

ANALISA EFISIENSI EXERGI PADA HRSG (HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR) DI PLTGU

*Yongki Afrianto¹, MSK. Tony Suryo U.², Berkah Fajar T.K²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: mast_amar@yahoo.com

Abstrak

HRSG (Heat Recovery Steam Generator) adalah suatu komponen kesatuan antara turbin gas dan turbin uap pada system siklus kombinasi (combine cycle) power plant. HRSG berfungsi sebagai alat yang memanfaatkan gas buang dari turbin gas. Gas buang ini memiliki temperature cukup tinggi sehingga dapat dipakai untuk mengubah air menjadi uap kering. Uap kering tersebut dipakai untuk memutar turbin uap yang digunakan untuk memanaskan air pada pipa-pipa dalam HRSG. Hinga menjadi uap kering yang kemudian digunakan untuk memutar turbin uap. Pada paper ini membahas termodinamika pada HRSG yang terdapat didalam aspek analisa exergi. Analisa exergi berguna untuk mengidentifikasi penggunaan energi atau kualitas terhadap konsumsi energi aktual dan kehilangan energi akibat ireversibilitas proses. Exergi dapat mengalami destruksi melalui sifat ireversibilitas proses dan perpindahan kalor ke lingkungan. Tujuan penelitian adalah menganalisa efisiensi exergi, efisiensi energi dan exergi destruksi pada HRSG. Dari hasil perhitungan analisa efisiensi exergi adalah sebesar 60.28 %, efisiensi energi 47.6799 % dan exergi destruksi sebesar 38.603 MW. Poin penting lainnya, temperature lingkungan atau ambient temperature, tekanan pada lingkungan serta laju aliran massa pada masing-masing komponen HRSG merupakan faktor yang mempengaruhi nilai efisiensi exergi, efisiensi energi dan laju destruksi.

Kata kunci: HRSG; Exergi Destruksi; Energi; Exergi

Abstract

HRSG (Heat Recovery Steam Generator) is a component of the unity between the gas turbine and steam turbine cycle system combination (the combine cycle) power plant. HRSG serves as a tool that utilizes exhaust gas from gas turbines. Exhaust gas has a temperature high enough so it can be used to convert water into steam to dry. The dry steam is used to spin the turbine steam used to heat the water in the pipes in the HRSG. Until becoming drier steam which is then used to turn a steam turbine. On this paper discusses thermodynamics on the aspects contained in the HRSG analysis exergi. Exergi analysis useful to identify energy usage or quality against actual energy consumption and the loss of energy due to the ireversibilitas process. Exergi can experience the destruction through the nature of the ireversibilitas process and the transfer of heat into the environment. The purpose of the research is to analyze the efficiency of exergi, energy efficiency and on destruction exergi HRSG. From the results of the calculation efficiency analysis exergi is of 60.28%, energy efficiency 47.6799% and the destruction of exergi 38.603 MW. Other important points, temperature or ambient temperature environment, pressure on the environment as well as the mass flow rate in each of the components of the HRSG is a factor that affects the value of efficiency exergi, energy efficiency and the rate of destruction.

Keywords: HRSG; Exergi Destruction; Energy; Exergi

1. Pendahuluan

Pada umumnya sumber energi untuk sistem-sistem pembangkit tenaga gas/uap berkapasitas besar didominasi oleh bahan bakar fosil yang saat ini persediaanya semakin menipis dan aplikasinya selalu menciptakan emisi gas-gas rumah kaca. Sebagai konsekuensinya, perancangan dan pengoperasian sistem pembangkit tenaga yang baik menjadi sangat penting sehingga konsumsi energi dan emisi gas-gas rumah kaca dapat dikurangi. Analisis exergi merupakan piranti yang menarik untuk memenuhi kebutuhan ini karena dapat mengidentifikasi lokasi atau kerugian eksergi dan tingkat ketidakefisienan dari sistem pembangkit tenaga. Dengan demikian analisis exergi memberikan informasi yang diperlukan untuk meningkatkan kinerja sistem pembangkit tenaga secara sistematis dan efisien. Exergi adalah kerja maksimum teoretis yang mampu diperoleh saat sistem kombinasi berinteraksi dalam mencapai kesetimbangan atau juga dapat diartikan sebagai potensial kerja atau kualitas dari berbagai bentuk energi dalam kaitannya dengan lingkungan tertentu. Sistem kombinasi terdiri dari tiga bagian yaitu sistem, batas sistem, dan lingkungan yang didefinisikan dengan T_o dan P_o . Pada suatu sistem kondisi yang terjadi selalu mencapai keadaan baru akibat interaksi kerja dan kalor dengan sekitarnya. Oleh karena exergi berkaitan dengan keadaan baru yang

menyimpang dari keadaan awal akibat interaksi kerja dan kalor sistem dengan sekitarnya, maka perpindahan exergi diasumsikan dengan interaksi kalor dan kerja. Selain itu, perpindahan exergi juga memperhitungkan pemusnahan exergi (*destruction of exergy*) yang disebabkan oleh ireversibilitas di dalam sistem. Maka dari itu analisa exergi bertujuan untuk mengidentifikasi terjadinya pemusnahan exergi dan timbulnya kerugian-kerugian akibat perpindahan exergi yang mendampingi kalor dan kerja serta mengurutkannya dari kerugian terbesar.

(HRSG) *Heat Recovery Steam Generator* merupakan salah satu komponen dari pembangkit listrik yang menggunakan prinsip combine cycle dimana digunakan dua turbin yaitu turbin gas sebagai turbin utama atau turbin gas pertama dan turbin uap sebagai turbin kedua. Pembangkit listrik yang menggunakan turbin gas atau mesin disel tentu menghasilkan panas dalam jumlah yang besar dan panas itu dapat dikatakan sebagai sisa pembakaran. Gas panas yang keluar sebagai hasil proses pembakaran pada turbin gas (exhaust) sangat tinggi temperaturnya, yaitu sekitar 5000°C . Gas tersebut digunakan untuk membangkitkan uap. Prinsip dasar (HRSG) hampir sama dengan boiler, uap yang dihasilkan pada *hrsg* tentunya uap yang mempunyai tekanan yang lebih rendah dibandingkan dengan uap yang dihasilkan oleh boiler yaitu sekitar 80 bar sampai 100 bar, untuk high pressure sistem. Efektifitas penggunaan energi pada sistem gas turbine heat recovery adalah fungsi dari energi yang dipindahkan oleh exhaust gas turbine. Dibandingkan dengan unit lain (*utility* maupun *cfb boiler*) *hrsg* memiliki dimensi yang unitnya jauh lebih kecil dan sistem yang sederhana (karena tidak memiliki unit burner) namun kapasitas mega watt yang dihasilkan tidak sebesar *utility* maupun *cfb (Circulate Fluidized Bed) boiler*.

Pada prinsipnya antara HRSG dan boiler adalah sama yaitu suatu peralatan yang digunakan untuk mengubah air menjadi uap dengan bantuan panas. Yang mendasari dari perbedaan ini adalah sumber panas yang digunakan untuk membangkitkan uap. Pada HRSG sumber panas utama yang digunakan untuk membangkitkan uap berasal dari energi panas yang terkandung dalam gas buang turbin gas/*pltg* yang dialirkan masuk kedalam HRSG untuk memanaskan pipa-pipa pemanas. Sedangkan pada boiler/ketel uap, sumber panas yang digunakan berasal dari pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar. Kecuali perbedaan yang sangat mendasar tersebut, perbedaan lainnya adalah HRSG tidak mempunyai ruang bakar, tidak ada sistem bahan bakar, tidak ada sistem udara dan tidak ada penghembus jelaga/soot blower.

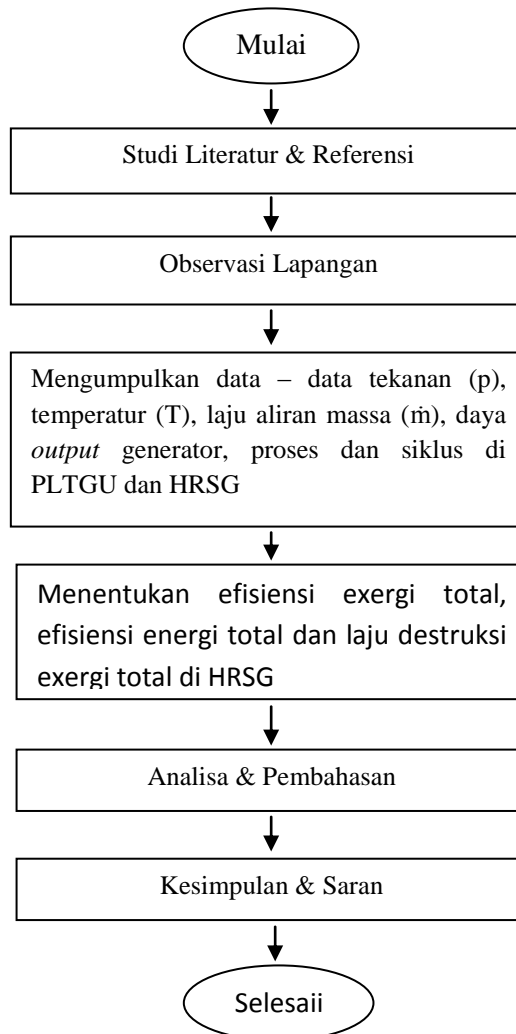
Secara umum HRSG terdiri dari preheater, ekonomizer, evaporator dan superheater. Komponen- komponen penyusun HRSG tersebut merupakan alat penukar kalor jenis tubular atau pipa dengan fluida kerja (air/uap) berada di dalam dan gas buang berada di luar. Panas/kalor dipindahkan dari gas buang tersebut secara konveksi ke fluida kerja dan oleh karena gas buang dari turbin gas bersih dari partikel maka dimungkinkan penggunaan *tube* atau pipa bersirip untuk meningkatkan laju perpindahan panas dan mengurangi ukuran *tube* HRSG tersebut. Untuk pembangkit listrik gabungan, optimalisasi recovery generator uap panas (HRSG) menjadi bagian khusus dalam rangka meningkatkan efisiensi pemanfaatan kembali panas dari gas buang turbin dan untuk memaksimalkan produksi listrik dalam siklus uap. Optimasi termodinamika adalah langkah pertama dari proses desain optimasi pembangkit listrik. Dalam menganalisis optimasi gabungan, termodinamika pembangkit pemulihan uap panas (HRSG) menjadi bagian khusus dalam rangka meningkatkan efisiensi pemulihan panas dari gas buang turbin dan untuk memaksimalkan daya yang dihasilkan dalam siklus uap. Pada saat yang sama itu merupakan sarana untuk mengurangi dampak lingkungan dan emisi dari polusi. Sebuah optimasi rinci HRSG tergantung pada geometri permukaan (tabung bersirip, pring dan sirip) dan pada pengaturan aliran, tetapi langkah pertama adalah optimalisasi parameter operasional dengan suhu saturasi yang sesuai seperti rasio aliran massa, gas dan suhu inlet cair dan tingkat tekanan [1].

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan nilai *exergy physical* dan *exergy chemical* yang terjadi di HRSG dan menentukan nilai *exergy destruction* tiap-tiap komponen di HRSG. a.Menentukan nilai efisiensi exergy HRSG dan efisiensi energi secara keseluruhan dan efisiensi tiap-tiap komonen.



Gambar 1. Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) [2]

2. Metode Penelitian
 2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

2.2 Metode Perhitungan

2.2.1 Rumus yang digunakan untuk menghitung efisiensi Energi

$$\eta_{\text{HRSG}} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{\{(h_{\text{HPShout}} - h_{\text{HPShin}})m + (h_{\text{HPHfg}})m + (h_{\text{LPSHout}} - h_{\text{LPSHin}})m\}}{h_{\text{Gasin}} - h_{\text{Gasout}}m_{\text{gas}}} + \frac{\{(h_{\text{HPEcoout}} - h_{\text{HPEcoin}})m + (h_{\text{LPHfg}})m + (h_{\text{LPEcoout}} - h_{\text{LPEcoin}})m\}}{h_{\text{Gasin}} - h_{\text{Gasout}}m_{\text{gas}}} \times 100\%$$

2.2.2 Rumus yang digunakan untuk menghitung efisiensi exergi

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}_{\text{Product}}}{\dot{E}_{\text{fuel}}} \times 100\%$$

2.2.3 Rumus yang digunakan untuk menghitung exergi destruksi

$$0 = \sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) \dot{Q}_j - \dot{W}_{cv} + \sum_j \dot{m}_i e_{fi} - \sum_j \dot{m}_e e_{fe} - \dot{E}_d$$

3. Hasil Dan Analisa

3.1 Data operasional HRSG

Tabel 1. Data operasional HRSG dan GTG

No	ITEM	Satuan	GTG 1.1	GTG 1.2	GTG 1.3	GTG 2.1	GTG 2.2	GTG 2.3
1	Ambient Temp.	°C	30.00	30.00		31.00	30.00	
2	CPD	Bar	9.91	9.93	10.18	-	-	-
3	Exhaust Temp.	°C	542.00	547.00	-	560.00	560.00	-
4	MW output	MW	92.00	91.50	-	91.40	96.00	-
5	FQLm	Kg/s	8.58	8.80	-	7.25	7.21	-
Data	HHV HSD	KJ/kg	42875.49	42875.49	42875.49	42875.49	42875.49	42875.49
	ηGTG	%	25.01%	24.25%		29.40%	31.05%	
	Pr4		51.38	52.61	0.00	55.85	55.85	0.00
	Pr3		509.18	522.37	0.00	0.00	0.00	0.00
	h4	Kj/Kg	838.47	843.98	0.00	858.34	858.34	0.00
	h3	Kj/Kg	1565.95	1576.09	0.00	0.00	0.00	0.00
	m3	Kg/s	505.68	515.37		-362.15	-360.15	

Tabel 2 data operasional HRSG

HRSG								
No	ITEM	Satuan	HRSG 1.1	HRSG 1.2	HRSG 1.3	HRSG 2.1	HRSG 2.2	HRSG 2.3
6	Tgas In	°C	537.00	547.00		558.00	562.00	
7	Tgas Out	°C	174.00	181.00		215.00	198.00	
	h gas in	Kj/Kg	838.47	843.98	0.00	858.34	858.34	0.00
	h gas out	Kj/Kg	448.75	466.12	0.00	500.97	483.55	0.00
	q gas buang	MW	54.74	54.09		-35.95	-37.50	-

High Press. (HP) HRSG								
8	SH Mass flow	Kg/s	35.28	38.33		40.56	33.06	
9	SH. Press. Inlet	Bar	53.50	54.80		55.70	53.60	
10	SH. Temp. Inlet	°C	267.00	263.00		2,714.00	269.00	

11	SH. Press. Outlet	Bar	48.80	51.40		52.90	51.40	
12	SH. Temp. Outlet	°C	512.00	514.00		515.00	515.00	
SH	hinlet	Kj/kg	2,763.62	2,763.62	2,762.02	2,760.38	2,760.38	2,760.38
	houtlet	Kj/kg	3,446.72	3,429.33	3,452.02	3,437.09	3,443.27	3,443.72
	q	MW	6.69	7.09	0.00	7.62	6.27	0.00
13	Evap. Mass flow	Kg/s	9.65	11.27	0.00	11.42	9.03	0.00
14	Evap. Press	Bar	53.50	54.80		55.70	53.60	
15	Evap. Temp	°C	267.00	263.00		2,714.00	269.00	
Eva	hfg	Kj/kg	1,469.74					
	q	MW	3.63					
16	Eco. Mass flow	Kg/s	34.72	40.56		41.11	32.50	
17	Eco. Press. Inlet	Bar	120.00	116.00		119.00	122.00	
18	Eco. Temp. Inlet	°C	161.00	161.00		159.00	163.00	
19	Eco. Press. Outlet	Bar	53.50	54.80		55.70	53.60	
20	Eco. Temp. Outlet	°C	267.00	263.00		2,714.00	269.00	
Eco	hinlet	Kj/kg	666.79	666.79	672.43	666.79	666.79	662.45
	houtlet	Kj/kg	1,300.87	1,306.32	1,311.78	1,284.64	1,306.32	1,300.87
	q	MW	6.12	7.20	0.00	7.06	5.77	0.00

Low pressure (LP) HRSG

21	SH Mass flow	Kg/s	3.03	5.00		2.81	7.97	
22	SH. Press. Inlet	Bar	5.74	5.25		5.66	5.13	

23	SH. Temp. Inlet	°C	161.00	161.00		159.00	163.00	
24	SH. Press. Outlet	Bar	6.10	5.16		5.95	5.11	
25	SH. Temp. Outlet	°C	316.00	308.00		331.00	334.00	
SH	hinlet	Kj/kg	2,744.96	2,753.05	2,753.28	2,759.40	2,752.17	2,749.68
	houtlet	Kj/kg	3,221.05	3,119.17	3,129.30	3,100.76	3,131.82	3,100.62
	q	MW	0.40	0.51	0.00	0.27	0.84	0.00
26	Evap. Mass flow	Kg/s	0.84	1.39	0.00	0.78	2.21	0.00
27	Evap. Press.	Bar	5.74	5.25		5.66	5.13	
28	Evap. Temp.	°C	161.00	161.00		159.00	163.00	
Eva	hfg	Kj/kg	2,094.58					
	q	MW	0.45					
29	Eco. Mass flow	Kg/s	48.06	51.94		40.83	41.67	
30	Eco. Press. Inlet	Bar	16.80	17.10		16.80	16.80	
31	Eco. Temp. Inlet	°C	46.80	46.80		39.50	39.50	
32	Eco. Press. Outlet	Bar	5.74	5.25		5.66	5.13	
33	Eco. Temp. Outlet	°C	161.00	161.00		159.00	163.00	
Eco	hinlet	Kj/kg	666.79	666.79	672.43	666.79	666.79	662.45
	houtlet	Kj/kg	1,300.87	1,306.32	1,311.78	1,284.64	1,306.32	1,300.87
	q	MW	8.46	9.23	0.00	7.01	7.40	0.00

Tabel 2. Efisiensi Energi, Efisiensi Exergi dan Exergi destruksi

No	Uraian	Keterangan
1	Efisiensi Energi	$\eta = 47.6799 \%$
2	Efisiensi Exergi	$\epsilon = 60.28 \%$
2	Exergi Destruksi	38.603 MW

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil kaji analisa yang telah dilakukan serta uraian analisa dan pembahasan adalah nilai *exergy physical* pada *product* diperoleh sebesar 58,755.36 MW dan *exergy physical fuel* 97,464.26 MW. Nilai *exergy chemical* 0 hal ini disebabkan pengaruh exergi kimia pada proses sistem pltgu terutama pada bagian hrsg sangat kecil dikarenakan tidak terjadinya proses pembakaran bahan bakar. Nilai efisiensi *exergy hrsg* diperoleh sebesar 60.28 % dan nilai efisiensi energi 47.6799 %. Serta nilai *exergy destruction* diperoleh sebesar 38.603 MW

5. Daftar Pustaka

- [1]. Bejan, Adrian, George Tsatsaronis and Michael Moran. 1996. *Thermal Design & Optimization*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- [2]. Moran, Michael J. and Howard N. Shapiro. 2006. *Fundamental Of Engineering Thermodynamics*, Ed. 5. England: John Wiley & Sons Ltd.