

ANALISIS PENGARUH PEMAKAIAN BAHAN BAKAR TERHADAP EFISIENSI *HRSG KA13E2* DI MUARA TAWAR *COMBINE CYCLE POWER PLANT*

Anwar Ilmar Ramadhan^{1,*}, Ery Diniardi¹, Hasan Basri², Dhian Trisnadi Setyawan¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta

²Jurusan Otomotif dan Alat Berat, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta
Jl. Cempaka Putih Tengah No 27 Jakarta Pusat 10510

E-mail: anwar.ilmar@ftumj.ac.id

Abstrak

Heat Recovery Steam Generator (HRSG) adalah suatu komponen kesatuan antara turbin gas dan turbin uap pada sistem *combine cycle power plant*. *HRSG* berfungsi sebagai alat yang memanfaatkan energi panas gas buang dari *gas turbine* untuk memanaskan air pada *tube - tube* yang berada di dalam *HRSG*, sehingga air berubah menjadi uap panas lanjut untuk memutar turbin uap. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi *HRSG* pada saat turbin gas beroperasi menggunakan bahan bakar *natural gas* untuk dibandingkan dengan pada saat turbin gas beroperasi menggunakan bahan bakar *high speed diesel*. Hasil perhitungan efisiensi *HRSG* yang optimal terjadi pada *load set* 100 %, dimana pada saat turbin gas beroperasi menggunakan bahan bakar *natural gas*, efisiensi energi yang dicapai sebesar 71.13 % dan efisiensi *thermal* sebesar 83.15 %. Hasil yang lain menunjukkan bahwa pada saat beroperasi menggunakan bahan bakar *high speed diesel*, efisiensi energi yang dicapai sebesar 70.26 % dan efisiensi *thermal* yang dicapai sebesar 73.35%.

Kata Kunci : *HRSG, combined cycle power plant, turbin gas, turbin uap, efisiensi*

Abstract

The analysis on the effect of the fuel consumption to the efficiency of *HRSG KA13E2* in the combined cycle power plant in Muara Tawar. Heat Recovery Steam Generator (*HRSG*) is a construction to connect the gas turbine and the steam turbine in a combined cycle power plant. The *HRSG* employs the energy from the exhaust gas of a gas turbine to heat the water in its tubes, thus the superheated vapor is produced to drive the steam turbine. In this research, it calculates the *HRSG* efficiency based on the fuel consumption, in order to compare *HRSG* efficiency when the gas turbine is operated with natural gas and when gas turbine is operated with the high speed diesel fuel. The result shows the optimal *HRSG* efficiency is at load set of 100 %, whereas when the gas turbine is operated with natural gas, the energy efficiency is 71.13 % and the thermal efficiency is 83.15 %. Another result shows that when the gas turbine is operated with high speed diesel, the energy efficiency is 70.26 % and the thermal efficiency is 73.35 %.

Keywords: *HRSG, combined cycle power plant, gas turbine, steam turbine, efficiency*

1. Pendahuluan

PT PLN (Persero) mencatat konsumsi listrik Indonesia rata – rata tumbuh 9% per tahun dalam 14 tahun terakhir. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan energi listrik sebanding dengan pertumbuhan ekonomi. Energi listrik dapat diperoleh dengan pembangunan pembangkit listrik,

baik pembangkit *thermal* maupun *non-thermal* (Sukatnak, 2012)

Muara Tawar *Combine Cycle Power Plant* merupakan salah satu pembangkit *thermal* milik PT PLN (Persero) yang dioperasikan oleh PT. Pembangkitan Jawa Bali. Salah satu keunggulan dari pembangkit listrik jenis *Combine Cycle* adalah fleksibilitas dalam pemakaian bahan bakar.

Meskipun Pemerintah telah menekankan untuk meminimalisir penggunaan bahan bakar minyak dalam operasi pembangkit listrik, tapi pada kenyataannya ketersediaan bahan bakar gas belum dapat terpenuhi (Pusdiklat PLN, 2010 dan Amirul, 2011).

Dalam instalasi *Combine Cycle Power Plant* terdapat peralatan yang dinamakan *HRSG (Heat recovery Steam Generator)*. Keuntungan penggunaan *HRSG* yang paling prinsip dibanding dengan *boiler* adalah peningkatan efisiensi. Hal ini disebabkan *HRSG* memanfaatkan gas buang dari *gas turbine* sebagai sumber *kalor* sehingga tidak memerlukan bahan bakar dan udara sebagai pemanas (Amirul,2011 dan Rakhman, 2015).

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efisiensi yang dicapai oleh *HRSG* pada saat *gas turbine* beroperasi menggunakan bahan bakar *natural gas* maupun saat beroperasi menggunakan bahan bakar *high speed diesel*.

2. Metode Penelitian

Menurut Setyoko (2006), metode analisis data secara kualitatif dapat digunakan pada penelitian yang menggunakan pendekatan kualitatif. Pada analisis ini tidak menggunakan alat statistik, namun dilakukan dengan membaca tabel – tabel, grafik – grafik atau angka – angka yang tersedia kemudian melakukan uraian dan penafsiran.

Pada penelitian ini digunakan dua variabel dalam proses pengumpulan data, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai dari variabel terikat. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah beban operasi dari pembangkit listrik. Pada penelitian ini beban operasi divariasikan dalam tiga kondisi operasi yaitu pada saat *Load set* 0 %, 75 % dan 100 %.

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tertentu dan diperoleh dari variabel bebas, atau merupakan data yang diperoleh dari pengamatan operasi pembangkit listrik berdasar *load set* seperti yang telah ditentukan pada variabel bebas.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis data secara kualitatif dengan melakukan studi literatur dan studi lapangan yang dilakukan di tempat yang dijadikan untuk objek penulisan.

Teknik Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengambilan data berupa data operasi *HRSG* pada tiap *Load set* operasi yang berhubungan dengan proses pembakaran. Data ini meliputi parameter *temperature*, *pressure* dan laju aliran massa dari air pengisi dan *steam* yang dihasilkan oleh *HRSG* serta *temperature exhaust turbine gas*, *stack temperature* dan suhu lingkungan (Rakhman, 2015, Dietzel, 1992).

Dari data yang diperoleh kemudian disusun dan dilakukan proses perhitungan meliputi perhitungan *enthalphy* air pengisi dan *steam* yang dihasilkan, perhitungan *enthalphy exhaust turbine gas*, perhitungan daya pompa, perhitungan laju aliran massa *exhaust gas turbine*, perhitungan laju aliran energi yang diperlukan *HRSG* (Q_h), perhitungan laju aliran energi panas gas buang yang diberikan ke *HRSG* (Q_{eg}), perhitungan efisiensi dengan metode energi *balance*, perhitungan efisiensi dengan metode *thermal loss* dan pembuatan grafik sebagai perbandingan hasil penelitian.

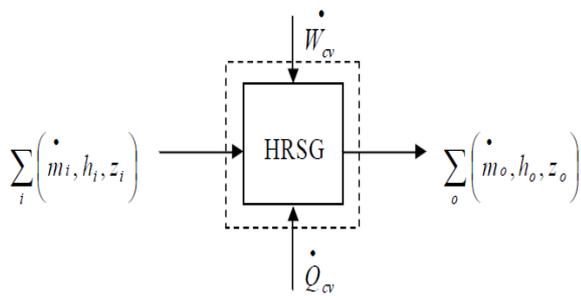
Dari perhitungan yang telah dilakukan kemudian dilakukan analisis dan pembahasan sesuai dengan teori yang ada untuk mengetahui bagaimanakah pengaruh pemakaian bahan bakar terhadap efisiensi *HRSG*. Dari hasil analisis dan pembahasan ini diharapkan dapat menjadi tambahan masukan dalam menentukan pola operasi dan pemilihan bahan bakar agar diperoleh efisiensi yang optimal.

Menghitung Efisiensi HRSG

Setyoko dkk (2006) telah melakukan penelitian kesetimbangan laju energi pada daerah dimana materi dan energi mengalir melaluinya, dituliskan sebagai berikut :

$$\sum_i \dot{m}_i = \sum_o \dot{m}_o \quad (1)$$

Dimana $\sum_o \dot{m}_i$ adalah jumlah laju aliran massa masuk sistem (kg/s) dan $\sum_o \dot{m}_o$ adalah jumlah laju aliran massa keluar sistem (kg/s).



Gambar1. Kestimbangan *massa* pada HRSG [Setyoko, 2006, Moran, 2002]

Kestimbangan laju energi dari gambar tersebut dapat ditulis pada persamaan berikut : (Setyoko, 2006, Moran, 2002)

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \sum_i \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 \right) - \sum_o \dot{m}_o \left(h_o + \frac{v_o^2}{2} + gz_o \right) \quad (2)$$

Dimana E_{cv} adalah energi (KJ/Kg), t adalah waktu (detik), Q adalah panas (KJ/Kg), W adalah kerja (KJ/Kg), m adalah laju aliran masa (Kg/s), h adalah tekanan statis (m), V adalah kecepatan (m/s), g adalah percepatan gravitasi (m/s^2), dan z adalah ketinggian (m)

Untuk mencari besar laju aliran energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut (dengan asumsi sistem dalam kondisi tunak, perubahan laju aliran energi potensial dan laju aliran energi kinetik diabaikan dan adanya kerja yang masuk ke sistem) (Mooran, 2002).

$$\dot{Q}_h = \sum \left(\dot{m}_{18} h_{18} + \dot{m}_8 h_8 \right) - \left(\dot{m}_1 h_1 + \dot{W}_p \right) \quad (3)$$

Gas buang adalah gas yang berasal dari proses pembakaran yang suhunya relatif tinggi terhadap suhu atmosfer. Dalam proses pembakaran tersebut bahan bakar dibakar dengan udara yang akan menghasilkan produk pembakaran yang berupa gas buang yang mengandung berbagai senyawa gas antara lain, H_2O , CO_2 dan N_2 ditambah dengan O_2 ,

jika pemberian udara dilakukan secara berlebihan. Besarnya energi panas yang terkandung dalam gas buang yang diberikan kepada HRSG (Q_{eg}) tersebut dapat diketahui dengan persamaan berikut ini : (Yohana, 2010)

$$\dot{Q}_{eg} = \dot{m}_{eg} C_{p_{eg}} (T_i - T_o) \quad (4)$$

Laju aliran massa udara yang diperlukan dapat diketahui dengan persamaan :

$$\dot{m}_o = AFR \times \dot{m}_f \quad (5)$$

Di mana m_o adalah laju aliran massa udara yang diperlukan, AFR adalah perbandingan udara dan bahan bakar dan m_f adalah laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

Laju aliran massa gas buang dapat diketahui dengan menggunakan persamaan :

$$\dot{m}_{eg} = \sum \left(\dot{m}_f + \dot{m}_o \right) \quad (6)$$

Besarnya efisiensi *thermal HRSG* didefinisikan sebagai perbandingan antara laju energi yang dibutuhkan air menjadi uap panas lanjut (*superheated*) dengan laju aliran energi gas buang di dalam HRSG, dirumuskan sebagai berikut

$$\eta = \frac{\dot{Q}_h}{\dot{Q}_{Eg}} \times 100\% \quad (7)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian terhadap efisiensi HRSG dilaksanakan pada tiga kondisi operasi yang biasa digunakan. Kondisi pertama adalah *Load set 50%*. Pada kondisi ini terjadi pada saat *gas turbine* beroperasi menggunakan bahan bakar *natural gas* dengan beban 73 MW dan beban *steam turbine* 46 MW serta pada saat *gas turbine* beroperasi menggunakan bahan bakar *high speed diesel* dengan beban 65 MW dan beban *steam turbine* 38 MW

DINAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Tabel 1. Data parameter operasi HRSG dengan bahan bakar natural gas

Paramater	Satuan (SI)	50% (119 MW)	75% (181 MW)	100% (244 MW)
<i>HP Steam</i>				
<i>Flow</i>	kg/s	38.2	53	59.5
<i>Temp</i>	°K	856.4	784.15	778.15
<i>Pressure</i>	KPa	3920	5630	6310
<i>LP Steam</i>				
<i>Flow</i>	kg/s	10.3	10.8	15.5
<i>Temp</i>	°K	518.15	505.4	538.15
<i>Pressure</i>	KPa	330	440	570
<i>HP FW</i>				
<i>Flow</i>	kg/s	37.8	52.5	59.0
<i>Temp</i>	°K	330.15	330.15	330.15
<i>Pressure</i>	kPa	10800	9800	9800
<i>LP FW</i>				
<i>Flow</i>	kg/s	23.5	24.6	32
<i>Temp</i>	°K	330.15	330.15	330.15
<i>Pressure</i>	kPa	2074	2023	2024
<i>Feed wtr</i>				
<i>Flow</i>	kg/s	44	60	72
<i>Temp</i>	°K	310.15	313.15	314.15
<i>Pressure</i>	kPa	1095	1095	1111
<i>FW tank</i>				
<i>Temp</i>	°K	329.15	329.15	329.15
<i>Pressure</i>	kPa	80	80	80
<i>Hotwell</i>				
<i>Temp</i>	°K	304.15	303.15	304.15
<i>Pressure</i>	kPa	7.8	7.3	7.8
<i>TStack</i>	°K	387.15	389.15	388.15
<i>TAT</i>	°K	733.15	766	800.15
<i>T_{atm}</i>	°K	304.9	305.3	302.8
<i>Press atm</i>	kPa	101.02	101.02	101.06
<i>FlowBBG</i>	kg/s	6.07	8.15	10.24
<i>Flow udara</i>	kg/s	564	564	564
<i>CP gas</i>	kJ/kg ^o	1.153	1.153	1.153

Tabel 2. Data parameter operasi HRSG dengan menggunakan High Speed Diesel

Paramater	Satuan (SI)	Load 50% (103 MW)	Load 75% (159 MW)	Load 100% (211 MW)
<i>HP Steam</i>				
<i>Flow</i>	kg/s	35.8	48.5	54.7
<i>Temp</i>	°K	716.15	784.15	764.15
<i>Pressure</i>	kPa	3630	5160	5720
<i>LP Steam</i>				
<i>Flow</i>	kg/s	9.9	10.8	15.3
<i>Temp</i>	°K	519.15	532.15	527.15
<i>Pressure</i>	kPa	410	420	460
<i>HP feed wtr</i>				
<i>Flow</i>	kg/s	37.1	48.5	53.2
<i>Temp</i>	°K	418.15	418.15	418.15
<i>Pressure</i>	kPa	10000	9600	9300
<i>LP feed wtr</i>				
<i>Flow</i>	kg/s	30.6	32.2	45.4
<i>Temp</i>	°K	417.14	417.14	417.14
<i>Pressure</i>	kPa	2130	2138	2032
<i>Feed water</i>				
<i>Flow</i>	kg/s	37	50	60
<i>Temp</i>	°K	309.15	311.15	312.15
<i>Pressure</i>	kPa	1107	1131	1098
<i>FW Tank</i>				
<i>Temp</i>	°K	417.15	417.15	417.15
<i>Pressure</i>	kPa	410	410	414
<i>Hotwell</i>				
<i>Temp</i>	°K	305.15	304.15	304.15
<i>Pressure</i>	kPa	7	7.4	7.3
<i>T. Stack</i>	°K	433	434	434
<i>TAT</i>	°K	716.15	759	776.93
<i>T_{atm}</i>	°K	302.4	305.3	304.5
<i>Press atm</i>	kPa	100.72	100.72	100.84
<i>FlowBBM</i>	kg/s	5.66	7.53	9.68
<i>Flow udara</i>	kg/s	564	654	564
<i>CP gas</i>	kJ/kg ^o	1.153	1.153	1.153

Kondisi kedua adalah *Load set 75%*. Pada kondisi ini, *gas turbine* beroperasi menggunakan bahan bakar *natural gas* dengan beban 115 MW dan beban *steam turbine* 66 MW serta pada saat *gas turbine* beroperasi menggunakan bahan bakar *high speed diesel* dengan beban 102 MW dan beban *steam turbine* 57 MW.

Kondisi ketiga adalah *Load set 100%*, dimana pada saat *gas turbine* beroperasi menggunakan bahan bakar *natural gas* dengan beban 167 MW dan beban *steam turbine* 77 MW serta pada saat *gas turbine* beroperasi menggunakan bahan bakar *high speed diesel* dengan beban 146 MW dan beban *steam turbine* 65 MW

Hasil data parameter operasi *HRSG* saat *gas turbine* beroperasi menggunakan bahan bakar *natural ga* dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil data parameter operasi *HRSG* saat *gas turbine* beroperasi menggunakan bahan bakar *high speed diesel* dapat dilihat pada Tabel 2.

Untuk menghitung efisiensi *HRSG* dengan bahan bakar *natural gas*, tahap pertama adalah menghitung laju aliran energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap (Q_h) dengan mengambil data dari Tabel 2, yang merupakan parameter operasi pada saat menggunakan bahan bakar *natural gas*. Dari data tersebut dapat dicari nilai *enthalphy* (h).

Dari data nilai-nilai *enthalphy* dapat dihitung laju aliran energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap (Q_h). Pada *HRSG KAI3E2* terdapat tiga macam pompa, yaitu *condensate pump (CP)* untuk memompakan air kondensat dari *hotwell* kondensor menuju *feed water tank*, *HP feed water pump (HPFWP)* untuk memompa air pengisi dari *feed water tank* menuju ke *HP steam drum* dan *LP feed water pump (LPFWP)* untuk untuk memompa air pengisi dari *feed water tank* menuju ke *LP steam drum*. Untuk mengetahui besar masing – masing daya pompa dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini:

$$WP = (h_2 - h_1)m \tag{8}$$

Dimana WP merupakan keseluruhan daya pompa yang terdapat dalam sistem *HRSG*, dimana di dalam sistem *HRSG* sirkulasi alamiah tidak terdapat pompa sirkulasi.

Dengan menggunakan persamaan diatas, diperoleh data seperti pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Hasil perhitungan daya pompa

Jenis pompa	Daya pompa (kW)		
	Load 50%	Load 75%	Load 100%
HP Pump	517.51	673.61	743.29
LP Pump	148.58	154.39	200.83
Cond Pump	1165.92	2561.95	2910.34
Total daya	1832	3389.95	3854.46

Dari tabel di atas dapat dilihat hasil perhitungan daya pompa yang digunakan pada masing–masing *load set* operasi dengan daya pompa terbesar dimiliki oleh pompa kondensat. Besar daya total dari keseluruhan pompa dapat diketahui dengan menjumlahkan daya dari ketiga jenis pompa tersebut, sehingga besar laju aliran energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap (Q_h) dapat diketahui, seperti pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Hasil perhitungan *entalpy*

Parameter	Enthalpy (kJ/kg)		
	Load 50%	Load 75%	Load 100%
HP steam	3349.83	3450.71	3430.03
LP steam	2956.78	2989.78	2990.02
HP FW	248.08	247.22	246.99
LP FW	240.72	240.67	240.67
Feed water su	156.37	170.29	170.31
FW Tank	234.39	234.39	234.39
Hotwell	129.89	127.59	129.89
T. stack	387.87	389.92	388.98
TAT	748.84	784.8	822
T atmosfer	304.6	305.7	301.2

Tabel 5. Hasil perhitungan laju aliran energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap

Laju aliran energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap (Q_h)		
Load 50%	Load 75%	Load 100%
149.71 MW	201.57 MW	234.31 MW

Dari nilai Q_h di atas selanjutnya dapat dihitung besar laju aliran energi panas gas buang yang diberikan kepada $HRSG(Q_{eg})$, seperti pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Hasil perhitungan laju aliran energi panas yang diberikan kepada HRSG

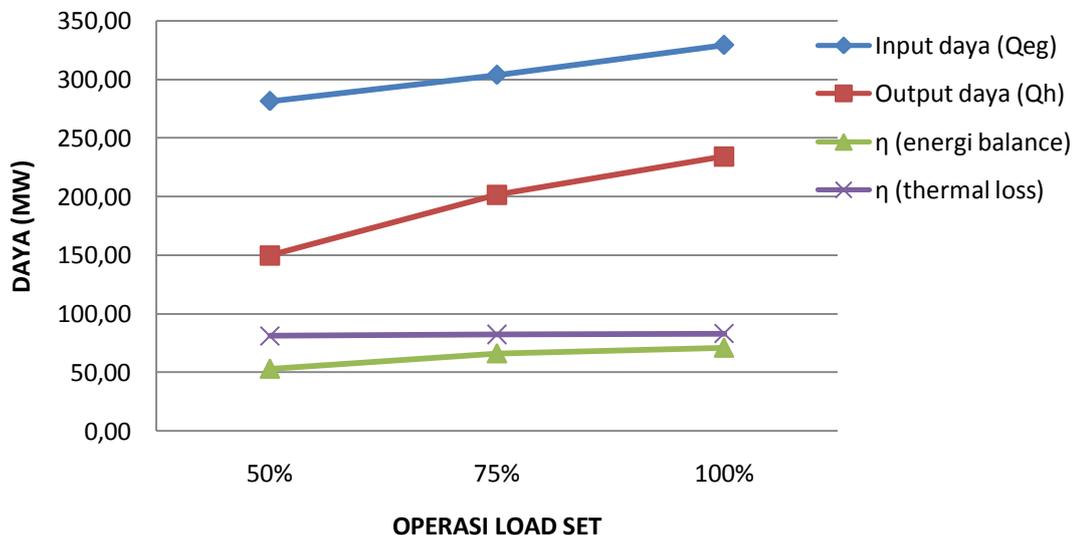
Laju aliran energi panas gas buang yang diberikan kepada $HRSG(Q_{eg})$		
Load 50%	Load 75%	Load 100%
281.48 MW	303.92 MW	329.43 MW

Dari nilai Q_{eg} pada tabel di atas dan besar laju aliran energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap (Q_h) maka besar efisiensi berdasarkan energi *balance* dan efisiensi *thermal* dapat dihitung dan dibuatkan grafik, dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil perhitungan laju aliran energi dan efisiensi untuk natural gas

	Load 50 %	Load 75 %	Load 100 %
Q_{eg} (MW)	281.48	303.92	329.43
Q_h (MW)	149.71	201.57	234.31
η energi (%)	53.18	66.32	71.13
$\eta_{thermal}$ (%)	81.26	82.42	83.15

Dengan menggunakan data di atas dapat dibuatkan grafik hubungan nilai laju aliran energi panas terhadap efisiensi pada penggunaan bahan bakar natural gas (gambar 2).



Gambar 2. Hubungan antara laju aliran energi panas terhadap efisiensi untuk penggunaan natural gas

Dari Gambar 2 terlihat bahwa nilai efisiensi yang dicapai oleh $HRSG$ sebanding dengan kenaikan *load set* operasi, baik untuk efisiensi menggunakan metode energi *balance* maupun efisiensi dengan metode *thermal loss*, yang dapat mencapai efisiensi paling optimal pada *load set* 100 %

Berdasarkan data tentang parameter operasi $HRSG$ pada saat *gas turbine* beroperasi menggunakan bahan bakar *high speed diesel*, maka dapat dilakukan perhitungan *enthalphy* untuk masing-masing parameter tersebut menggunakan tabel uap dan interpolasi hingga diperoleh *enthalphy* dari

masing – masing parameter yang diperlukan untuk perhitungan efisiensi *HRSG* seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil perhitungan *enthalpy*

Parameter	Enthalpy (kJ/kg)		
	Load 50%	Load 75%	Load 100%
HP steam	3319.62	3455.83	3403.06
LP steam	2955.15	2982.35	2970.72
HP FW	618.29	618.04	617.85
LP FW	608.51	608.51	608.44
FW supply	151.76	161.06	165.67
FWT	607.39	607.39	607.41
Hotwell	134.54	129.89	134.54
T stack	434.6	435.5	435.48
TAT	730.48	776.93	795.64
T atmosfer	302.2	305.7	304.6

Dari data nilai-nilai *enthalpy* seperti pada tabel di atas dapat dihitung laju aliran energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap (Q_h) dengan menghitung daya pompa (WP) terlebih dahulu, dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil perhitungan daya pompa pada HSD

Jenis pompa	Daya pompa (kW)		
	Load 50%	Load 75%	Load 100%
HP Pump	404.44	516.32	555.22
LP Pump	34.14	35.93	46.43
Cond Pump	637.28	1558.51	1867.42
Total daya	1075.86	2110.76	2469.08

Selanjutnya dengan diketahui besar nilai WP seperti pada tabel di atas, maka besar laju aliran energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap (Q_h) dapat dihitung, seperti pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil perhitungan laju energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap

Laju aliran energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap (Q_h)		
Load 50%	Load 75%	Load 100%
141.41 MW	189.65 MW	219.19 MW

Dari tabel hasil perhitungan Q_h tersebut selanjutnya dihitung besar laju aliran energi panas gas buang yang diberikan kepada *HRSG* (Q_{eg}), seperti pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil perhitungan laju aliran energi panas buang yang diberikan kepada *HRSG*

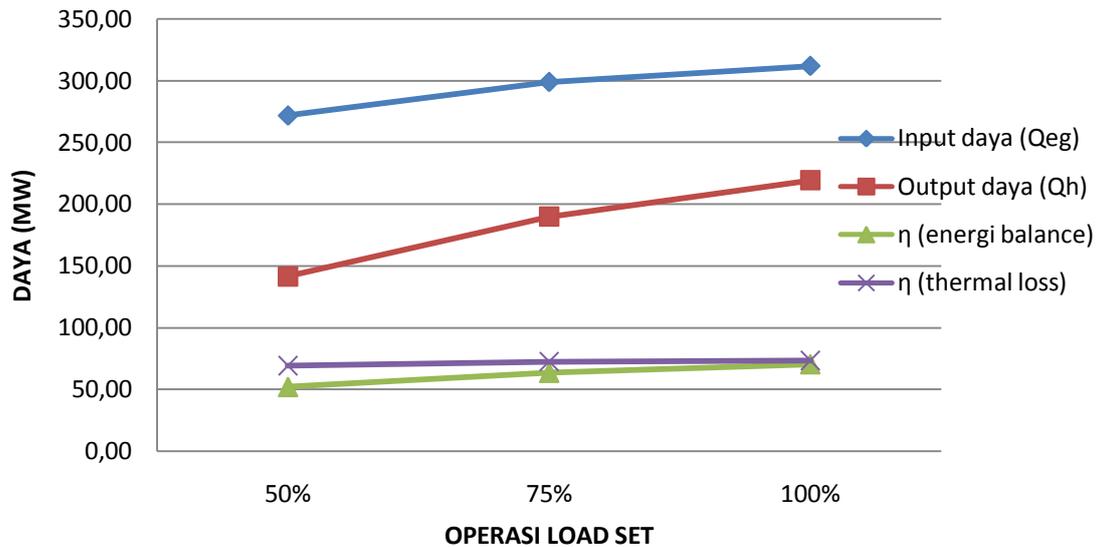
Laju aliran energi panas gas buang yang diberikan kepada <i>HRSG</i> (Q_{eg})		
Load 50%	Load 75%	Load 100%
271.76 MW	298.98 MW	311.97 MW

Dari nilai Q_{eg} pada tabel di atas dan besar laju aliran energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap (Q_h), maka besar efisiensi berdasarkan energi *balance* dan efisiensi *thermal* dapat dihitung dan dibuatkan grafik (seperti pada Tabel 12 dan Gambar 3).

Tabel 12. Hasil perhitungan laju aliran energi dan efisiensi untuk *High Speed Diesel*

	Load 50 %	Load 75 %	Load 100 %
Q_{eg} (MW)	271.76	298.98	311.97
Q_h (MW)	141.41	189.65	219.19
η energi (%)	52.03	63.43	70.26
$\eta_{thermal}$ (%)	69.09	72.43	73.35

Dengan menggunakan data Tabel 12, dapat dibuatkan grafik hubungan nilai laju aliran energi panas terhadap efisiensi pada penggunaan bahan bakar *High Speed Diesel*, Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara laju aliran energi panas terhadap efisiensi untuk penggunaan *High Speed Diesel*

Dari Gambar 3. terlihat bahwa nilai efisiensi yang dicapai oleh *HRSG* sebanding dengan kenaikan *load set* operasi, baik untuk efisiensi menggunakan metode energi *balance* maupun efisiensi dengan metode *thermal loss* yang dapat mencapai efisiensi paling optimal pada *load set* 100 % .

Untuk mengetahui penyebab terjadinya perbedaan efisiensi tersebut dilakukan dengan melihat kembali data parameter operasi yang *HRSG* pada saat *gas turbine* menggunakan bahan bakar *natural gas* dan tabel parameter operasi *HRSG* pada saat *gas turbine* menggunakan bahan bakar *high speed diesel*.

Dari pengamatan data terhadap kedua tabel tersebut terlihat perbedaan yang sangat signifikan dari temperatur *feed water tank*, dimana pada saat *gas turbine* beroperasi menggunakan bahan bakar *natural gas*, temperatur *feed water tank* adalah 329.15 °K dan temperatur *feed water tank* naik mencapai 417.15 °K pada saat *gas turbine* beroperasi menggunakan bahan bakar *high speed diesel*. Perbedaan temperatur yang mencapai 88 °K, merupakan konsekuensi dari perbedaan karakteristik kedua jenis bahan bakar tersebut. Dengan kadar sulfur mencapai 0,2 % yang terkandung dalam bahan bakar *HSD*, maka diperlukan *treatment* khusus untuk menghindari terjadinya pengendapan sulfur tersebut pada sistem luar *tube – tube HRSG* terutama pada *tube LP economizer*. Untuk mencegah terjadinya pengendapan sulfur, dapat dilakukan dengan

menjaga *temperature* gas buang di atas *dew point* sulfur tersebut, yaitu dengan menjaga *temperature stack* di atas 410 °K.

Dengan masih tingginya suhu gas buang yang keluar dari *stack*, maka proses penyerapan panas oleh sistem *HRSG* dipastikan tidak dapat berjalan secara optimal, yang mana terlihat dari efisiensi berdasar metode *thermal loss* terdapat perbedaan efisiensi mencapai 10 % pada masing – masing *load set* operasi. Dengan adanya kebutuhan *steam* yang digunakan untuk menaikkan *temperature feed water tank* mencapai 417.15 °K , juga berpengaruh terhadap perhitungan efisiensi dengan metode energi *balance*, karena akan memperbesar laju aliran energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap (Q_h).

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian efisiensi *HRSG* menggunakan metode energi *balance* dapat disimpulkan bahwa efisiensi yang dicapai oleh *HRSG* pada saat *gas turbine* beroperasi menggunakan bahan bakar *natural gas* dan *HSD* adalah identik, dengan selisih besar nilai efisiensi kurang dari 3 % pada masing – masing *load set* operasi.

Untuk hasil penelitian efisiensi *HRSG* menggunakan metode *thermal loss* terdapat perbedaan nilai efisiensi mencapai 10 % pada masing–masing *load set* operasi dengan keunggulan efisiensi diperoleh *HRSG* pada saat *gas turbine* beroperasi menggunakan bahan bakar

natural gas. HRSG dapat mencapai nilai efisiensi yang optimal sebesar 83.15 % pada saat *load set* 100 % dengan *gas turbine* beroperasi menggunakan bahan bakar *natural gas*.

Perbedaan pencapaian efisiensi dari HRSG terjadi karena perbedaan karakteristik bahan bakar yang digunakan oleh *gas turbin*. Pada saat *gas turbine* beroperasi menggunakan bahan bakar HSD diperlukan *preheating* pada air pengisi untuk mengurangi besar penyerapan energi panas yang terjadi pada *evaporator-tubes*, dengan tujuan untuk menjaga supaya suhu gas buang pada *stack* tidak lebih rendah dari suhu *dew point* sulfur. Hal ini jelas berpengaruh terhadap efisiensi, akan tetapi dengan perlakuan tersebut diharapkan HRSG mempunyai *life time* yang lebih panjang karena terhindar dari korosi akibat mengendapnya sulfur pada sisi luar *tube – tube HRSG*.

Daftar Pustaka

- Amirul, H, 2011, *Heat Recovery Steam Generator Fundamental Training Module*, Switzerland: Alstom.
- Amirul, H, 2011, *Combined Cycle Power Plant Overview*, Switzerland: Alstom.
- Dietzel, F, 1992, *Turbin Pompa dan Kompresor*, Jakarta: Erlangga.
- Moran, MJ., 2002, *Termodinamika Teknik Jilid 1*, Erlangga: Jakarta.
- Pusdiklat PLN, 2010, *Dasar pengoperasian PLTGU*, Suralaya : Udiklat Perusahaan Umum Listrik Negara.
- Rakhman A, 2015, Prinsip kerja *Heat Recovery Steam Generator*, www.blogteknik.co.id, diunduh pada tanggal: 20 April, Pukul: 10.20
- Setyoko, B, 2006, *Analisis Efisiensi Performa HRSG*, Semarang: UNDIP.
- Sukatnak, R, 2012, *Analisis Unjuk Kerja HRSG Blok V pada PLTGU Muara Tawar*, Jakarta: STT-PLN.
- Yohana, E, Priambodo, A, 2010, *Analisis Efisiensi Low Pressure HRSG pada PLTGU PT. Indonesia Power UBP Semarang*.

DINAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin
