

Analisis Energi dan Eksergi Pembangkit Listrik Tenaga Gas-Uap Blok 1 Unit Pembangkitan Gresik

Arif Kurniawan Putra¹; Henry Pariaman²

^{1,2} Institut Teknologi PLN ² PT. Pembangkitan Jawa-Bali
¹ arifputra620@gmail.com

ABSTRACT

This research is about streamlining energy and efficiency in Steam Gas Power Plants. One of the analytical methods used to find out the energy in the generating system is twofold, namely the energy analysis method and the exergy analysis. In the energy analysis it can be seen the thermal efficiency of a development site can not be known the magnitude of the loss of the system. At Gresik PLTGU, there has been a research on the thermal efficiency of the Gresik PLTGU, but no one has done exergy calculations for the 3-3-1 power plant arrangement, this research needs to be done. Assessment by the author uses the results of performance test data in order to get maximum results. In the calculation, the Block 1 Gresik PLTGU has a thermal efficiency of 59,37% and an exergy efficiency of 52,82%.

Keywords: PLTGU, Energy, Exergy, Gresik

ABSTRAK

Penelitian ini tentang menganalisis efisiensi energi dan efisiensi eksergi pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap. Salah satu metode analisis yang digunakan untuk mengetahui energi yang berada dalam suatu sistem pembangkit ada dua, yaitu metode analisis energi dan analisis eksergi. Dalam analisis energi dapat diketahui efisiensi termal dari suatu pembangkit tetapi tidak dapat mengetahui besar kerugian sistem tersebut. Pada PLTGU Gresik, sudah ada yang melakukan penelitian tentang efisiensi termal dari PLTGU Gresik tetapi belum ada yang melakukan perhitungan eksergi untuk konfigurasi 3-3-1 pembangkit sehingga perlu dilakukan penelitian ini. Perhitungan yang dilakukan penulis menggunakan hasil data performance test agar mendapatkan hasil yang maksimal. Dalam perhitungan didapat bahwa PLTGU Gresik blok 1 memiliki efisiensi termal 59,37% dan efisiensi eksergi 52,82%.

Kata kunci: PLTGU, Energi, Eksergi, Gresik

1. PENDAHULUAN

Di Indonesia, dengan semakin meningkatnya kegiatan industri dan jumlah penduduknya, maka kebutuhan energi listrik juga mengalami peningkatan. Dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik maka pemanfaatan energi listrik harus seefisien mungkin agar dapat dirasakan oleh seluruh penduduk Indonesia.

PT. PJB UP Gresik merupakan salah satu pembangkit listrik yang dimiliki di daerah Gresik, Jawa Timur yang memproduksi listrik dalam kapasitas yang sangat besar untuk di salurkan secara interkoneksi Jawa-Bali. PT. PJB UP Gresik memiliki 3 jenis pembangkit yaitu PLTG, PLTU & PLTGU, yang terdiri dari 2 unit PLTG, 4 unit PLTU dan 3 blok PLTGU dengan kapasitas total 2219 MW [1].

Seiring dengan hal tersebut, maka pemanfaatan sumber energi seefisien mungkin perlu dilakukan. Dengan melakukan analisis energi berdasarkan hukum termodinamika I merupakan metode yang paling umum digunakan dalam analisa sistem termal, hanya saja metode ini memiliki kekurangan karena tidak dapat mengukur kualitas energi yang terpakai sistem [3]. Maka untuk mengkaji lebih mendalam kualitas energi tersebut digunakanlah analisis eksergi. Analisis eksergi ini menggunakan rumusan matematik berdasarkan hukum termodinamika II, dimana proses termodinamika selalu tidak ideal sehingga terjadi penurunan kualitas energi [3]. Analisis eksergi ini akan menganalisa secara menyeluruh pada tiap komponen/subsistem pada sistem pembangkit serta melakukan pengoptimalan, maka efisiensi sistem pembangkit akan meningkat.

Metode analisis eksergi ini sesuai dengan tujuan yang lebih jauh dalam kaitan pengelolaan sumber daya yang efisien, karena cara ini mampu mengidentifikasi lokasi, jenis serta besarnya kerugian [2] sedangkan metode analisis energi merupakan sebuah metode untuk mengetahui kinerja suatu alat dengan menganalisis siklus energi yang terjadi. Metode ini mengaplikasikan hukum pertama termodinamika. Metode ini cukup efektif karena dalam penggunaannya hanya memerlukan data record harian yang ada [4]. Selain itu, hal lain yang perlu diperhatikan adalah menentukan kondisi kerja pembangkit yang paling optimal agar dapat mencapai nilai efisiensi paling tinggi [5]. Secara pengkajian, dapat dilihat bahwa hasil efisiensi energi lebih besar daripada hasil efisiensi eksergi [6]. Hal ini terjadi karena pada efisiensi eksergi, nilai entalpi dan nilai entropi menjadi kualitas energi yang akan dihasilkan sebab semakin tinggi entropi maka kualitas energinya rendah.

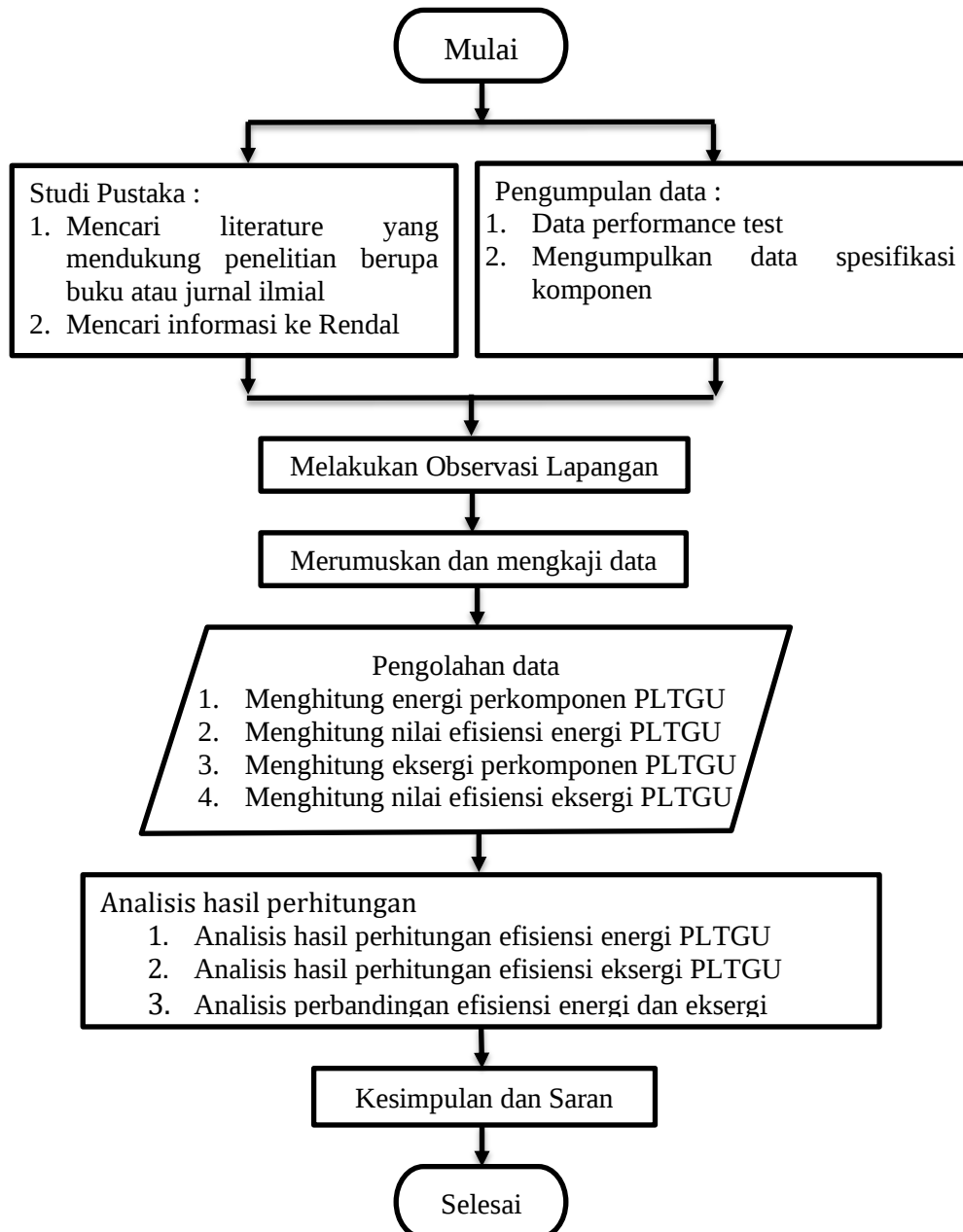
Energi merupakan konsep dasar termodinamika dan merupakan salah satu aspek penting dalam analisis teknik [8]. Analisis energi dilakukan berdasarkan pada hukum pertama termodinamika. Degradasi energi tidak dihitung jika menggunakan hukum pertama. Sedangkan eksergi merupakan energi yang dapat dimanfaatkan (*available energi*) atau ukuran ketersediaan energi untuk melakukan kerja teoritik maksimum yang dapat diperoleh hingga sistem tersebut mencapai kesetimbangan dengan lingkungannya [8].

Salah satu kegunaan utama dari konsep eksergi adalah keseimbangan energi dalam analisis sistem termal. Analisis eksergi merupakan metode untuk mengidentifikasi jenis, lokasi dan besarnya kerugian termal. Identifikasi kerugian ini memungkinkan untuk evaluasi dan perbaikan desain suatu sistem termal. Metode analisis eksergi dapat menunjukkan kualitas dan kuantitas kerugian panas dan lokasi degradasi energi (mengukur dan mengidentifikasi penyebab degradasi energi).

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

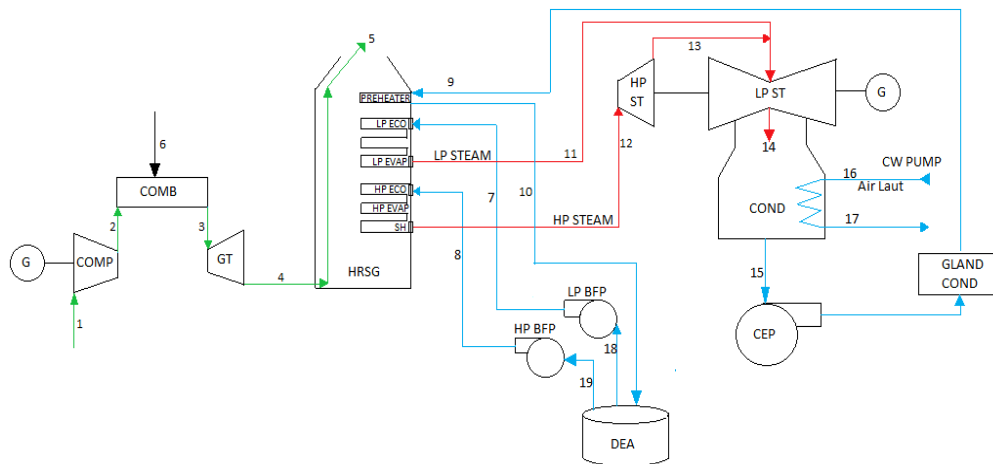
2.1. Metode Penelitian

Berikut ini merupakan diagram alir agar mempermudah penelitian ini :



2.2. Metode Perhitungan

2.2.1. Perhitungan Energi



Gambar 1. Skema Sistem Aliran PLTGU Gresik

• Menentukan Laju Aliran Massa

Untuk menentukan laju massa, udara dan gas terlebih dahulu perlu untuk menentukan laju massa bahan bakar dan *air-fuel ratio* dengan menggunakan persamaan (15):

$$\dot{m}_{bb} = \frac{V_{bb} \times SG_{bb} \times \rho_u}{3600} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dan untuk *air-fuel ratio*, dengan persamaan [15]:

$$\frac{\dot{W}_{generator}}{\eta_{generator}} = \left[1 + \frac{A}{F} \right] \times \dot{m}_{bb} (h_3 - h_4) - \left[\frac{A}{F} \right] \times \dot{m}_{bb} (h_2 - h_1) \dots\dots\dots (2.2)$$

Sehingga kemudian laju massa udara dan gas dapat dicari dengan persamaan (15):

$$\dot{m}_u = \frac{A}{F} \times \dot{m}_{bb} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\dot{m}_g = \dot{m}_u + \dot{m}_{bb} \dots\dots\dots (2.4)$$

• Menentukan Temperatur dan Entalpi Ideal

Untuk menentukan perhitungan temperatur ideal udara keluar kompresor (T_2') dengan menggunakan persamaan (8):

$$T_2' = T_1 \times \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} \dots\dots\dots (2.5)$$

Kemudian menentukan perhitungan temperatur ideal gas keluar turbin gas (T_4') dengan persamaan :

$$T_4' = T_3 \times \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{(k-1)/k} \dots\dots\dots (2.6)$$

Perhitungan kerja komponen diperlukan untuk dapat menentukan energi yang dihasilkan pada setiap komponen PLTGU serta agar dapat menentukan efisiensi perkomponen PLTGU dan efisiensi thermal PLTGU. Rumus-rumus yang digunakan dapat dilihat sebagai berikut (15):

➤ Compressor

Kerja kompresor ($\dot{W}_{comp}$) dalam kj/s dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\frac{\dot{W}_{comp}}{\dot{m}_u} = h_2 - h_1 \dots\dots\dots (2.7)$$

Efisiensi kompresor (%) dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\eta_{comp} = \frac{(h_{2I} - h_1)}{(h_2 - h_1)} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

➤ *Combustor*

Pada keadaan ini panas yang ditambahkan (Q_{in}) dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}_{bb}} = LHV \dots\dots\dots (2.9)$$

Efisiensi *combustor* (%) dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\eta_{comb} = \frac{(\dot{m}_u + \dot{m}_{bb}) \times h_3 - (\dot{m}_u \times h_2)}{(\dot{m}_{bb} \times LHV)} \times 100\% \quad (2.11)$$

➤ *Gas Turbine*

Kerja turbin gas ($\dot{W}_{GT}$) dalam kJ/s dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\frac{\dot{W}_{GT}}{\dot{m}_g} = h_3 - h_4 \dots\dots\dots (2.10)$$

Efisiensi turbin gas (%) dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\eta_{GT} = \frac{(h_3 - h_4)}{(h_3 - h_{4'})} \times 100\% \dots\dots\dots (2.11)$$

➤ *HRSG*

Kerja HRSG ($\dot{W}_{HRSG}$) dalam kJ/s dapat diperoleh dengan persamaan :

$$Q_{in} = \dot{m}_g \times C_p \times (h_4 - h_5) \dots\dots\dots (2.12)$$

$$Q_{out} = (\dot{m}_{11} \times h_{11}) + (\dot{m}_{12} \times h_{12}) - (\dot{m}_7 \times h_7) - (\dot{m}_8 \times h_8) \dots\dots\dots (2.13)$$

Efisiensi HRSG (%) dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\eta_{HRSG} = \frac{Q_{output}}{Q_{input}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.14)$$

➤ *Condensor*

Kerja kondensor (Q_k) dalam kJ/s dapat diperoleh dengan persamaan :

$$Q_k = \dot{m}_{in} \times h_{fg} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\text{Energi loss} = \dot{m}_{14} \times (h_{14} - h_{15}) - Q_k \dots\dots\dots (2.16)$$

Efisiensi Kondensor (%) dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\eta_{cond} = 1 - \frac{\text{Energi loss}}{\dot{m}_{14} \times (h_{14} - h_{15})} \times 100\% \dots\dots\dots (2.17)$$

➤ *Pompa*

Pada keadaan ini kerja pompa ($\dot{W}_p$) dalam kJ/s dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\dot{W}_p = \dot{m} \times (h_{out} - h_{in}) \dots\dots\dots (2.18)$$

Efisiensi pompa (%) dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\eta_p = \frac{\dot{W}_p}{v \times i \times \cos \phi \times \sqrt{3}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.19)$$

➤ *Steam Turbine*

Perhitungan kerja *Steam Turbine* aktual yaitu :

$$\begin{aligned} \dot{W}_{ST, \text{aktual}} = & (\dot{m}_{12} \times h_{12}) + (\dot{m}_{11+13} \times h_{11+13}) - (\dot{m}_{13} \times (h_{13} - h_{14})) \\ & + (\dot{m}_{11+13} \times (h_{11+13} - h_{14})) \dots\dots\dots (2.20) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{W}_{ST, \text{ideal}} = & (\dot{m}_{12} \times h_{12}) + (\dot{m}_{11+13} \times h_{11+13}) - (\dot{m}_{13} \times (h_{13(isentropis)} - h_{14})) \\ & + (\dot{m}_{11+13} \times (h_{11+13(isentropis)} - h_{14})) \dots\dots\dots (2.21) \end{aligned}$$

Efisiensi Steam Turbin (%) dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\eta_{ST} = \frac{\dot{W}_{ST, \text{aktual}}}{\dot{W}_{ST, \text{ideal}}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.22)$$

Dari semua proses perhitungan kerja komponen dapat diketahui efisiensi termal siklus Brayton melalui persamaan berikut :

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}_{GT} + \dot{W}_{ST} - \dot{W}_{comp} - \dot{W}_{CEP} - \dot{W}_{HP, BFP} - \dot{W}_{LP, BFP}}{Q_{in}} \dots\dots\dots (2.23)$$

2.2.2. Perhitungan Eksergi

- Eksergi fisik berkaitan dengan temperatur dan tekanan dari fluida kerja sistem, eksergi fisik pada setiap *state* tertentu dinyatakan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$E^{PH} = \dot{m} [(h_k - h_0) - T_0(s_k - s_0)] \dots\dots\dots (2.24)$$

- Untuk menghitung eksergi fisik suatu gas ideal atau dalam penelitian ini adalah metana dapat menggunakan rumus :

$$E^{PH} = \dot{m}RT_0 \ln \frac{P_k}{P_0} \dots\dots\dots (2.25)$$

- Untuk menentukan eksergi kimia molar dari udara pembakaran atau gas hasil pembakaran yang terdiri dari berbagai unsur gas dapat menggunakan persamaan :

$$e^{CH} = \sum x_k e_k^{CH} + RT_0 \sum x_k \ln x_k \dots\dots\dots (2.26)$$

- Eksergi kimia molar pada komponen dapat ditentukan, selanjutnya eksergi kimia suatu komponen dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$E^{CH} = \frac{\dot{m}e^{CH}}{M} \dots\dots\dots (2.27)$$

Untuk mencari eksergi *fuel* dan produk dapat dicari menggunakan persamaan pada tabel dibawah :

Tabel 1. Eksergi *fuel* dan produk setiap komponen

Komponen	Eksergi <i>Fuel</i>	Eksergi Produk
Compressor	$\dot{X}_1 + \dot{W}_c$	$\dot{X}_2$
Gas Turbine	$\dot{X}_3$	$\dot{X}_4 + \dot{W}_{GT} - \dot{W}_{comp}$
Combustor	$\dot{X}_6 + \dot{X}_2$	$\dot{X}_3$
Komponen	Eksergi <i>Fuel</i>	Eksergi Produk
HRSG	$\dot{X}_4 - \dot{X}_5$	$(\dot{X}_9 - \dot{X}_8) + (\dot{X}_{12} - \dot{X}_{11})$
Low Pressure BFP	$\dot{X}_{18} + \dot{W}_{LPBFP}$	$\dot{X}_7$
High Pressure BFP	$\dot{X}_{19} + \dot{W}_{HPBFP}$	$\dot{X}_8$
Condensate Ext Pump (CEP)	$\dot{X}_{15} + \dot{W}_{CEP}$	$\dot{X}_9$
Steam Turbine	$\dot{X}_{11} + \dot{X}_{12} + \dot{X}_{13}$	$\dot{X}_4 + \dot{W}_{ST}$
Condensor	$\dot{X}_{14} + \dot{X}_{16}$	$\dot{X}_{15} + \dot{X}_{17}$

Persamaan umum untuk menghitung kehancuran eksergi tersebut adalah:

$$E_f - E_p = E_D \dots\dots\dots (2.28)$$

Efisiensi eksergi tiap komponen dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\eta_k = \frac{\dot{E}_{xproduk}}{\dot{E}_{xfuel}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.29)$$

Efisiensi eksergi siklus PLTGU dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\eta_x = \frac{W_{GT} + W_{ST} - W_{comp} - W_{CEP} - W_{HP,BFP} - W_{LP,BFP}}{E_{CH_6}^{tot}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.30)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dengan menggunakan analisis energi dan analisis eksergi pada PLTGU Gresik blok 1 dengan konfigurasi sistem 3-3-1 didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Analisis Energi

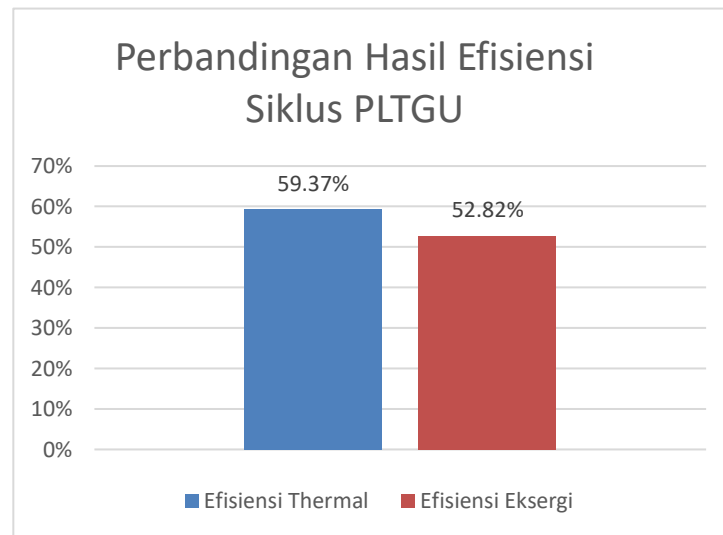
	Unit 1		Unit 2		Unit 3	
Komponen	Kerja (MW)	Efisiensi (%)	Kerja (MW)	Efisiensi (%)	Kerja (MW)	Efisiensi (%)
Compressor	96,991	82,42	97,857	81,74	91,986	82,06
Gas Turbine	196,991	91,44	198,463	91,38	192,390	91,12
Combustor	269,285	84,78	272,899	84,84	278,321	82,07
HRSG		70,69		66,15		63,43
Bagian Turbin Uap						
	Kerja (MW)		Efisiensi (%)			
LP BFP	1,90877		92,87			
HP BFP	5,505		92,72			
CEP	0,74881		98,95			
Steam Turbine	194,271		72,73			
Condensor			98,98			

Tabel 3. Hasil Perhitungan Analisis Eksergi Unit 1

	Eksergi Fuel & Produk		Exergy Destruction	Efisiensi
	Fuel	Produk		
Compressor	96,991	32,8963	64,0950	0,3392
GT	190,6023	149,9529	40,6495	0,7867
Combustor	335,5730	190,6023	144,9707	0,5680
HRSG	46,2545	29,8375	16,4170	0,6451
Bagian Turbin Uap				
	Eksergi Fuel & Produk		Exergy Destruction	Efisiensi
	Fuel	Produk		
LP BFP	13,2877	11,8415	1,4462	0,8912
HP BFP	39,8154	35,6317	4,1837	0,8949
CEP	36,6589	36,6217	0,0372	0,9990
Steam Turbine	331,5873	234,0395	97,5478	0,7058
Condensor	60,4050	56,5268	3,8782	0,9358

Dengan rumus yang sama seperti diatas, gunakan untuk mencari eksergi pada unit 2 dan 3.

Gambar 2. Perbandingan Efisiensi Energi dan Efisiensi Eksergi



Berdasarkan hasil perhitungan data keseluruhan antara menggunakan metode analisis energi dan metode analisis eksergi didapatkan bahwa analisis energi menghasilkan efisiensi siklus sebesar 59,37% dan jika menggunakan metode analisis eksergi menghasilkan efisiensi siklus sebesar 52,82%. Perbedaan ini terletak pada metode yang digunakan. Pada metode analisis eksergi untuk menghasilkan efisiensi memperhitungkan seluruh aspek kuantitas dan kualitas energi yang terlibat secara detail dan rinci pada proses sistem sehingga efisiensi yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan analisis energi. Sedangkan pada analisis energi, hanya dapat mengukur kuantitas energi yang terpakai dan kualitas energi yang terpakai sistem tidak dapat diukur.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan tentang “Analisis Energi Dan Eksergi Pembangkit Listrik Tenaga Gas-Up Blok 1 Unit Pembangkitan Gresik” dengan menggunakan data *performance test* pada tanggal 8 Mei 2019 didapat beberapa kesimpulan, yaitu penggunaan temperatur lingkungan untuk menghitung komponen *compressor* berakibat pada kecilnya nilai efisiensi eksergi komponen tersebut, perhitungan efisiensi perkomponen dengan menggunakan metode analisis energi memiliki hasil efisiensi yang lebih besar dibandingkan dengan menggunakan metode analisis eksergi, lokasi kehancuran eksergi yang paling besar terletak pada *combustor*, dan efisiensi siklus energi pada blok 1 PLTGU Gresik yaitu sebesar 59,37% dan efisiensi siklus eksergi sebesar 52,82%. Penyebab perbedaan nilai efisiensi thermal dengan efisiensi eksergi yaitu efisiensi thermal tidak memperhitungkan kehilangan energi di sepanjang sistem. Sedangkan untuk hasil efisiensi eksergi memperhitungkan kehilangan energi (*exergy destruction*).

4.2. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan didapat beberapa saran, yaitu untuk penelitian selanjutnya diharapkan adanya variasi beban agar lebih banyak mengetahui efisiensi yang dihasilkan dari pembangkit tersebut dan bila perlu dilakukannya pengkajian tentang termoekonomi/eksergonomi, agar diketahui nilai efisiensi secara ekonomi dari siklus yang dibandingkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT PJB UP Gresik yang telah memberi dukungan yang membantu pelaksanaan penelitian dan secara khusus kepada Bapak Rudi Dwi Prasetyo yang telah sabar membimbing harian selama di PT PJB UP Gresik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Academy, R. Academy, And S. S. Trakt, “Sustainability-Report-2017-PT-Pembangkitan-Jawa-Bali,” PP. 1–21.
- [2] I. D. Santoso, H. Aryto, And S. Ferdinand, “Analisis Energi Dan Eksergi Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLT) PT . Tanjung Enim Lestari Pulp And Paper.”
- [3] P. Sundari, B. Rudyanto, And B. Hariyono, “Kajian Eksergi Pembangkit Listrik Tenaga Gas (Studi Kasus di PT . Indonesia Power Up Perak-Grati),” *Jsti*, Vol. 17, No. 3, PP. 81–88, 2015.
- [4] J. Mekanika, T. Jmst, M. F. Putra, D. S. Wijayanto, and N. A. Pambudi, “Analisis Energi Terhadap Performa Boiler Tipe Fluidized Bed Combustion,” *J. Mek. Dan Sist. Termal*, Vol. 1, No. 3, PP. 77–82, 2016.
- [5] N. ; Pujo Satrio, “Analisa Energi , Exergi Dan Optimasi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Super Kritis 660 MW,” *Univ. Indonesia.*, No. Snttm XIV, PP. 7–8, 2015.
- [6] M. H. Ginting, T. Suryo, And K. Rozi, “Analisa Efisiensi Exergi Boiler Di Pltu Unit 3 PT . Indonesia Power Semarang – Jawa Tengah,” *J. Tek. Mesin S-1*, Vol. 2, No. 1, PP. 16–25, 2014.
- [7] R. Kurniawan And Mulfihazwi, “Analisa Performansi Pembangkit Listrik Tenaga Gas,” *J. E-Dinamis*, Vol. 10, No. 2, PP. 101–107, 2014.
- [8] M. J. Moran And H. N. Shapiro, *Fundamentals Of Engineering Thermodynamics*, 5th Edition, Vol. 181, No. 4615. 2006.
- [9] M. M. El-Wakil, “Powerplant Technology.” 1998.
- [10] I. B. Rahardja And W. Paryatmo, “Analisa dan Optimasi Sistem PLTGU Biomassa Gas Metan Dengan Daya 20 MW,” *J. Teknol.*, Vol. 9, No. 2, P. 65, 2017.
- [11] N. Gusnita And K. S. Said, “Analisa Efisiensi dan Pemanfaatan Gas Buang Turbin Gas Alstom Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Kapasitas 20 MW,” *J. Sains, Teknol. Dan Ind.*, Vol. 14, No. 2, PP. 209–218, 2017.
- [12] A. Bejan, *Thermal Design and Optimization*, Vol. 21, No. 5. 2003.
- [13] D. Santoso Et Al., “Analisis Eksergi Siklus Kombinasi Turbin Gas-Uap,” PP. 26–27, 2011.
- [14] A. Sugiyono, “Studi Pendahuluan Untuk Analisis Energi-Exergi Kota Jakarta Laporan Teknis Direktorat Teknologi Konversi Dan Konservasi Energi Deputi Bidang Teknologi Informasi , Energi , Material Dan Lingkungan,” Direktorat Teknol. Konversi Dan Konserv. Energi Deputi Bid. Teknol. Informasi, Energi, Mater. Dan Lingkungan. BPPT, 2000.
- [15] I. S. B, G. Nugroho, And Sarwono, “Analisa Termoekonomi Pada Sistem Kombinasi Turbin Gas – Uap PLTGU PT PJB Unit Pembangkitan Gresik,” *J. Tek. Pomits*, Vol. 1, No. 1, PP. 1–6, 2012.
- [16] P. K. PLTG, “Analisa Keseimbangan Eksergi Pada Sistem,” P. 87.