bertujuan untuk memperbesar pasokan tenaga listrik di area Jakarta dan sekitarnya pada sistem kelistrikan Jawa-Bali.

PLTU Banten 3 Lontar ini mulai beroperasi semenjak Bulan Desember 2011. Tentu saja dengan masa operasi selama 4 tahun tersebut akan terjadi penurunan performa sehingga menyebabkan efisiensi PLTU akan menurun. Oleh karena itu dirasakan perlu dilakukan analisa untuk mengidentifikasi ketidakefisienan pada masing-masing komponen. Analisa tersebut dapat dilakukan dengan menghitung energi dan eksergi dari masing-masing aliran dan menentukan besarnya eksergi yang musnah pada masing-masing komponen. Eksergi adalah kerja teoritik maksimum yang dapat diperoleh hingga sistem mencapai keseimbangan dengan lingkungan. Analisa eksergi merupakan aplikasi dari hukum termodinamika kedua yang menyatakan bahwa tidak seluruh panas yang dihasilkan oleh sistem dapat diubah seluruhnya menjadi energi mekanik melainkan ada bagian dari panas yang bersifat tidak keterbalikan yang memiliki arah. Oleh karena itu, analisa eksergi dapat menentukan tingkat keefisienan dari suatu komponen pada sistem pembangkit.

Bedasarkan pemikiran tersebut, maka analisa energi dan eksergi dapat dilakukan pada PLTU unit 1 Banten 3 Lontar untuk mengidentifikasi kerugian eksergi yang terjadi dan

dapat menjadi acuan bagi manajemen untuk membuat skala prioritas perbaikan dan optimasi di masa mendatang dalam upaya menurunkan kerugian yang terjadi dan meningkatkan efisiensi termodinamika pada sistem.

Studi Literatur

Analisa eksergi untuk mengidentifikasi penurunan performa pada masing-masing komponen pada PLTU Banten 3 Lontar merujuk pada teori energi dan eksergi yang dikembangkan oleh Adrian Bejan, George Tsatsaronis dan Michael Moran pada tahun 1996 yang tertulis dalam bukunya yang berjudul "Thermal Design and Optimization". Buku ini membahas teori dasar termodinamika, perpindahan panas dan teori ekonomi pada suatu pembangkit. Beberapa penelitian mengenai eksergi umum mengacu pada buku tersebut, antara lain:

1. Penelitian George Tsatsaronis yang berjudul "**Thermo-economic Analysis and Optimization of Energy System**" yang melakukan analisa eksergi dan termoekonomi pembangkit melalui iterasi matematika.
2. Penelitian Can Özgür Çolpan pada tahun 2005 yang berjudul "**Exergy Analysis of Combined Cycle Cogeneration System**" yang melakukan Analisa eksergi dan termoekonomi melalui pendekatan biaya eksergi spesifik .
3. Penelitian Purevsuren Dorj pada 2005 yang berjudul "**Thermo-Economic Analysis of New Geothermal Utilization CHP Plant in Tsetserleg, Mongolia**" yang melakukan analisa eksergi dan termoekonomi dengan menurunkan kadar CO₂.
4. Penelitian Reşat Selbaş, Hilmi, Arzu Şencan pada tahun 2010 dengan judul "**Thermo-Economic Optimization of the Steam Power Plant**" yang melakukan Simulasi eksergi dan termoekonomi dengan program Matlab.
5. Penelitian Roksana Mazurek pada tahun 2011 yang berjudul "**Modeling and Thermo-Economic Analysis of Municipal CHP Station (PEC) in Stargard Szczecinski**" yang melakukan analisa eksergi termoekonomi melalui kombinasi bahan bakar.
6. Penelitian Jie Xiong, Haibo Zhao, Chao Zhang, Chuguang Zheng, dan Peter B. Luh" pada 2012 dengan judul "**Thermo-Economic Operation Optimization of a Coal-Fired Power Plant**" yang melakukan analisa eksergi dan termoekonomi melalui optimasi lokal dan global.
7. Penelitian Ranjit Desai pada 2013 dengan judul "**Thermo-Economic Analysis of a Solar Thermal Power Plant With a Central Tower Receiver for Direct Steam Generator**" yang melakukan simulasi termoekonomi pada solar power plant dengan MATLAB
8. Penelitian Nasruddin dan Pujo pada tahun 2015 dengan judul "**Analisa Energi, Eksergi dan Optimasi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Super Kritis 660 MW**" yang melakukan analisa eksergi dan termoekonomi pada pembangkit superkritis.

Seluruh penelitian tersebut merupakan aplikasi dari analisa eksergi yang dikembangkan dalam buku "*Thermal Design and Optimization*" yang kemudian diaplikasikan pada pembangkit yang berbeda dengan bentuk analisa ekonomi yang disesuaikan dengan kebutuhan pembangkit tersebut.

Sebagai langkah awal, seluruh penelitian tersebut menggunakan analisa eksergi. Analisa Eksergi akan mengevaluasi kesetimbangan eksergi pada setiap kondisi aliran fluida. Pada perhitungan eksergi terdapat 4 komponen utama yaitu eksergi fisik, eksergi kimia eksergi kinetik dan eksergi potensial dimana rumus total eksergi (Bejan,1996) adalah:

$$E^{TOT} = E^{KN} + E^{PT} + E^{PH} + E^{CH} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

$$E^{TOT} = \text{Eksergi Total (kW)}$$

$$E^{KN} = \text{Eksergi Kinetik (kW)}$$

$$\begin{aligned} E^{PT} &= \text{Eksergi Potensial (kW)} \\ E^{PH} &= \text{Eksergi Fisik (kW)} \\ E^{CH} &= \text{Eksergi Kimia (kW)} \end{aligned}$$

Pada penelitian ini analisa eksergi akan mengabaikan eksergi kinetik dan eksergi potensial serta perubahan eksergi akibat pengaruh nuklir, magnetik, listrik dan interpasial sehingga total eksergi pada aliran hanya akan terdiri dari 2 komponen utama, yaitu eksergi fisik dan eksergi kimia. Sehingga perhitungan untuk total eksergi (Bejan, 1996) adalah:

$$E^{TOT} = E^{PH} + E^{CH} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

$$\begin{aligned} E^{TOT} &= \text{Eksergi Total (kW)} \\ E^{PH} &= \text{Eksergi Fisik (kW)} \\ E^{CH} &= \text{Eksergi Kimia (kW)} \end{aligned}$$

Eksergi fisik merupakan eksergi yang berhubungan dengan perubahan tekanan dan temperatur dalam aliran. Eksergi fisik dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Bejan, 1996):

$$E^{PH} = m [(h - h_0) - T_0(s - s_0)] \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

$$\begin{aligned} E^{PH} &= \text{Eksergi Fisik (kW)} \\ m &= \text{Laju Fluida (kg/s)} \\ h &= \text{Entalpi Fluida (kJ/kg)} \\ h_0 &= \text{Entalpi Lingkungan (kJ/kg)} \\ T_0 &= \text{Temperatur Lingkungan (°C)} \\ S &= \text{Entropi Fluida (kJ/kg °C)} \\ S_0 &= \text{Entropi Lingkungan (kJ/kg °C)} \end{aligned}$$

Eksergi kimia merupakan eksergi yang berhubungan dengan perubahan senyawa kimia. Eksergi kimia dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Bejan, 1996):

$$E^{CH} = m \times e^{CH} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

$$\begin{aligned} E^{CH} &= \text{Eksergi Kimia (kW)} \\ m &= \text{Laju Fluida (kg/s)} \\ e^{CH} &= \text{Nilai Eksergi Molar (kJ/kmol)} \end{aligned}$$

Dengan nilai e^{CH} dapat dihitung melalui persamaan berikut (Bejan, 1996):

$$e^{CH} = \frac{e^{-CH}}{M} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

$$\begin{aligned} e^{CH} &= \text{Nilai Eksergi Molar (kJ/kmol)} \\ M &= \text{Massa Molekul Relatif (kg/kmol)} \\ e^{-CH} &= \text{Nilai Eksergi Molar standar (kJ/kmol)} \end{aligned}$$

Dan eksergi kimia molar standar dapat dicari pada tabel C1 dan C2 pada buku *Thermal Design and Optimization* (Bejan, 1996) ataupun dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} e_F^{-CH} = \overline{HHV}(T_0, P_0) - T_0 \left[\bar{S}_F + \left(a + \frac{1}{4} b \right) \bar{S}_{O_2} - a \bar{S}_{CO_2} - \frac{1}{2} b \bar{S}_{H_2O} \right] (T_0, P_0) + \\ \left\{ a e_{CO_2}^{-CH} + \frac{b}{2} e_{H_2O}^{-CH} - \left(a + \frac{b}{4} \right) e_{O_2}^{-CH} \right\} \end{aligned} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

- e^{-CH} = Nilai Eksergi Molar standar (kJ/kmol)
- HHV = Heat Heating Value
- T_o = Temperatur Lingkungan ($^{\circ}C$)
- P_o = Tekanan Lingkungan (bar)
- S = Entropi Fluida (kJ/kg $^{\circ}C$)
- a,b = konstanta molar pembakaran

Konsep eksergi yang musnah melengkapi konsep termodinamika dalam mencari ketidakefisienan suatu sistem pembangkit. Laju eksergi yang musnah pada suatu komponen dapat dicari dengan mencari selisih antara eksergi yang masuk dan eksergi yang keluar dengan persamaan sebagai berikut (Bejan, 1996):

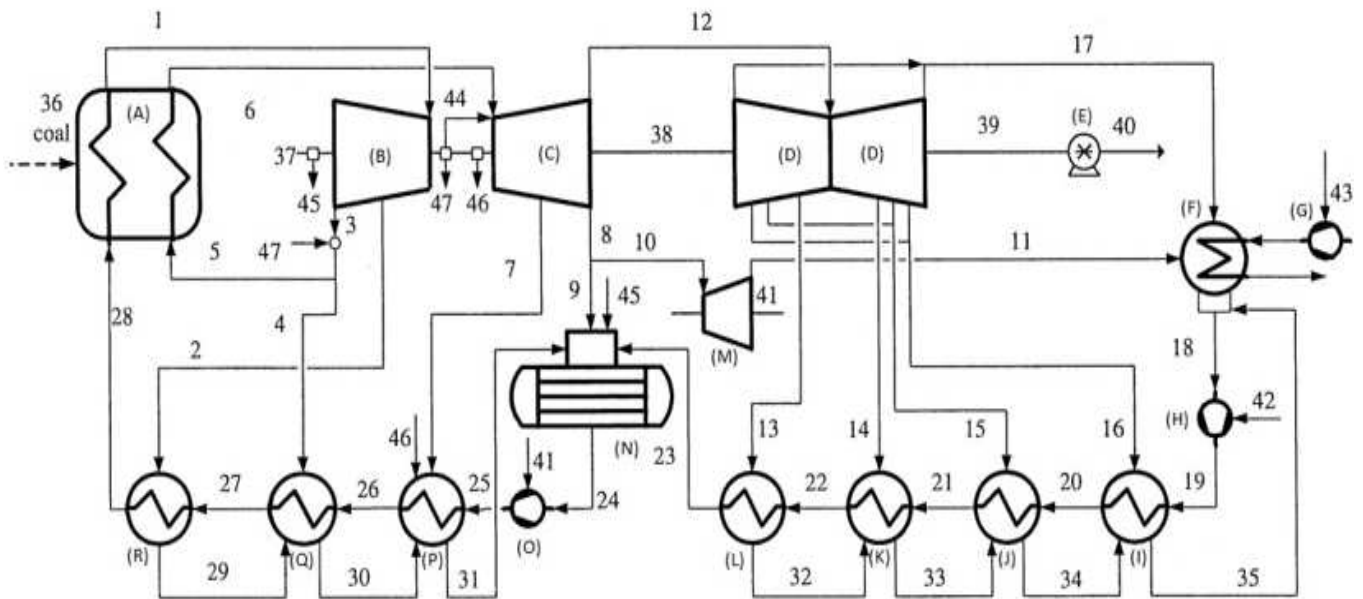
$$E_D = E_{in} - E_{out} \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan:

- E_D = Eksergi yang musnah (kW)
- E_{in} = Eksergi fluida masuk (kW)
- E_{out} = Eksergi fluida keluar (kW)

Metodologi Penelitian

Langkah pertama dalam analisa eksergi adalah mendefinisikan objek penelitian. Untuk menganalisa energi dan eksergi, diperlukan diagram alir dari PLTU Banten 3 Lontar. Karena unit 1, 2 dan 3 adalah unit yang identik, maka cukup dilakukan analisis pada unit 1 saja. Diagram alir unit 1 Banten 3 Lontar dapat dilihat pada gambar 1:



Keterangan :

- | | | | |
|------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| (A). Boiler | (E). Generator | (J). Feedwater Heater 6 | (O). Pompa Feedwater |
| (B). Turbin Tekanan Tinggi | (F). Kondensor | (K). Feedwater Heater 5 | (P). Feedwater Heater 3 |
| (C). Turbin Tekanan Menengah | (G). Pompa aliran air | (L). Feedwater Heater 4 | (Q). Feedwater Heater 2 |
| (D). Turbin Tekanan Rendah | (H). Pompa air kondenser | (M). Pompa Feedwater turbin | (R). Feedwater Heater 1 |
| | (I). Feedwater Heater 7 | (N). Deaerator | |

Gambar 1 Diagram Alir PLTU Banten 3 Lontar

Langkah selanjutnya adalah pengambilan data. Analisa energi dan eksergi dilakukan dengan menggunakan data data primer berupa logsheet data operasi dan pemeliharaan

serta laporan bulanan operasional PLTU Banten 3 Lontar. Penelitian ini menggunakan data laporan operasional pada bulan Februari 2016 dimana laporan tersebut adalah data terbaru yang diterbitkan dan telah divalidasi oleh bagian operasional dan bagian pemeliharaan PLTU Banten 3 Lontar (Pengambilan data dilakukan pada awal bulan April 2016).

Data yang ditemukan pada laporan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Kondisi operasi komponen meliputi laju aliran massa, tekanan, temperatur dan daya yang dibangkitkan.
2. Hasil uji kimia komposisi batubara yang digunakan.
3. Nilai kalor batu bara dan biaya pemakaian batu bara

Data-data tersebut kemudian menjadi data mentah untuk menghitung keseimbangan energi dan keseimbangan eksergi. Analisa energi yang dilakukan adalah menghitung besar aliran massa, entalpi dan entropi pada setiap aliran pada Gambar 1. Sedangkan analisa eksergi yang akan dilakukan adalah menghitung keseimbangan eksergi terkait dengan eksergi fisik, eksergi kimia dan eksergi yang musnah pada masing-masing komponen.

Untuk memudahkan analisa eksergi, telah dibuatkan 3 buah tabel dengan format sebagai berikut:

1. Tabel keseimbangan energi
2. Tabel keseimbangan eksergi
3. Tabel rasio laju eksergi yang musnah

Hasil dan Pembahasan

Analisa pertama yang dilakukan adalah analisa energi. Analisa energi yang dilakukan adalah menghitung keseimbangan massa dan energi pada seluruh aliran pada gambar 1. Terdapat 47 titik aliran fluida pada gambar 1 yang telah ditentukan nilai sifat termodinamikanya. Data laju aliran fluida, temperatur dan tekanan dari masing-masing titik dapat ditemukan pada laporan operasional. Sedangkan untuk entalpi dan entropinya dapat ditentukan melalui tabel sifat termodinamika untuk air pada buku *Fundamental of Engineering Thermodynamic*^[12] yang ditulis oleh Moran dan Shaphiro.

Tabel analisa energi dari Unit 1 PLTU Banten 3 Lontar dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 1 Keseimbangan Energi PLTU Banten 3 Lontar

Nomor Aliran	Fasa Aliran	Laju aliran massa (kg/s)	Tekanan (bar)	Temperatur (C)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kg K)
1	Uap	256,17	161,70	537,78	3404,00	6,4350
2	Uap	19,38	58,67	376,71	3117,72	6,4528
3	Uap	236,79	36,49	341,36	3080,20	6,6023
4	Uap	19,57	37,16	295,81	2959,71	6,3908
5	Uap	217,22	36,49	341,36	3080,20	6,6023
6	Uap	217,22	35,50	537,85	3536,83	7,2604
7	Uap	13,06	18,15	384,57	3217,50	7,1264
8	Uap	20,28	8,91	345,37	3150,56	7,3429
9	Uap	10,14	8,91	345,37	3150,56	7,3429
10	Uap	10,14	8,91	345,37	3150,56	7,3429
11	Uap	10,14	1,06	345,37	3166,26	8,3443
12	Uap	183,89	8,91	345,37	3150,56	7,3429
13	Uap	7,37	1,06	345,37	3166,26	8,3443
14	Uap	7,96	1,06	345,37	3166,26	8,3443
15	Uap	6,49	1,06	345,37	3166,26	8,3443
16	Uap	8,04	1,06	345,37	3166,26	8,3443

17	Uap	154,04	1,06	345,37	3166,26	8,3443
18	Air	194,03	0,89	29,29	122,85	0,4269
19	Air	194,03	14,46	29,29	124,09	0,4266
20	Air	194,03	14,46	78,61	330,23	1,0579
21	Air	194,03	14,46	123,31	518,72	1,5623
22	Air	194,03	14,46	140,27	591,06	1,7409
23	Air	194,03	14,46	152,60	644,06	1,8672
24	Air	256,17	8,39	177,70	2783,87	6,6757
25	Air	256,17	177,79	177,70	761,99	2,0953
26	Air	256,17	178,19	210,41	905,51	2,4025
27	Air	256,17	178,60	249,52	1084,07	2,7573
28	Air	256,17	179,00	272,02	1192,16	2,9596
29	Air	19,38	59,91	269,54	1182,58	2,9703
30	Air	38,94	36,05	217,17	931,00	2,4890
31	Air	52,00	17,60	194,36	827,22	2,2767
32	Uap	7,37	1,06	222,69	2920,11	7,9009
33	Uap	15,33	1,06	144,13	2764,46	7,5591
34	Air	21,82	1,06	91,76	384,40	1,2130
35	Air	29,85	1,06	34,53	144,77	0,4988
36	Uap	7,37	161,70	537,78	3404,00	6,4350
37	Uap	7,37	1,06	34,53	144,77	0,4988
38	Uap	7,37	1,06	34,53	144,77	0,4988
39	Uap	7,96	1,06	345,37	2592,84	8,3443
40	Uap	7,96	1,06	345,37	2592,84	8,3443
41	Uap	7,37	1,06	345,37	3166,26	8,3443
42	Air	19,38	59,91	269,54	1182,58	2,9703
43	Air	19,38	59,91	269,54	1182,58	2,9703
44	Uap	8,04	1,06	34,53	144,77	0,4988
45	Uap	8,04	1,06	34,53	144,77	0,4988
46	Uap	6,49	1,06	34,53	144,77	0,4988
47	Uap	6,49	1,06	34,53	144,77	0,4988

Data sifat termodinamika ini merupakan data awal untuk menghitung eksergi. Dapat kita lihat pada persamaan (3) dan (4), bahwa untuk menghitung eksergi diperlukan data termodinamika terkait dengan laju aliran massa, entalpi aliran, dan entropi aliran. Tekanan dan temperatur lingkungan di lontar adalah 25°C dan 1 atm. Dengan demikian, melalui tabel sifat udara pada buku *Fundamental of Engineering Thermodynamic*^[12] didapatkan entalpi udara lingkungan adalah sebesar 104,93 kJ/kg dan entropi udara lingkungan sebesar 0,36723 kJ/kg K.

Dengan merujuk ke persamaan (3) dan (4) pada persamaan sebelumnya maka didapatkan nilai dari eksergi pada setiap aliran adalah sebagai berikut:

Tabel 2 Keseimbangan Eksergi PLTU Banten 3 Lontar

Nomor Aliran	Fasa Aliran	Eksergi Fisik (kW)	Eksergi Kimia (kW)	Eksergi Total ¹ (kW)	Eksergi Total ² (MW)
1	Uap	381.683,81	122.802,22	504.486,04	504,49

2	Uap	22.463,35	9.289,89	31.753,24	31,75
3	Uap	263.923,12	113.512,33	377.435,46	377,44
4	Uap	20.717,32	9.379,43	30.096,75	30,10
5	Uap	242.115,38	104.132,91	346.248,28	346,25
6	Uap	299.053,82	104.132,91	403.186,73	403,19
7	Uap	14.328,77	6.259,69	20.588,45	20,59
8	Uap	18.567,43	9.720,73	28.288,15	28,29
9	Uap	9.283,71	4.860,36	14.144,08	14,14
10	Uap	9.283,71	4.860,36	14.144,08	14,14
11	Uap	6.924,52	4.860,36	11.784,89	11,78
12	Uap	168.378,88	88.152,49	256.531,37	256,53
13	Uap	807,02	3.531,55	4.338,58	4,34
14	Uap	871,84	3.815,19	4.687,02	4,69
15	Uap	711,17	3.112,10	3.823,27	3,82
16	Uap	880,24	3.851,94	4.732,17	4,73
17	Uap	16.874,16	73.841,72	90.715,88	90,72
18	Air	26,06	93.012,86	93.038,91	93,04
19	Air	283,89	93.012,86	93.296,75	93,30
20	Air	3.760,58	93.012,86	96.773,44	96,77
21	Air	11.153,09	93.012,86	104.165,95	104,17
22	Air	14.856,75	93.012,86	107.869,60	107,87
23	Air	17.833,48	93.012,86	110.846,34	110,85
24	Air	204.441,83	122.802,22	327.244,05	327,24
25	Air	36.329,74	122.802,22	159.131,96	159,13
26	Air	49.637,44	122.802,22	172.439,66	172,44
27	Air	68.278,62	122.802,22	191.080,85	191,08
28	Air	80.517,97	122.802,22	203.320,19	203,32
29	Air	5.843,59	9.289,89	15.133,48	15,13
30	Air	7.534,43	18.669,32	26.203,75	26,20
31	Air	7.955,31	24.929,00	32.884,32	32,88
32	Uap	4.191,92	3.531,55	7.723,48	7,72
33	Uap	7.896,81	7.346,74	15.243,54	15,24
34	Air	595,86	10.458,84	11.054,70	11,05
35	Air	18,31	14.310,77	14.329,09	14,33
36	Uap	10.976,48	3.531,55	14.508,04	14,51
37	Uap	4,52	3.531,55	3.536,07	3,54
38	Uap	4,52	3.531,55	3.536,07	3,54
39	Uap	871,84	3.815,19	4.687,02	4,69
40	Uap	871,84	3.815,19	4.687,02	4,69
41	Uap	5.031,38	3.531,55	8.562,93	8,56
42	Air	5.843,59	9.289,89	15.133,48	15,13
43	Air	5.843,59	9.289,89	15.133,48	15,13
44	Uap	4,93	3.851,94	3.856,87	3,86
45	Uap	4,93	3.851,94	3.856,87	3,86

46	Uap	3,98	3.112,10	3.116,08	3,12
47	Uap	3,98	3.112,10	3.116,08	3,12

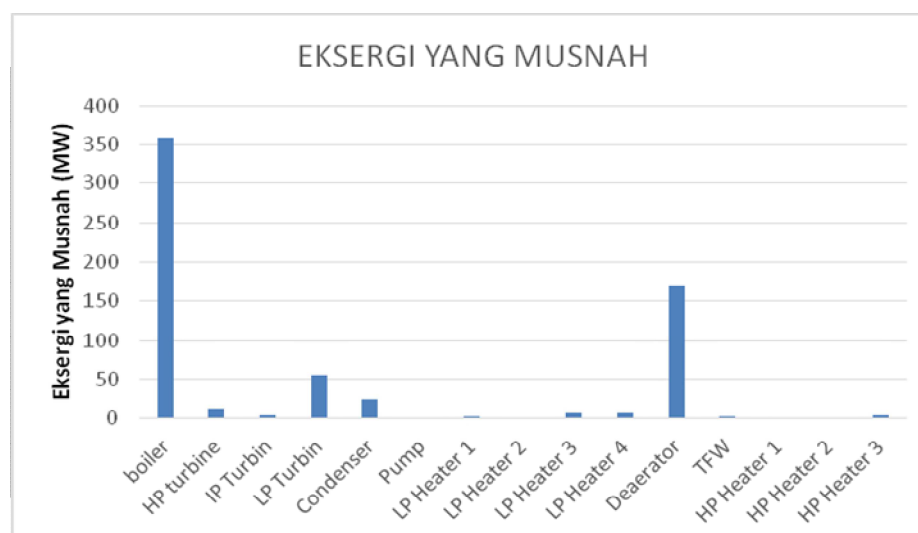
Pada masing-masing aliran terdapat 2 jenis eksergi, yaitu eksergi fisik yang merupakan nilai eksergi berdasarkan sifat termodinamika pada aliran tersebut. Dan yang kedua adalah eksergi kimia yang merupakan nilai eksergi atas molaritas fluida aliran yaitu dalam PLTU unit 3 Banten adalah air. Kedua jenis eksergi ini kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan total eksergi pada masing-masing aliran.

Besar eksergi yang musnah pada masing-masing komponen diperoleh dari selisih antara eksergi dari fluida yang masuk dan eksergi dari fluida yang keluar pada suatu komponen seperti pada persamaan (7). Aliran fluida yang masuk dan keluar dari sistem dapat merujuk kepada Diagram Alir PLTU Banten 3 Lontar (Gambar 1), sedangkan besaran ekserginya dapat merujuk kepada tabel 2. Berdasarkan data tersebut diperoleh besar eksergi yang musnah sebagai berikut:

Tabel 3 Eksergi yang musnah PLTU Banten 3 Lontar

Komponen	Eksergi yang musnah
	(MW)
Boiler	358,10
HP turbine	11,91
IP Turbin	4,50
LP Turbin	54,90
Condenser	23,79
Pump	0,26
LP Heater 1	2,02
LP Heater 2	0,62
LP Heater 3	6,54
LP Heater 4	6,36
Deaerator	169,37
Pompa Feedwater	2,36
HP Heater 1	0,60
HP Heater 2	0,39
HP Heater 3	4,38

Berdasarkan tabel 3 tersebut, dapat diketahui bahwa ketidakefisienan tertinggi terdapat pada komponen boiler dengan besar eksergi yang musnah sebesar 358,1 MW. Sedangkan kedua terbesar terdapat pada deaerator dengan besar eksergi yang musnah sebesar 169,37 MW dimana komponen ini memiliki kerugian yang cukup signifikan dibanding komponen yang lain. Berikut disampaikan grafik gambaran eksergi yang musnah pada PLTU Banten 3 Lontar:



Gambar 2 Grafik Eksergi yang Musnah pada PLTU Banten 3 Lontar

Penentuan lokasi dan besar dari eksergi yang musnah ini juga dapat menjadi referensi bagi manajemen PLTU Banten 3 Lontar dalam melakukan pemeliharaan jangka panjang.

Kesimpulan

- Kajian analisa penurunan performa PLTU Banten 3 Lontar sangat diperlukan mengingat PLTU ini telah beroperasi semenjak Desember 2013.
- Penurunan performa ini dapat diidentifikasi baik lokasi dan besarnya melalui analisa energi dan analisa eksergi dari kondisi operasi PLTU Banten 3 Lontar.
- Identifikasi dari penurunan performa masing-masing komponen dilakukan melalui perhitungan eksergi yang musnah.
- Analisa eksergi yang musnah pada PLTU Banten 3 Lontar mengidentifikasi bahwa Boiler memiliki tingkat kerugian tertinggi dan harus segera dilakukan tindakan proaktif untuk memperbaiki performa Boiler tersebut. Sedangkan turbin, condenser dan deaerator merupakan komponen yang berada dalam kondisi dapat digunakan dengan perhatian khusus mengingat perlunya tindakan perbaikan atas komponen untuk menjaga performa dari pembangkit. Sedangkan komponen lainnya masih dalam batas aman untuk penggunaan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada PLTU Banten 3 Lontar yang telah menyediakan data operasi yang digunakan pada penelitian ini.

Daftar pustaka

Adrian Bejan, George Tsatsaronis, Michael Moran; 1996, *Thermal Design and Optimization*, New York, John Wiley and Son.

Can Özgür Çolpan, 2005, *Exergy Analysis of Combined Cycle Cogeneration System*, Master Theses, Middle East Technical University, Turkey.

George Tsatsaronis, 1993, *Thermoeconomic Analysis and Optimization of Energy System*, Prog. Energy Combustion Sci, vol 19, pp. 227-257

Miguel Angel Lozano, Antonio Valero, Luis Serra, 1993, *Theory of Exergetic Cost and Thermoeconomic Optimization*, Energy System and Ecology, Vol I, pp 339 -350.

Moran-Shapiro, 1999, *Fundamental of Engineering Thermodynamics*, 4th Ed. Willey, USA.