

ANALISIS EFISIENSI THERMAL HIGH PRESSURE DAN LOW PRESSURE SUPERHEATER PADA HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR (HRSG) 2.1 PLTGU BLOK 2 TAMBAK LOROK

Ahmad Husen¹, Bambang Setiadi², Fachri Alfarizi³
 Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
 Institut Sains dan Teknologi Nasional
 Jl. Moh. Kahfi II, Srengseng Sawah, Jagakarsa, DKI Jakarta 12630
amd.husen69@gmail.com, bambangsetiadi@istn.ac.id, fachrifarizi97@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan di bidang industri, teknologi dan properti pada akhir-akhir periode ini sangat pesat. Hal ini sangat berimbas pada naiknya kebutuhan akan tenaga listrik. Dengan melihat perkembangan tersebut, maka perlu adanya suatu peningkatan dalam hal produksi tenaga listrik. Salah satu upaya untuk mengatasi masalah-masalah tersebut adalah dengan mendirikan Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU). PLTGU adalah pembangkit energi listrik yang menggunakan siklus gabungan (*Combine Cycle Power Plants*) yang terdiri dari siklus *Brayton* dan siklus *Rankine* dengan perantara *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG). *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) merupakan komponen kesatuan antara turbin gas dan turbin uap pada sistem gabungan (*Combine Cycle Power Plants*), HRSG berfungsi sebagai alat yang memanfaatkan gas buang dari turbin gas untuk memanaskan air pada pipa-pipa yang berada di dalam HRSG hingga menjadi uap kering yang mampu memutar turbin.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa Efisiensi thermal *Low Pressure* dan *High Pressure* HRSG pada saat *Combine Cycle* untuk mengetahui nilai Efisiensi thermal pada setiap waktu di tanggal 14 Agustus 2018. Hasil perhitungan analisa efisiensi *Low Pressure* sebesar Jam 00.00 = 15,23 %, Jam 03.00 = 14,70 %, Jam 06.00 = 14,70 %, Jam 08.00 = 13,74 %, Jam 10.30 = 14,58 %, Jam 13.00 = 14,3 dan *High Pressure* sebesar Jam 00.00 = 60,95 %, Jam 03.00 = 61,36 %, Jam 06.00 = 61,36 %, Jam 08.00 = 61,22 %, Jam 10.30 = 61,03 %, Jam 13.00 = 61,03 %. Penurunan nilai Efisiensi thermal yang terjadi pada setiap rentang waktu disebabkan oleh faktor-faktor kebocoran.

Kata kunci: *Combine Cycle*, HRSG, turbin gas, efisiensi thermal *low pressure* dan *high pressure*, turbin uap

1. PENDAHULUAN

Perkembangan di bidang industri, teknologi, dan properti pada akhir-akhir ini sangat pesat. Hal ini sangat berimbas pada naiknya kebutuhan tenaga listrik. Dengan melihat perkembangan tersebut, maka perlu adanya suatu peningkatan dalam hal produksi tenaga listrik dalam suatu negara. Produksi ini tidak hanya semata-mata menitik beratkan pada kapasitas daya yang mampu dihasilkan, tetapi juga dalam hal perkembangan teknologi khususnya hal perekayasa mesin, sistem operasi, serta hal pemeliharaan dalam memproduksi

tenaga listrik tersebut. Salah satu upaya untuk mengatasi masalah-masalah tersebut adalah dengan mendirikan Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU).

Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) merupakan pembangkit jenis *combined cycle*. Pembangkit jenis ini bekerja berdasarkan prinsip motor bakar (pada PLTG), dimana bahan bakar dibakar dengan udara yang telah terkompresi di *combustion chamber*, gas dari hasil pembakaran ini kemudian dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin gas dan mengkopel kompresor secara

bersamaan. Gas panas dari turbin masih terlalu panas untuk dilepas ke udara, sehingga gas panas ini dimanfaatkan untuk memanasi air didalam pipa-pipa *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) menjadi uap untuk memutar turbin uap. Penggunaan teknologi *combined cycle* menjadikan operasi pembangkit lebih efisien sebab cara ini memanfaatkan gas panas pembuangan pembangkit listrik primer (turbin gas) menjadi tenaga listrik pada tahap sekunder.

PLTGU adalah gabungan antara PLTG dengan PLTU, dimana panas dari gas buang yang berasal dari turbin gas pada PLTG dimanfaatkan untuk memanaskan air hingga menjadi uap dimana uap tersebut digunakan sebagai fluida kerja turbin uap pada PLTU. Bagian yang digunakan untuk menghasilkan uap tersebut adalah *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG).

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 gas buang dari turbin gas untuk memanaskan air pada pipa-pipa yang berada di dalam HRSG hingga menjadi uap kering yang mampu memutar turbin uap.

Efisiensi didefinisikan sebagai ketepatan kinerja HRSG untuk performa yang lebih optimal dengan menggunakan waktu, biaya serta sumber daya yang minim. Efisiensi diukur melalui perbandingan input (panas) dan output (hasil) yang berupa uap kering.

Keuntungan menggunakan 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 *low pressure* dan *high Pressure* yang dihasilkan oleh HRSG di setiap waktu pada tanggal 02 Desember 2018.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang akan dicapai adalah :

Untuk mengetahui Efisiensi Thermal High Pressure dan Low Pressure Superheater pada *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) di PLTGU Tambak Lorok

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem PLTGU

PLTGU adalah gabungan antara PLTG dengan PLTU, dimana panas dari gas buang yang berasal dari turbin gas pada PLTG dimanfaatkan untuk memanaskan air hingga menjadi uap dimana uap tersebut digunakan sebagai fluida kerja turbin uap pada PLTU. Bagian yang digunakan untuk menghasilkan uap tersebut adalah *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG).

Siklus yang di gunakan pada PLTGU adalah *Combine cycle* yaitu siklus yang menggabungkan *Brayton Cycle* GTG dan *Rankine Cycle* STG dengan perantara *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG).

2.2 Bagian dari PLTGU

Secara garis besar bagian yang terdapat pada PLTGU adalah :

2.2.1 GTG (Gas Turbin Generator)

Turbin Gas merupakan mesin yang dapat mengkonversi energi panas dari gas hasil pembakaran menjadi energi mekanis dan digunakan untuk memutar turbin gas tersebut.

2.2.2 HRSG (Heat Recovery Steam Generator)

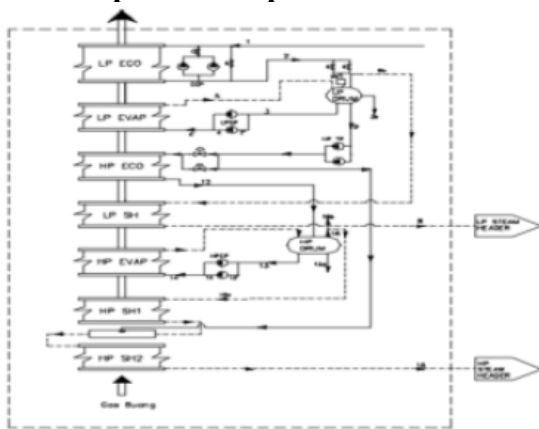
HRSG merupakan heat exchanger dari gas ke air dengan memanfaatkan energi sisa gas turbin untuk menghasilkan uap dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Dalam setiap aplikasi *combined cycle*, uap dihasilkan dengan beberapa macam tekanan dan temperatur sehingga tidak banyak gas sisa yang terbuang. Selain itu ada yang dipanaskan kembali sehingga nantinya menjadi main steam yang akan dikirim ke STG. Pada umumnya terdiri dari tiga lapisan yaitu superheater, evaporator dan economizer. Hasi dari pemanasan ini akan menghasilkan uap bertekanan tinggi yang

akan dialirkan ke Turbin High Pressure (HP) dan Turbin Low Pressure (LP) pada STG.

2.2.3 STG (Steam Turbine Generator)

Steam Turbin Generator merupakan pembangkit listrik dengan memanfaatkan tenaga uap untuk memutar turbin uap. Pada dasarnya turbin uap terdiri dari dua bagian yaitu rotor dan stator. Pada rotor terdapat banyu blade (sudu) yang akan digerakan oleh uap bertekanan tinggi yang disemprotkan melalui nozzle. Putaran Turbin akan di teruskan ke generator karena satu poros dan dari situlah energi listrik dihasilkan.

2.3 Komponen-komponen HRSG



Gambar 2.3 Skema HRSG

(Sumber : indonesiapower.co.id)

HRSG biasanya terdiri dari beberapa pipa pemanas seperti Economizer, Evaporator, dan Superheater :

✓ Economizer

Komponen ini merupakan Pipa-pipa pemanas yang digunakan untuk memanaskan air dari air yang terkondensasi dari sistem sebelumnya maupun air umpan baru.

✓ Evaporator

Evaporator atau boiler bank merupakan alat penukar kalor yang menghasilkan uap jenuh (saturated) dari air pengisi ketel. Evaporator terletak di antara ekonomiser dan superheater.

Campuran air dan uap meninggalkan evaporator dan masuk drum uap melalui

pipa-pipa yang disebut riser. Drum uap merupakan bejana tekan silindris yang terletak di bagian atas HRSG. Di bagian dalam drum, piranti mekanis seperti cyclone dan screen pemisah campuran air dan uap. Uap meninggalkan drum melalui pipa yang menuju ke superheater. Sedangkan air disirkulasikan kembali oleh pompa sirkulasi melalui pipa-pipa yang disebut pipa sirkulasi masuk kembali ke evaporator. Uap yang masuk ke superheater merupakan uap kering karena jika uap basah yang masuk maka kandungan partikulat padat yang terlarut dalam uap akan mengendap dalam tube superheater yang dapat mengakibatkan temperatur logam tube akan naik dan selanjutnya mengakibatkan terjadinya kegagalan tube.

✓ Superheater

Superheater merupakan alat penukar kalor pada HRSG yang menghasilkan uap panas lanjut (superheated steam). Superheater dapat terdiri dari satu atau lebih modul penukar kalor. Pada modul superheater yang banyak biasanya mempunyai kontrol temperatur uap di antara modul-modulnya untuk mencegah terjadinya temperatur logam yang berlebih pada bagaian akhir dari modul dan untuk meminimalkan kemungkinan kandungan air yang masuk ke dalam turbin uap.

2.5 Heat Recovery Steam Generator (HRSG)

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 gas buang dari turbin gas untuk memanaskan air pada pipa-pipa yang berada di dalam HRSG hingga menjadi uap kering yang mampu memutar turbin uap. HRSG merupakan *heat exchanger* dari gas ke air dengan memanfaatkan energi sisa gas turbin untuk menghasilkan uap dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Dalam setiap aplikasi *combined cycle*, uap dihasilkan dengan beberapa macam tekanan

dan temperatur sehingga tidak banyak gas sisa yang terbuang. Selain itu ada yang dipanaskan kembali sehingga nantinya menjadi *main steam* yang akan dikirim ke STG. Pada umumnya terdiri dari tiga lapisan yaitu *superheater*, *evaporator* dan *economizer*. Hasi dari pemanasan ini akan menghasilkan uap bertekanan tinggi yang akan dialirkan ke Turbin *High Pressure (HP)* dan Turbin *Low Pressure (LP)* pada STG.

Energi panas yang terkandung dalam gas buang/saluran keluaran turbin gas yang temperaturnya masih cukup tinggi (sekitar 563°C) dialirkan masuk ke dalam HRSG untuk memanaskan air di dalam pipa-pipa pemanas (*evaporator*), selanjutnya keluar melalui cerobong dengan temperatur sekitar 150°C. Air di dalam pipa-pipa pemanas yang berasal dari drum mendapat pemanasan dari gas panas tersebut, sebagian besar akan berubah menjadi uap dan yang lain masih berbentuk air. Campuran air dan uap selanjutnya masuk kembali ke dalam drum. Di dalam drum, uap dipisahkan dari air dengan menggunakan pemisah uap yang disebut *Separator*. Uap yang sudah terpisah dari air selanjutnya dipanaskan lebih lanjut, sehingga kemudian dapat digunakan untuk menggerakkan turbin uap, sedangkan air yang tidak menjadi uap disirkulasikan kembali ke pipa-pipa pemanas, bersama-sama dengan air pengisi yang baru. Demikian proses ini berlangsung terus menerus selama unit beroperasi.

2.6 Keseimbangan Laju Energi Pada Sistem

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

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

$\sum_i \dot{m}_i$ = Jumlah laju aliran massa masuk ke sistem (Kg/s)

$\sum_o \dot{m}_o$ = Jumlah laju aliran massa keluar ke sistem (Kg/s)

Sedangkan keseimbangan laju energinya dapat ditulis dengan persamaan berikut:

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

Dengan :

i = Indeks untuk masuk sistem

o = Indeks untuk keluar sistem

$\dot{Q}_{cv}$ = laju energi pada sistem (KJ/s)

$\dot{m}_{cv}$ = Jumlah total kerja pada sistem (KJ/s)

h = Entalpi fluida kerja (KJ/s)

v = Kecepatan Fluida Kerja (m.s)

z = ketinggian saluran fluida kerja (m)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

2.8 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 :

$$\eta = \frac{Q_h}{Q_{eg}} \times 100\%$$

2.8.1 Laju aliran energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap (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 :

$$\dot{Q}_h = \sum (\dot{m}_{1s} h_{1s} + \dot{m}_s h_s) - (\dot{m}_1 h_1 + \dot{W}_p)$$

2.8.2 Laju aliran energi panas gas buang yang diberikan kepada HRSG (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, jikapemberian 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 :

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

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 :

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

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 :

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

2.9 Perpindahan Panas pada HRSG

Perpindahan panas yang terjadi di dalam HRSG termasuk proses kombinasi konduksi, konveksi dan radiasi. Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang dilakukan oleh molekul-molekul fluida (cair atau gas). Perpindahan panas secara konveksi dibedakan menjadi dua jenis perpindahan panas yaitu konveksi bebas dan konveksi paksa. Laju perpindahan panas yang terjadi pada HRSG dapat dicari dari persamaan berikut :

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta LMTD$$

Dimana :

Q : Laju perpindahan panas (kJ/s atau kW),

U : Koefisien perpindahan panas menyeluruh ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A : Luas permukaan penukar kalor (m^2).

Besarnya laju perpindahan panas pada setiap komponen utama HRSG pada persamaan dapat dihitung dengan pendekatan persamaan dan persamaan. Beda temperatur rata-rata logaritmik ($\Delta LMTD$) pada persamaan yang diberikan oleh persamaan :

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{1,i} - T_{2,o}) - (T_{1,o} - T_{2,i})}{\ln[(T_{1,i} - T_{2,o}) / (T_{1,o} - T_{2,i})]}$$

(Reff. Setyoko, B., *Analisa Efisiensi Performa HRSG (Heat Recovery Steam Generator)*, Traksi Vol 4 No. 2, Desember 2006, pp 56-63)

2.11 Persamaan dalam HRSG

Dalam suatu sistem, analisis berpusat pada daerah dimana materi dan energi mengalir melaluinya. 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 :

$$\eta_{HRSG} = \frac{[Energi \text{ yang dibutuhkan air menjadi uap panas kering}]}{[Energi \text{ bahan bakar turbin gas}]} \times 100\%$$

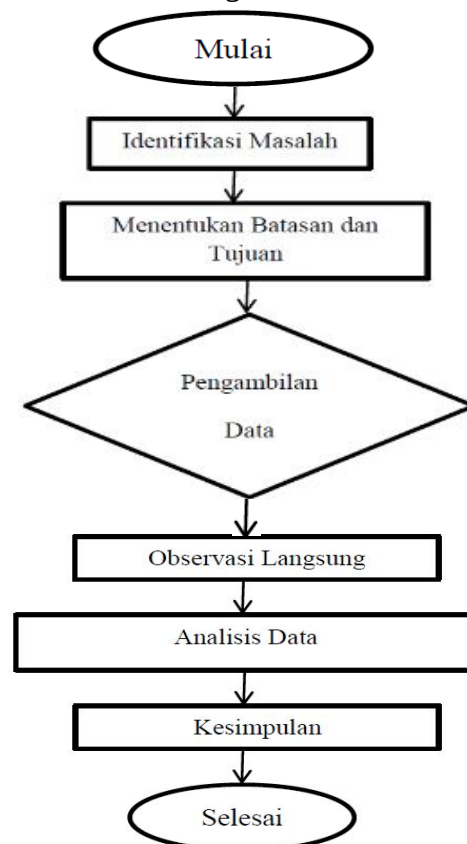
$$\eta_{HRSG} = \frac{[(MHP \times hHP) + (MLP \times hLP) - (MHP + MLP) \times h_{in}]}{[0,9835 \times (\dot{M}_{fg} \times GHV) - (MW_{gt} - 966,947 - LGN)]} \times 100\%$$

Dimana :

- $\dot{M}_{HP}$ = Laju Uap Tekanan Tinggi (Kg/s)
- h_{HP} = Entalpy Uap Tekanan Tinggi (Kj/Kg)
- $\dot{M}_{LP}$ = Laju Uap Tekanan Rendah (Kg/s)
- h_{LP} = Enthalpy Uap Tekanan Rendah (Kg/s)
- h_{in} = Enthalpy air saat masuk ekonomizer LP (Kj/kg)
- $\dot{M}_{fg}$ = Laju Bahan Bakar Turbin Gas (Kg/s)
- GHV = Nilai Kalor bahan bakar (Kj/Kg)
- MW_{gt} = Data Gas Turbin Generator
- $0,9835$ = Nilai rugi-rugi konsumsi panas
- $967,13$ = Nilai rugi-rugi Turbin gas
- LGN = Rugi-rugi Generator = $1,69 MW_{gt} (kW)$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan jenis penelitian deskriptif dimana penelitian dilakukan dengan cara mengumpulkan data-data sesuai dengan kondisi sebenarnya, kemudian data-data tersebut disusun, diolah, dan dianalisis untuk dapat memberikan gambaran mengenai masalah yang ada. Pengumpulan data dilakukan berdasarkan hasil observasi dan wawancara, serta diskusi dengan pimpinan dan karyawan di perusahaan bersangkutan.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Tabel 3.1 Data operasional PLTGU BLOK II GTG
2.1 Tanggal 02-12-2018

No	Uraian	satuan	Waktu					
			00.00	03.00	06.00	08.00	10.30	13.00
GTG & HRSG BLOK II UNIT 1.1								
1	GT Gen Load	MW	75	75	75	75	92	80
2	Turbine Speed	Rpm	2997	2997	2997	2996	2985	2997
3	Fuel Flow	Kg/s	5.45	5.4	5.4	5.4	6.28	5.69
4	Exhaust Turbine Temp	°C	560	560	558	560	560	561
5	Flow LP Superheat	Kg/s	8.5	8.05	8.05	7.5	9.13	8.3
6	Press LP Superheat	Bar	5.6	5.7	5.7	6.1	6.2	6.2
7	Temp LP Superheat	°C	291	299	299	305	285	302
8	Flow HP Superheat	Kg/s	28.8	28.6	28.6	28.6	32.2	29.9
9	Press HP Superheat	Bar	41.6	41.6	41.6	41.8	42.6	43.9
10	Temp HP Superheat	°C	514	515	515	514	513	514
GTG UNIT II								
14	ST Gen Load	MW	24	24	24	24	30	63
15	Press Disch Conds pump	Bar	21.3	21.3	21.4	21.4	21.4	21.3
16	Temp Disch Conds pump	°C	46	46	45	46	46	47

Tabel 3.2 Enthalpy Steam High Pressure
System Tanggal 02-12-2018

Waktu	Pressure (Mpa)	Temperature (°C)	Enthalpy (Kj/Kg)	Entropy (Kj/Kg/°K)	Fase
00.00	4,16	514	3475,631	7,110017	Vapor
03.00	4,16	515	3477,927	7,112811	Vapor
06.00	4,16	515	3477,927	7,11211	Vapor
08.00	4,18	514	3475,413	7,107629	Vapor
10.30	4,16	513	3473,334	7,107223	Vapor
13.00	4,39	514	3473,125	7,082558	Vapor

Tabel 3.3 Enthalpy Steam Low Pressure
System Tanggal 02-12-2018

Waktu	Pressure (Mpa)	Temperature (°C)	Enthalpy (Kj/Kg)	Entropy (Kj/Kg/°K)	Fase
00.00	0,56	291	3043,913	7,373186	Vapor
03.00	0,57	299	3060,297	7,394845	Vapor
06.00	0,57	299	3060,297	7,394845	Vapor
08.00	0,61	305	3071,761	7,382831	Vapor
10.30	0,62	285	3033,323	7,307628	Vapor
13.00	0,62	302	3065,258	7,365408	Vapor

Tabel 3.4 Enthalpy Low Pressure Drum
System Tanggal 02-12-2018

waktu	pressure (Bar)	Temperature (°C)	enthalpy (Kj/Kg)	entropy (Kj/Kg/°K)	Fase
00.00	5,4	117	660,79	1,88998	Water
03.00	5,5	115	665,93	1,8973	Water
06.00	5,5	115	665,93	1,8973	Water
08.00	5,9	118	669,634	1,92442	Water
10.30	6,1	120	673,303	1,9375	Water
13.00	6,1	118	673,303	1,9375	Water

Tabel 3.5 Data Compressed Natural Gas
Tanggal 02-12-2018

DATA COMPRESSED NATURAL GAS			
Tanggal	Uraian	Nilai	Satuan
02/12/2018	GROSS HEATING VALUE	1052,65	BTU/SCF

4. Pembahasan

4.1 Efisiensi Thermal HRSG PLTGU

Perhitungan Efisiensi HRSG pada PLTGU menggunakan formula yang terhubung dengan GTG, maka dari itu perhitungan efisiensi HRSG tetap dihitung berdasarkan energi yang diperoleh dari bahan bakar yang masuk ke gas turbin.

Efisiensi HRSG didefinisikan sebagai panas yang dapat diambil oleh air kondensat sehingga menjadi uap panas lanjut, dibagi dengan energi bahan bakar turbin gas, dikurangi daya output turbin gas, rugi-rugi pada gas turbin dan daya yang hilang di generator gas turbin.

Efisiensi HRSG dapat di perhitungkan dengan menggunakan persamaan yang ada di bawah ini :

$$\eta_{\text{HRSG}} = \frac{[\text{Energi yang dibutuhkan air menjadi uap panas kering}]}{[\text{Energi bahan bakar turbin gas}]} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{HRSG}} = \frac{[(\dot{M}_{\text{HP}} \times h_{\text{HP}}) + (\dot{M}_{\text{LP}} \times h_{\text{LP}})] - [\dot{M}_{\text{HP}} + \dot{M}_{\text{LP}}] \times h_{\text{in}}}{[0,9825 \times (\dot{M}_{\text{fg}} \times \text{GHV}) - (\text{MW}_{\text{gt}}) - 966,947 - \text{LGN}]} \times 100\%$$

4.2 Analisa Perhitungan

a. Efisiensi Thermal *High Pressure* System HRSG (η HRSG)

$$\eta_{\text{HRSG}} = \frac{[\text{Energi yang dibutuhkan air menjadi uap panas kering}]}{[\text{Energi bahan bakar turbin gas}]} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{HRSG}} = \frac{[(\text{MHP} \times \text{hHP}) + (\text{MLP} \times \text{hLP}) - (\text{MHP} + \text{MLP}) \times \text{hin}]}{[0,9835 \times (\text{Mfg} \times \text{GHV}) - (\text{MW}_{\text{gt}} - 966,947 - \text{LGN})]} \times 100\%$$

η HRSG = 60,95%

Jadi nilai Efisiensi Thermal *high Pressure* System pada HRSG 2.1 Tanggal 02-12-2018 jam 00.00 sebesar 60,95%

b. Efisiensi Thermal *Low Pressure* System HRSG (η HRSG)

$$\eta_{\text{HRSG}} = \frac{[\text{Energi yang dibutuhkan air menjadi uap panas kering}]}{[\text{Energi bahan bakar turbin gas}]} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{HRSG}} = \frac{[(\text{MHP} \times \text{hHP}) + (\text{MLP} \times \text{hLP}) - (\text{MHP} + \text{MLP}) \times \text{hin}]}{[0,9835 \times (\text{Mfg} \times \text{GHV}) - (\text{MW}_{\text{gt}} - 966,947 - \text{LGN})]} \times 100\%$$

η HRSG = 15,23%

Jadi nilai Efisiensi Thermal *Low Pressure* System pada HRSG 2.1 Tanggal 02-12-2018 jam 00.00 sebesar 15,23%

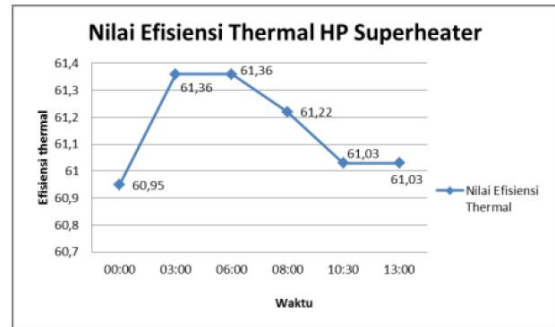
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan efisiensi termal *High Pressure* Superheater Sebelum MO Pada Tanggal 02-12-2018

N O	Waktu	Massa Air (Kg/s)	Enthalpy HP Superheater (KJ/Kg)	Enthalpy LP Superheater (KJ/Kg)	Fuel Flow (Kg/s)	GHV Natural Gas (KJ/Kg)	Dry Air GT (G/s)	Rasio Rasio Kimia	Rasio Rasio Kimia	Rasio Rasio Kimia	LGN (G/s)	Nilai Efisiensi Thermal HP Superheater (%)
1	00:00	28,8	3475,63	660,79	5,45	39220,6	750	0,9835	967	1267	5	60,95
2	03:00	28,6	3477,92	665,93	5,4	39220,6	750	0,9835	967	1267	5	61,36
3	06:00	28,6	3477,92	665,93	5,4	39220,6	750	0,9835	967	1267	5	61,36
4	08:00	28,6	3475,41	669,63	5,4	39220,6	750	0,9835	967	1267	5	61,22
5	10:30	32,3	3473,33	673,30	6,28	39220,6	800	0,9835	967	1267	5	61,03
6	13:00	29,9	3473,12	673,30	5,69	39220,6	800	0,9835	967	1267	5	61,03

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan efisiensi termal *Low Pressure* Superheater Sebelum MO Pada Tanggal 02-12-2018

N O	Waktu	Massa Air (Kg/s)	Enthalpy LP Superheater (KJ/Kg)	Enthalpy HP Superheater (KJ/Kg)	Fuel Flow (Kg/s)	GHV Natural Gas (KJ/Kg)	Dry Air GT (G/s)	Rasio Rasio Kimia	Rasio Rasio Kimia	Rasio Rasio Kimia	LGN (G/s)	Nilai Efisiensi Thermal LP Superheater (%)
1	00:00	8,5	3043,91	660,79	5,45	39220,6	750	0,9835	967	1267	5	15,23
2	03:00	8,05	3040,29	665,93	5,4	39220,6	750	0,9835	967	1267	5	14,70
3	06:00	8,05	3040,29	665,93	5,4	39220,6	750	0,9835	967	1267	5	14,70
4	08:00	7,7	3071,76	669,63	5,4	39220,6	750	0,9835	967	1267	5	13,74
5	10:30	9,13	3003,32	673,30	6,28	39220,6	800	0,9835	967	1267	5	14,58
6	13:00	8,3	3065,25	673,30	5,69	39220,6	800	0,9835	967	1267	5	14,37

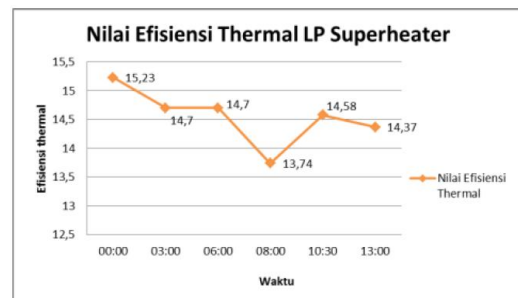
Grafik 4.3 Grafik Nilai Efisiensi Thermal *High Pressure* Superheater Pada Tanggal 02-12-2018



Analisa :

Dari grafik diatas dapat di analisa bahwa nilai efisiensi thermal dari waktu ke waktu cenderung mengalami penurunan, ini disebabkan karena pengaruh nilai tekanan dan temperatur di setiap waktu yang berbeda, besar kecilnya nilai kalor bahan bakar juga dapat mempengaruhi nilai efisiensi. Pada jam 03.00 efisiensi thermal HP Superheater mengalami kenaikan mencapai 61,36 % ,ini terjadi karena nilai temperatur yang dapat kita lihat dari Tabel 3.2 Enthalpy Steam High Pressure System mengalami kenaikan hingga 515 °C ,dan menyebabkan nilai Enthalpy pada waktu tersebut meningkat. Besarnya nilai Enthalpy sangat mempengaruhi besar kecilnya nilai Efisiensi thermal. Penurunan nilai Efisiensi thermal terjadi pada waktu jam 08.00 di karenakan nilai temperatur menurun hingga 514 °C ,menurunnya temperatur ini bisa disebabkan karena terjadinya kebocoran pada isolator yang ada pada dinding-dinding HRSG sehingga Laju kalor menyebar keluar.

Grafik 4.9 Grafik Nilai Efisiensi Thermal *Low Pressure* Superheater Pada Tanggal 02-12-2018



Analisa :

Dari grafik diatas dapat di analisa bahwa nilai efisiensi thermal dari waktu ke waktu cenderung mengalami penurunan, ini disebabkan karena pengaruh nilai tekanan dan temperatur di setiap waktu yang berbeda, dan ada kemungkinan mengalami gangguan-gangguan seperti misalnya kebocoran pada pipa-pipa economizer, evaporator, maupun pada pipa Superheater. Penurunan nilai efisiensi ini juga dapat di sebabkan oleh bocornya isolator pada dinding-dinding HRSG yang menyebabkan laju kalor menyebar keluar.

5. KESIMPULAN

- a. Hasil perhitungan dari waktu ke waktu di dapat nilai efisiensi thermal *High Pressure* Sebesar:

Jam 00.00 = 60,95 % jam 03.00 = 61,36 %
Jam 06.00 = 61,36 % jam 08.00 = 61,22 %
Jam 10.30 = 61,03 % jam 13.00 = 61,03 %

- b. Hasil perhitungan dari waktu ke waktu di dapat nilai efisiensi thermal *Low Pressure* Sebesar:

Jam 00.00 = 15,23 % jam 03.00 = 14,70 %
Jam 06.00 = 14,70 % jam 08.00 = 13,74 %
Jam 10.30 = 14,58 % jam 13.00 = 14,37 %

- c. Dari hasil analisa di dapat nilai efisiensi thermal yang tidak signifikan di karenakan adanya gangguan-gangguan yang mempengaruhi besarnya efisiensi thermal. Penurunan efisiensi thermal pada setiap waktu disebabkan oleh penurunan temperatur maupun tekanan yang biasanya terjadi karena adanya kebocoran pada isolator yang ada pada dinding-dinding HRSG sehingga laju perpindahan kalornya menyebar keluar, dan adanya kebocoran-kebocoran pada pipa-pipa economizer, evaporator, maupun superheater. Penurunan efisiensi thermal juga dapat disebabkan karena kinerja dari demper tidak maksimal, yang menyebabkan proses laju aliran kalor terhambat.

- d. Untuk mengurangi potensi penurunan Efisiensi thermal pada HRSG perlu

meminimalkan kebocoran-kebocoran yang terjadi pada pipa-pipa economizer, evaporator, maupun superheater, dan juga melakukan pengecekan kondisi isolator dinding HRSG, penyumbatan, korosi, serta kondisi diverter demper. Melakukan perbaikan pada komponen - komponen yang berindikasi mempengaruhi penurunan nilai temperatur maupun tekanan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Astra, I. M., Sugihartono, I., & Chaterine, L. (2010). Hasil Perhitungan Efisiensi Termal Pltgu Dan Peluangnya Sebagai Penyumbang Pemanasan Udara (Studi Pada Pltgu Priok Dengan Pola Operasi 2-2-1 Menggunakan Metode Newton-Raphson). *JURNAL METEOROLOGI DAN GEOFISIKA* , 59-66.
2. Elian, A., & Dwiyantoro, B. A. (2017). Perancangan Termal Heat Recovery Steam Generator Sistem Tekanan Dua Tingkat Dengan Variasi Beban Gas Turbin. *JURNAL TEKNIK ITS* , 132-136.
3. yohana, E., & Priambodo, A. (2012). ANALISA EFISIENSI LOW PRESSURE HRSG (HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR) PADA PLTGU. *ROTASI* , 7-9.
4. Ganapathy, V. (2017). Steam Generators and Waste Heat Boilers (For Process and Plant Engineers), 110-118
5. Vernon, L.E. (2017). Heat Recovery Steam Generators Technology (specifying, procuring, installing, operating, and maintaining HRSGs), 20-32
6. Subchan, Mochamad. (2005). "Analisa Efisiensi Thermal Heat Recovery Steam Generator (HRSG) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Dan Uap (PLTGU) Tambak Lorok PT. Indonesia Power UBP Semarang".
7. PT Indonesia Power , Unit BisnisPembangkitan Semarang. (http://www.indonesiapower.co.id/SitePages//UBP_Semarang_Page.aspx)