

**ANALISA EFISIENSI PERFORMA HRSG
(Heat Recovery Steam Generation)
PADA PLTGU**

Bambang Setyoko *)

Abstracts

Heat Recovery Steam Generator (HRSG) is a construction in combine cycle with gas turbine and steam turbine. The steam produced in HRSG with heat from exhaust gas turbine.

In this research we can calculate HRSG efficiency to compare total energy heat flow for steam produce from feed water and total energy heat flow from exhaust gas turbine.

The result of this calculate research are optimal efficiency 54,04 % with total energy superheated steam heat flow 132,91 MW, total energy exhaust gas turbine 245,953 MW and minimum efficiency 50,39 % with total energy superheated steam heat flow 124,788 MW, total energy exhaust gas turbine 247,64 MW.

Key words : exhaust gas, steam, heat flow.

PENDAHULUAN.

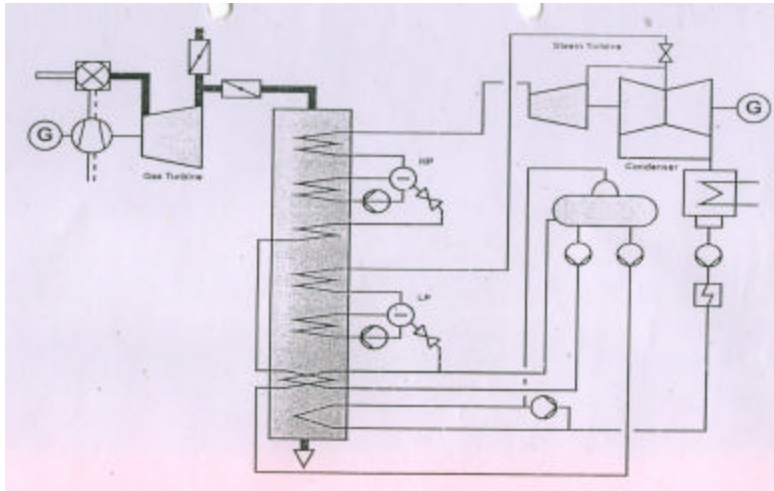
Pertumbuhan di bidang industri, properti dan lain sebagainya pada dasawarsa terakhir ini berkembang sangat pesat. Hal ini berdampak pada kenaikan kebutuhan akan energi listrik. Dengan melihat perkembangan tersebut, maka tuntutan akan adanya unit-unit pembangkit sebagai pusat penghasil energi listrik terimbas untuk berkembang, baik disisi besar kapasitas yang mampu dihasilkan maupun di sisi teknologi khususnya rekayasa permesinan, sistem operasi dan pemeliharannya.

PLTGU adalah gabungan antara PLTG dengan PLTU, dimana panas dari gas buang dari PLTG digunakan untuk menghasilkan uap yang digunakan sebagai fluida kerja di PLTU. Dan bagian yang digunakan untuk menghasilkan uap tersebut adalah HRSG (Heat Recovery Steam Generator).

Keuntungan penggunaan HRSG yang paling prinsip dibanding boiler umum (yang menggunakan burner) adalah peningkatan efisiensi karena HRSG memanfaatkan gas buang dari Turbin Gas sebagai sumber kalor sehingga tidak memerlukan bahan bakar dan udara sebagai pemanas. Dalam penelitian ini dilakukan analisa perhitungan data untuk mengukur tingkat efisiensi yang dihasilkan lewat HRSG.

Perhitungan efisiensi HRSG dilakukan dengan membandingkan laju aliran energi yang digunakan untuk menguapkan air, baik pada uap tekanan rendah maupun uap tekanan tinggi dan laju aliran energi yang terkandung dalam gas buang dari sistem PLTG yang berguna dalam HRSG.

*) Staf Pengajar PSD III Teknik Mesin UNDIP



Gambar 1. PLTGU dengan HRSG 2 sistem tekanan uap.

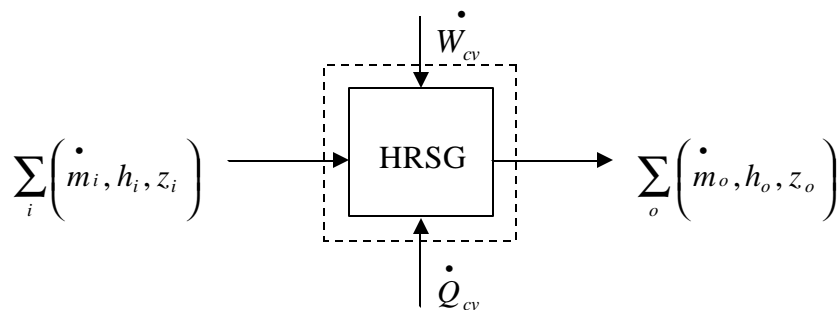
TINJAUAN PUSTAKA.

Dalam suatu sistem, analisis berpusat pada daerah dimana materi dan energi mengalir melaluinya. Kestimbangan laju energi pada sistem dapat dilihat pada gambar. 2 dan dituliskan sebagai berikut :

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

Dengan : $\sum_i \dot{m}_i$ = jumlah laju aliran massa masuk ke sistem, (kg/s)

$\sum_o \dot{m}_o$ = jumlah laju aliran massa keluar dari sistem, (kg/s)



Gambar 2. Kestimbangan massa pada sistem HRSG

Sedangkan kestimbangan laju energinya dapat ditulis dalam persamaan berikut :

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

Dengan :

i = indeks untuk masuk sistem

o = indeks untuk keluar sistem

\dot{Q}_{cv} = laju energi pada system (kJ/s).

\dot{W}_{cv} = jumlah total kerja pada system (kJ/s).

h = entalphi fluida kerja (kJ/kg).

v = kecepatan fluida kerja (m/s).

z = ketinggian saluran fluida kerja (m).

g = percepatan gravitasi (m/s²).

➤ **Laju aliran energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap (\dot{Q}_h).**

Dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2).

Pada persamaan diatas diasumsikan :

1. Sistem dalam kondisi tunak.
2. Perubahan laju aliran energi potensial dan laju aliran energi kinetik diabaikan.
3. Adanya kerja yang masuk ke sistem, maka persamaannya menjadi :

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

➤ **Laju aliran energi panas gas buang yang diberikan kepada HRSG (\dot{Q}_{eg}).**

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, H₂O, CO₂ dan N₂ ditambah dengan O₂, jika pemberian udara dilakukan secara berlebihan..

Besarnya energi panas yang terkandung dalam gas buang yang diberikan kepada HRSG (\dot{Q}_{eg}) tersebut dapat diketahui dengan persamaan berikut ini :

$$\dot{Q}_{eg} = \dot{m}_{eg} C_{p_{eg}} (T_i - T_o) \quad (\text{kJ}) \quad (3)$$

Dengan :

T_i = temperatur gas buang (°K).

T_o = temperatur lingkungan (°K).

\dot{m}_{eg} = laju aliran massa gas buang (kg/dt).

C_{p_{eg}} = panas spesifik gas buang (kJ/kg.K).

n, m = jumlah mol konstituen.

Laju aliran massa udara yang diperlukan dapat diketahui dengan persamaan :

$$\dot{m}_o = \text{AFR} \times \dot{m}_f \quad (4)$$

Dengan AFR = perbandingan udara dan bahan bakar.

\dot{m}_f = massa bahan bakar (kg/dt).

Laju aliran massa gas buang dapat diketahui dengan menggunakan persamaan :

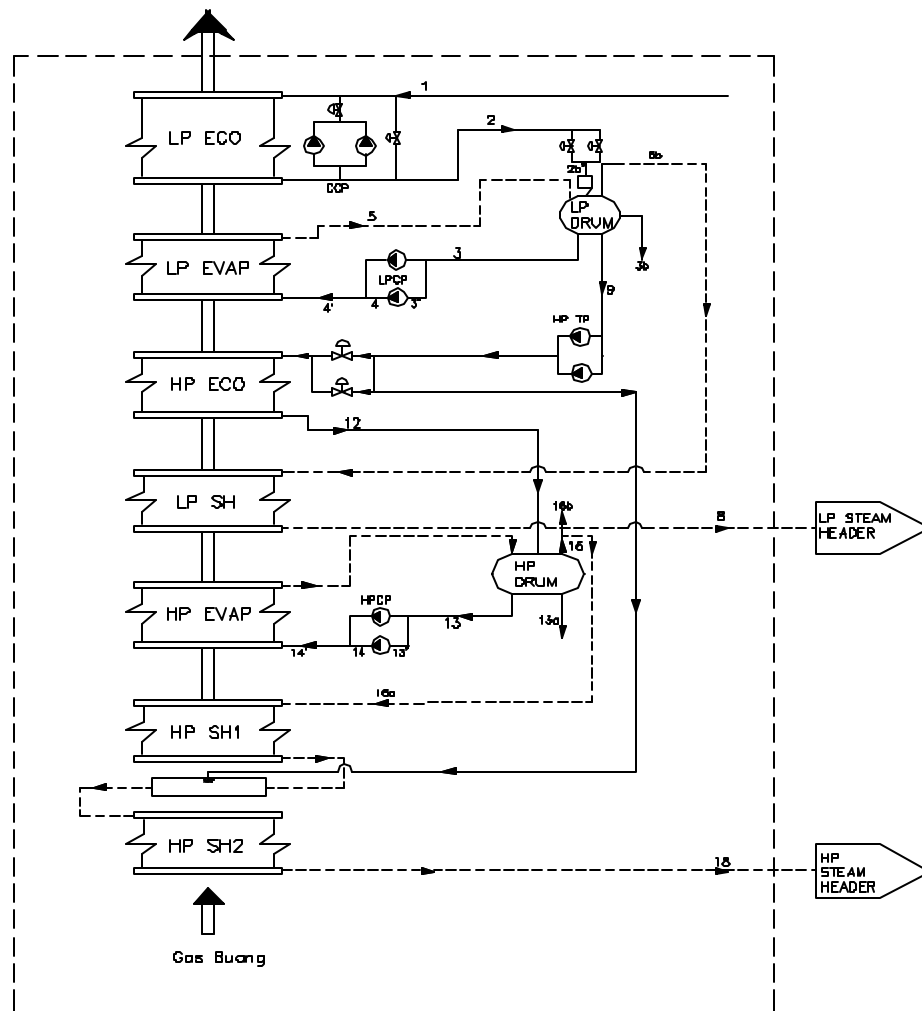
$$\dot{m}_{eg} = \sum (\dot{m}_f + \dot{m}_o) \quad (5)$$

➤ **Efisiensi Daya HRSG**

Besarnya efisiensi thermal HRSG didefinisikan sebagai perbandingan antara laju energi yang dibutuhkan air menjadi uap panas lanjut (superheated) dengan laju aliran energi gas buang didalam HRSG tersebut adalah :

$$h = \frac{\dot{Q}_h}{\dot{Q}_{Eg}} \times 100\% \quad (6)$$

DATA DAN PERHITUNGAN.



Gambar 3. Diagram alir pada sistem HRSG

Berdasarkan data operasional HRSG didapat tabel sebagai berikut :

Tabel 1. Data Operasional HRSG tanggal 25 April 2005

Jam	Bahan bakar	Gas buang		Air		LP Eco		LP Circ Pump		LP Steam Out HRSG		
	m_f (kg/s)	T_i ($^{\circ}$ C)	T_o ($^{\circ}$ C)	P_1 (bar)	T_1 ($^{\circ}$ C)	P_2 (bar)	T_2 ($^{\circ}$ C)	P_3 (bar)	P_4 (bar)	\dot{m}_s	P_8 (bar)	T_8 ($^{\circ}$ C)
08.00	7,17	566	172,3	21,1	59,7	17	87,7	7,8	10	14253,45	4,74	305
09.00	7,16	567	171,3	20	58,2	17,2	88,8	7,8	10	15503,6	4,75	304
10.00	7,17	567	172,5	20	57,8	17	81,3	7,8	10	13599,02	4,8	305
11.00	7,10	566	170,1	20,1	58,8	17	85,6	7,8	10	14576,32	4,6	305

Blow down = 0 %

Bahan bakar HSD = $C_{12}H_{26}$

Excess air = 400 %

Tabel 2. Data Operasional HRSG tanggal 25 April 2005

Jam	HP Transfer Pump		Desuper heat		HP Eco		HP Circ Pump		HP Steam Out HRSG			
	\dot{m}_9 (kg/hr)	P_9 (bar)	P_{10} (bar)	\dot{m}_{10} (kg/hr)	\dot{m}_{11} (kg/hr)	P_{12} (bar)	T_{12} ($^{\circ}$ C)	P_{13} (bar)	P_{14} (bar)	\dot{m}_{18} (kg/hr)	P_{18} (bar)	T_{18} ($^{\circ}$ C)
08.00	135241,62	4,74	120,18	3737,12	131504,5	119,38	278	49	60	135241,62	56	512
09.00	130016,82	4,75	120,15	4509,22	125507,6	119,38	276	49	60	130016,82	57	516
10.00	133522,21	4,8	121,15	3875,21	129647	119,34	281	49	60	133522,21	59,8	515
11.00	133065,94	4,6	120,17	4541,20	128524,7	117,34	279	49	60	133065,94	57	515

Blowdown = 0 %

Tabel 3. Data Operasional HRSG tanggal 26 April 2005

Jam	Bahan bakar	Gas buang		Air		LP Eco		LP Circ Pump		LP Steam Out HRSG		
	m_f (kg/s)	T_i ($^{\circ}$ C)	T_o ($^{\circ}$ C)	P_1 (bar)	T_1 ($^{\circ}$ C)	P_2 (bar)	T_2 ($^{\circ}$ C)	P_3 (bar)	P_4 (bar)	\dot{m}_s	P_8 (bar)	T_8 ($^{\circ}$ C)
08.00	7,10	564	167,9	21,3	40,1	17	89,3	7,8	10	13705,6	4,74	311
09.00	7,10	568	169,2	21,2	40,2	17,1	86,5	7,8	10	14400,63	4,74	310
10.00	7,07	569	169,7	21,1	40,4	17,1	88,3	7,8	10	15871,25	4,83	311
11.00	7,08	570	170,2	21,0	40,7	16,8	88,9	7,8	10	13415,75	4,86	311

Blowdown = 0 %

Bahan bakar HSD = $C_{12}H_{26}$

Excess air = 400 %

Tabel 4. Data Operasional HRSG tanggal 26 April 2005

Jam	HP Transfer Pump		Desuper heat		HP Eco		HP Circ Pump		HP Steam Out HRSG			
	\dot{m}_9 (kg/hr)	P_9 (bar)	P_{10} (bar)	\dot{m}_{10} (kg/hr)	\dot{m}_{11} (kg/hr)	P_{12} (bar)	T_{12} ($^{\circ}$ C)	P_{13} (bar)	P_{14} (bar)	\dot{m}_{18} (kg/hr)	P_{18} (bar)	T_{18} ($^{\circ}$ C)
08.00	148697,88	4,74	121,35	3803,48	131504,5	119,38	278	49	60	148697,88	57,1	511
09.00	124855,82	4,74	119,52	3546,52	125507,6	119,38	276	49	60	124855,82	57,8	513
10.00	127596	4,83	119,3	4546,5	129647	119,34	281	49	60	127596	57,6	513
11.00	134527,92	4,86	119,22	3065,72	128524,7	117,34	279	49	60	134527,92	57,7	514

Blowdown = 0 %

Dengan menggunakan persamaan (1) s/d persamaan (5) didapat hasil perhitungan yang dituliskan pada tabel berikut.

Tabel 5. Hasil perhitungan data untuk efisiensi HRSG tgl 25 April 2005.

LP Superheat		HP Superheat		Pompa	Air		Q_h (MW)
\dot{m}_8 (kg/dt)	h_8 (kJ/kg)	\dot{m}_{18} (kg/dt)	h_{18} (kJ/kg)	W_p (MW)	\dot{m}_1 (kg/dt)	h_1 (kJ/kg)	
3,9593	3073,41	37,5671	3455,07	0,526	41,5264	282,31	130,241
4,3066	3073,05	36,1158	3463,39	0,503	40,4224	183,766	130,889
3,7775	3075,08	37,0895	3457,97	0,537	40,8670	183,766	132,360
4,0490	3075,58	36,9628	3461,04	0,515	41,0118	267,86	129,396

Tabel 6. Hasil perhitungan data untuk efisiensi HRSG tgl 25 April 2005

Gas Buang					
\dot{m}_{eg} (kg/dt)	$C_{p_{eg}}$ (kJ/kg.K)	T_i (K)	T_o (K)	Q_{eg} (MW)	Efisiensi (%)
543,85	1,153	839	445,3	246,9	52,75
543,09	1,153	840	444,3	247,8	52,82
543,85	1,153	840	445,5	247,4	53,50
538,54	1,153	839	443,1	245,8	52,64

Tabel 7. Hasil perhitungan data untuk efisiensi HRSG tgl 26 April 2005

LP Superheat		HP Superheat		Pompa	Air		Q_h (MW)
\dot{m}_8 (kg/dt)	h_8 (kJ/kg)	\dot{m}_{18} (kg/dt)	h_{18} (kJ/kg)	W_p (MW)	\dot{m}_1 (kg/dt)	h_1 (kJ/kg)	
3,8071	3087,61	37,3799	3451,49	0,576	41,1870	190,86	132,910
4,0002	3085,55	34,6822	3455,44	0,482	38,6824	191,2	124,788
4,4087	3087,39	35,4433	3455,66	0,490	39,8520	202,5	128,021
3,7266	3087,32	37,3688	3457,91	0,516	41,0954	193,09	132,787

Tabel 8. Hasil perhitungan data untuk efisiensi HRSG tgl 26 April 2005

Gas Buang					
\dot{m}_{eg} (kg/dt)	$C_{p_{eg}}$ (kJ/kg.K)	T_i (K)	T_o (K)	Q_{eg} (MW)	Efisiensi (%)
538,54	1,153	837	440,9	245,95	54,04
538,54	1,153	841	442,2	247,64	50,39
536,27	1,153	842	442,7	246,89	51,85
537,025	1,153	843	443,2	247,55	53,64

PEMBAHASAN HASIL PERHITUNGAN.

Besarnya laju energi gas buang yang ada dalam HRSG mengalami perubahan setiap saat. Hal ini terjadi akibat adanya perubahan laju aliran massa bahan bakar yang berbeda-beda setiap saat dan juga akibat adanya tingkat keadaan gas buang yang ada dalam HRSG. Selain itu laju aliran energi gas buang juga dipengaruhi bukaan damper. Akibatnya laju energi gas buang yang diserap oleh air untuk proses pembentukan uap juga mengalami perubahan. Akibat yang ditimbulkan dari peristiwa ini adalah efisiensi HRSG juga mengalami perubahan setiap saat sesuai dengan kondisi yang terjadi saat itu.

LP Steam memiliki tekanan lebih rendah dibanding air yang masuk ke HRSG. Hal ini akibat adanya katup ekspansi yang terletak di saluran masuk LP Drum dan LP Steam Header. Sehingga dengan adanya katup ekspansi tersebut maka uap yang keluar dari LP Steam Header terjadi penurunan tekanan hingga di bawah tekanan air masuk ke dalam HRSG, seperti yang ditunjukkan dalam data-data operasional diatas.

HP Steam memiliki tekanan yang lebih tinggi daripada tekanan air masuk ke dalam HRSG akibat adanya kerja HP Transfer Pump yang berfungsi untuk menaikkan tekanan hingga tinggi sekali, sehingga jika mengalami penurunan tekanan akibat adanya katup ekspansi yang ada pada saluran masuk HP Drum maupun pada saluran masuk HP Steam Header masih tinggi. Selain itu akibat dari peran serta desuperheater yang menyempatkan sejumlah massa air ke dalam laju aliran massa uap sehingga aliran massa uap yang keluar HRSG bertambah.

Dari tabel hasil perhitungan diperoleh bahwa efisiensi HRSG yang optimal adalah sebesar **54,05 %** dengan laju aliran energi yang dibutuhkan air menjadi uap panas lanjut sebesar **132,910 MW** dengan laju aliran energi gas buang yang ada pada HRSG sebesar **245,953 MW**. Dan efisiensi terendah walaupun tidak berselisih terlalu jauh sebesar **50,39 %** dengan laju aliran energi yang dibutuhkan air menjadi uap panas lanjut sebesar **124,788 MW** dengan laju aliran energi gas buang yang ada pada HRSG sebesar **247,64 MW**.

KESIMPULAN

Dari analisa di atas ada beberapa hal yang patut diperhitungkan untuk dijadikan kesimpulan yaitu :

1. Dari tabel hasil perhitungan diperoleh bahwa efisiensi HRSG yang optimal adalah sebesar **54,04 %** dengan laju aliran energi yang dibutuhkan air menjadi uap panas lanjut sebesar **132,910 MW** dengan laju aliran energi gas buang yang ada pada HRSG sebesar **245,953 MW**.
2. Efisiensi terendah walaupun tidak berselisih terlalu jauh sebesar **50,39 %** dengan laju aliran energi yang dibutuhkan air menjadi uap panas lanjut sebesar **124,788 MW** dengan laju aliran energi gas buang yang ada pada HRSG sebesar **247,64 MW**.
3. Perubahan nilai laju energi gas buang yang ada dalam HRSG sebagai pengganti energi bahan bakar yang digunakan dalam proses pembentukan uap panas lanjut (superheated) berlangsung setiap saat. Hal ini terjadi akibat adanya perubahan laju aliran massa bahan bakar yang berbeda-beda setiap saat dan juga akibat adanya tingkat keadaan gas buang yang ada dalam HRSG. Selain itu laju aliran energi gas buang juga dipengaruhi bukaan damper.

Ucapan Terima Kasih.

Ucapan Terima kasih disampaikan kepada PT Indonesia Power, Semarang.

DAFTAR PUSTAKA

1. Arismunandar, Wiranto . Penggerak Mula, Turbin . Bandung : ITB. 1982 .
2. Dietzel, Fritz . Turbin Pompa dan Kompresor . Jakarta : Erlangga. 1992 .
3. Electric, General . Steam Turbine Operation Training Manual Volume I PLN Sumitomo Tambak Lorok Indonesia . USA : General Electric Company. 1997 .
4. Pusdiklat . Program Pelatihan Pemeliharaan PLTU, Mekanik I Mesin Bantalan II . Jakarta Selatan : Pusdiklat Perusahaan Umum Listrik Negara. 1992 .
5. System, GE Power . Maintenance and System Description Steam Turbine Volume II & IIA, PT PLN (Persero) Tambak Lorok CCPP Block 1 Semarang Indonesia . NY : General Electric Company, USA. 1996 .
6. Training, Peserta . Laporan Training Balance of Plant Tambak Lorok Combine Cycle Power Plant Block II di Kantor Pusat Black & Veatch Kansas City, Missouri, USA. 1996 .
7. Work, Team . Laporan Mean Inspection STG # 2.0 PLTGU Tambak Lorok, Semarang : PT PLN Pembangkitan Tenaga Listrik Jawa Bali – I. 2000 .