

Analisis Penurunan Tekanan *HP Drum* HRSGDI PLTGU GRATI Setelah *Exhaust Damper Close*

Roswati Nurhasanah

Jurusan D3 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

Email : roswatinurhasanah@gmail.com

Puri Hariadi

Jurusan D3 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

Abstrak

Long or short time in PLTGU GRATI HSRG operate depending on the conditions of pressure HP Drum. These pressures affect the waiting time ranges for each stage of the opening of the exhaust damper. If during the stand-by pressure HP Drum quickly run up to the pressure of $<5 \text{ kg / cm}^2$ then to operate it back it took a long time because the status has changed into a Cold. In order for the operation of the HRSG does not require a long time start-up should be done when the pressure is $> 15 \text{ kg / cm}^2$ more precisely the conditions Hot. Based on the observation chart ONLINE TEMP known cause of the pressure drop HP Drum very drastic happens during the process of the HRSG is shut down simultaneously with the circulation of HP BCP for 30 minutes after closing Exhaust Damper. From the calculation of the amount of energy lost ($q \text{ loss}$) amounted to 1122.6 kW disistem and almost proportional to the amount of energy out of the system through the HP economizer amounted to 1328.2 kW net of energy absorption ($q \text{ save}$) from HP Evaporator.

Keywords: Exhaust Damper, economizer, $q \text{ loss}$, pressure

1. PENDAHULUAN

Mengoperasikan HRSG lama atau cepatnya tergantung dari kondisi tekanan HP Drum. Lama jeda waktu masing-masing proses pembukaan *Exhaust Damper* tergantung kondisi tekanan HP Drum. Apabila tekanan HP Drum $<5 \text{ kg/cm}^2$ maka statusnya adalah *Cold* dengan jeda waktu proses pembukaan selama 30 menit, sedangkan jika tekanannya $\geq 5 \text{ kg/cm}^2$ sampai $\leq 15 \text{ kg/cm}^2$ statusnya *Warm* dengan jeda waktu 20 menit dan statusnya akan menjadi *Hot* ketika tekanannya diatas $>15 \text{ kg/cm}^2$ dengan jeda waktu 15 menit.

Banking pressure merupakan suatu istilah pengisolasian tekanan pada suatu sistem tertentu, metode tersebut diterapkan operator untuk mempertahankan tekanan HP Drum ketika HRSG shut down agar tekanan HP drum tetap tinggi dan diharapkan saat HRSG start kembali masih dalam kondisi *Hot*. Namun berdasarkan metode yang biasa dilakukan ternyata masih kurang efektif karena penurunan tekanan HP Drum masih terlalu cepat. Oleh karena itu diperlukan suatu metode *banking pressure*

tambahan yang baru untuk menghambat laju penurunan tekanannya dengan harapan dapat mempertahankan statusnya tetap *Hot* dengan rentang waktu yang lebih lama dari metode yang sudah biasa dilakukan selama ini.

2. KAJIAN LITERATUR

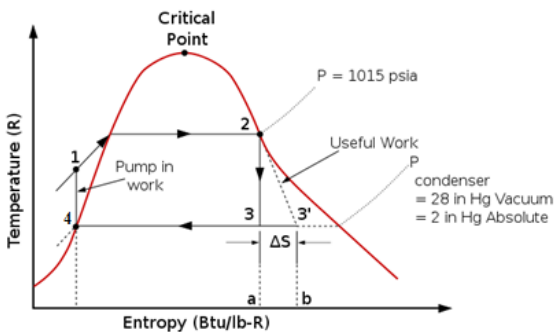
2.1 Tinjauan Umum PLTGU

Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) merupakan gabungan antara Pembangkit Listrik Turbin Gas (PLTG) dan Pembangkit Listrik Turbin Uap (PLTU) atau bisa disebut juga sebagai unit pembangkit *Combined Cycle*. Tujuan utama dari pembangkit kombinasi tersebut untuk meningkatkan efisiensi *thermal*nya. Hal ini dikarenakan penggunaan turbin gas sebagai pembangkit energi listrik mempunyai efisiensi *thermal* rendah sekitar 30% sedangkan turbin uap efisiensi *thermal* sekitar 35%

2.2 Siklus Rankine

Siklus Rankine adalah sebuah siklus yang mengkonversi energi panas menjadi kerja /

energi gerak. Dikembangkan oleh *William John Macquorn Rankine* pada abad ke-19 dan sejak saat itu banyak diaplikasikan pada mesin-mesin uap. Air menjadi fluida kerja siklus rankine dan mengalami siklus tertutup (*close-loop cycle*) artinya secara konstan air pada akhir proses siklus masuk kembali ke proses awal siklus listrik.



Gambar 1. T-S Diagram Siklus Rankine

Pada siklus rankine, air mengalami empat tahapan proses hingga menjadi uap kering.

1. Proses 4 - 1 : Fluida kerja / air dipompa dari tekanan rendah ke tinggi, dan pada proses ini fluida kerja masih berfase cair sehingga pompa tidak membutuhkan input tenaga yang terlalu besar. Proses ini dinamakan proses kompresi-isentropik karena saat dipompa, secara ideal tidak ada perubahan entropi yang terjadi.
2. Proses 1- 2 : Air bertekanan tinggi tersebut masuk ke boiler untuk mengalami proses selanjutnya, yaitu dipanaskan secara isobarik (tekanan konstan). Sumber panas didapatkan dari luar seperti pembakaran batubara, solar, reaksi nuklir atau gas buang gas turbin. Di boiler air mengalami perubahan fase dari cair, campuran cair dan uap, serta 100% uap kering.
3. Proses 2 – 3 : Proses ini terjadi pada turbin uap. Uap air kering dari boiler masuk ke turbin dan mengalami proses ekspansi secara isentropik. Energi yang tersimpan di dalam uap air dikonversi menjadi energi gerak pada turbin.
4. Proses 3 – 4 : Uap air yang keluar dari turbin uap masuk ke kondensor dan mengalami kondensasi secara isobarik. Uap air diubah

fasenya menjadi cair kembali sehingga dapat digunakan kembali pada proses siklus.

2.3. Pengertian *Heat Recovery Steam Generator (HRSG)*

Heat Recovery Steam Generator (HRSG) adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk memanaskan air dengan menggunakan panas gas buang dari turbin gas sehingga dihasilkan uap dengan tekanan dan temperatur tertentu yang konstan.

Gas buang dari *Gas turbine* mengalir memanaskan pipa-pipa di dalam HRSG mulai dari *superheater*, kemudian menuju ke *evaporator*, ke *economizer* dan *preheater* dan selanjutnya keluar melalui cerobong pembuangan/*stack*.



Gambar 2. HRSG

2.4. Pengoperasian HRSG Di PLTGU Grati

Mengoperasikan HRSG PLTGU GRATI memiliki total waktu *Start-up* yang berbeda-beda, perbedaan waktu start ini tergantung dari besarnya tekanan *HP Drum*, ketika tekanan *HP Drum* $< 5 \text{ kg/cm}^2$ maka status pengoperasian dalam kondisi *Cold*, apabila tekanan pada *range* 5 kg/cm^2 sampai 15 kg/cm^2 status pengoperasian adalah *Warm* dan jika tekanan $> 15 \text{ kg/cm}^2$ berstatus *HOT*. Tahapan pertama pembukaan exhaust damper ke posisi 45° kemudian tahapan

yang kedua ke posisi 82° dan tahapan yang ketiga ke posisi 90° (*full open*):

Tabel 1. Klasifikasi *Start Up HRSG*

No	Range Tekanan (kg/cm ²)	STATUS	Jeda Waktu tunggu (menit)	Lama proses pembukaan Damper (menit)
1	0—5	<i>Cold</i>	30	60
2	5—15	<i>Warm</i>	20	40
3	>15	<i>Hot</i>	15	30

2.5. Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi adalah distribusi energi berupa panas yang terjadi karena terdapat aliran fluida. Persamaan dasar perpindahan panas konveksi adalah :

$$q = h \cdot A \cdot (T_w - T_\infty) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

- q = laju perpindahan panas (Watt)
- h = koefisien perpan (W/m.°C)
- A = luasan perpan (m²)
- T_w = temp. permukaan benda (°C)
- T_∞ = fluida temperatur (°C)

2.6. Perpindahan Panas Pipa Fin HRSG

$$q = h \cdot A_s \left[\left(\frac{T_{in} + T_{out}}{2} \right) - T_b \right] \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

- q = laju perpan konveksi (W)
- h = koefisien perpan konveksi rata-rata (W/m².K)
- A_s = luas seluruh permukaan *pin fin assembly* (m²)
- T_b/T_w = temp permukaan *baseplate* (°K)
- T_{in} = temp. *inlet* dari aliran air (°K)
- T_{out} = temp. *outlet* dari aliran air (°K)

Mencari koefisien perpan konveksi rata-rata :

$$h = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{in} - T_{out})}{A_s \left[\left(\frac{T_{in} + T_{out}}{2} \right) - T_b \right]} \dots \dots \dots (2.3)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Daerah penelitian di lokasi pembangkit milik PT.Indonesia Power tepatnya PLTGU GRATI

dengan sasaran HRSG difokuskan sesaat setelah *shutdown* HRSG (ketika *exhaust damper full close*) sampai BCP stop.

3.1 Teknik Pengumpulan Data

Adapun teknik pengumpulan data dari penelitian ini antara lain :

1. Studi Literatur.
2. Wawancara.
3. Studi Lapangan

3.2. Teknik Pengolahan Data

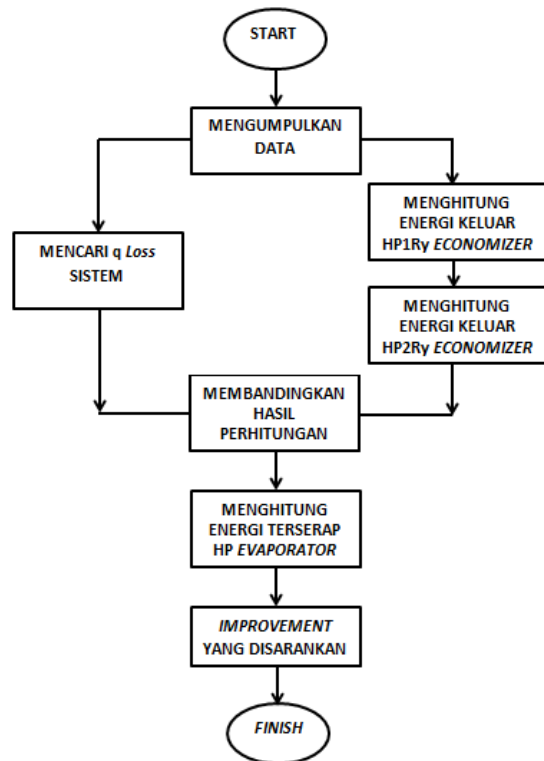
Data-data yang diperoleh selama pengamatan di CCR maupun dilapangan digunakan sebagai dasar perhitungan analisis sehingga dapat diketahui penyebab turunnya tekanan HP *Drum* dan mendapatkan ide untuk menanggulangi permasalahan yang ada.

Adapun variable yang digunakan dalam penelitian sebagai input data perhitungan meliputi :

1. Temperatur HP *Drum*
2. Temperatur Outlet HP 1ry *Economizer*
3. Temperatur Outlet HP 2ry *Economizer*
4. Tekanan HP *steam*
5. Temperatur HP *steam*
6. Temperatur Ruang HRSG
7. *MassFlow* HP BCP

3.3. Kerangka Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan pokok permasalahan maka dibuat suatu kerangka penelitian agar penelitian dapat terarah dan lebih jelas dalam melakukan pengamatan serta penghitungan data yang terangkum dalam alur pikir penelitian. Penelitian ini menggunakan tiga variabel yaitu temperatur, tekanan dan *mass flow*. Ketiga variabel tersebut mempengaruhi lama waktu ketika HRSG dioperasikan (*Start-Up*).



Gambar 3. Kerangka Penelitian

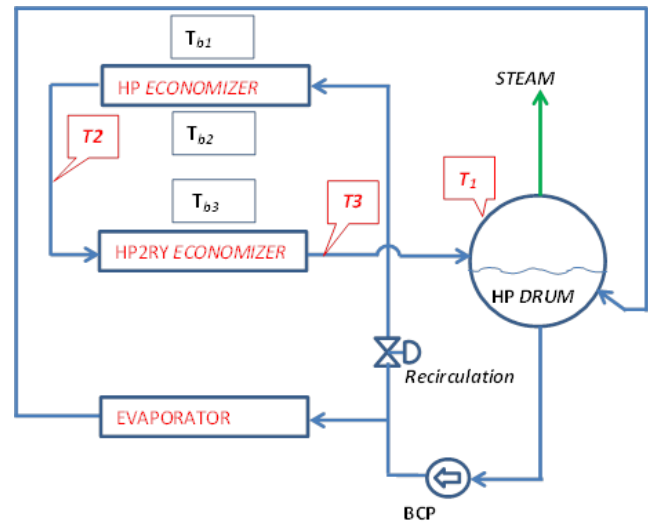
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketika proses *shutdown* HRSG lebih tepatnya setelah penutupan *exhaustdamper* jika di amati pada grafik aplikasi TEMP ONLINE (*ThermalEfficiencyMonitoringProgram*) nampak penurunan tekanan secara drastis selama 30 menit



Gambar 4. Kondisi Penurunan Tekanan HP Drum setelah damper close

4.1 Siklus Kerja HP BCP



Gambar 5. Siklus Kerja HP BCP

Pada waktu stop HRSG dan sesaat setelah *exhaust damper* ditutup, berdasarkan *logic sequence* untuk *High Pressure Boiler Circulating Pump* masih beroperasi sampai 30 menit.

4.2. Perpindahan Panas Di HP1Ry Economizer

Pada HP1Ry Economizer koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata dapat dihitung :

$$h = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{in} - T_{out})}{A_s \left[\left(\frac{T_{in} + T_{out}}{2} \right) - T_b \right]}$$

$$h = \frac{16,67 \times 4665,59 \times (506,05 - 497,75)}{5324,3 \times \left[\left(\frac{506,05 + 497,75}{2} \right) - 439,25 \right]}$$

$$h = \frac{16,67 \times 4665,59 \times 8,3}{5324,3 \times [501,09 - 439,25]}$$

$$h = \frac{16,67 \frac{kg}{s} \times 4665,59 \frac{J}{kg \cdot K} \times 8,3 K}{5324,3 m^2 \times [61,84 K]}$$

$$h = \frac{645535,698 \frac{J}{s}}{329254,712 m^2 \cdot K}$$

$$h = 1,96 W/m^2 \cdot K$$

sehingga laju perpindahan panas yang keluar (yang hilang) dapat diketahui sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 q &= h \cdot A_s \left[\left(\frac{T_{in} + T_{out}}{2} \right) - T_b \right] \\
 &= 1,96 \times 5324,3 \times \left[\left(\frac{506,05 + 497,75}{2} \right) - 439,25 \right] \\
 &= 1,96 \times 5324,3 \times [501,9 - 439,25] \\
 &= 1,96 \frac{W}{m^2 \cdot K} \times 5324,3 m^2 \times 62,65 K \\
 &= 653792,1 W \\
 &= 653,792 kW
 \end{aligned}$$

4.3. Perpindahan Panas Di HP2Ry Economizer

Pada HP2Ry Economizer koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata dapat dihitung :

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{in} - T_{out})}{A_s \left[\left(\frac{T_{in} + T_{out}}{2} \right) - T_b \right]} \\
 h &= \frac{16,67 \times 4558,08 \times (497,75 - 474,05)}{12680,3 \times \left[\left(\frac{497,75 + 474,05}{2} \right) - 468,15 \right]} \\
 h &= \frac{16,67 \times 4558,08 \times 23,7}{12680,3 \times [485,9 - 468,15]} \\
 h &= \frac{16,67 \frac{kg}{s} \times 4558,08 \frac{J}{kg \cdot K} \times 23,7 K}{12680,3 m^2 \times [17,75 K]} \\
 h &= \frac{1800801,69 \frac{J}{s}}{225075,325 m^2 \cdot K} \\
 h &= 8 W/m^2 \cdot K
 \end{aligned}$$

sehingga laju perpindahan panas yang keluar (yang hilang) dapat diketahui sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 q &= h \cdot A_s \left[\left(\frac{T_{in} + T_{out}}{2} \right) - T_b \right] \\
 &= 8 \times 12680,3 \times \left[\left(\frac{497,75 + 474,05}{2} \right) - 468,15 \right] \\
 &= 8 \times 12680,3 \times [485,9 - 468,15]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 8 \frac{W}{m^2 \cdot K} \times 12680,3 m^2 \times 17,75 K \\
 &= 1800602,6 W \\
 &= 1800,602 kW
 \end{aligned}$$

Energi yang keluar di HP2Ry Economizer sebesar 1800,602 kW, sehingga total energi yang keluar di HP Economizer (primary dan secondary) sebesar 2454,4 kW.

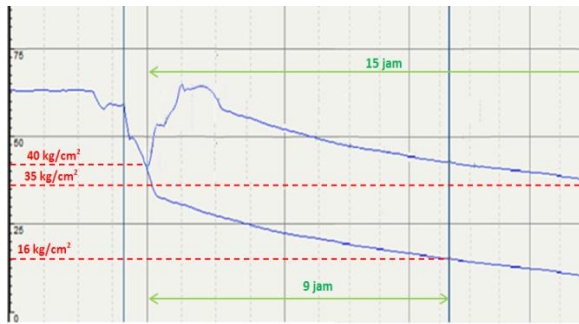
4.4. Energi Yang Diserap HP Evaporator

$$\begin{aligned}
 q_{save} &= (m_1 \times h_1) - (m_3 \times h_3) \\
 &= (23709,38 \text{ Kg} \times 1096,62 \text{ Kj/Kg}) - (21942,78 \text{ Kg} \times 1277,29 \text{ Kj/Kg}) \\
 &= 26000187,972 \text{ kJ} - 28027297 \text{ kJ} \\
 &= 2027109,326 \text{ kJ} \\
 &= 1126172 \text{ kJ/s} \quad (30 \text{ menit}) \\
 &= 1126,2 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

4.5. Keuntungan Jika CV Recirculation Ditutup Selama Sirkulasi

Sirkulasi HP BCP yang hanya terjadi di HP Evaporator berdampak pada naiknya tekanan HP Drum menjadi $\pm 71 \text{ kg/cm}^2$, hal ini bermanfaat terhadap proses persiapan Start-Up HRSG berikutnya yang pada kondisi tertentu dapat dipertahankan sampai kondisi Hot.

Gambar 6. merupakan penurunan tekanan HP Drum salah satu HRSG selama rentang waktu 24 jam. Kondisi awal tekanan HP Drum setelah HP BCP stop 71 kg/cm^2 yang telah dilakukan *improvement* dengan menutup CV Recirculation secara manual. jika diamati pada gambar tersebut setelah 15 jam tekanan turun menjadi 35 kg/cm^2 artinya selama rentang waktu tersebut kondisi HRSG masih berstatus Hot jika dioperasikan kembali.



Gambar 6. Perbandingan penurunan tekanan HP Drum jika CV Recirculation kondisi open dan jika ditutup

Kesimpulan

1. Besarnya energi yang hilang (q_{loss}) secara keseluruhan sistem resirkulasi HP BCP yang mengalir melalui HP Economizer dan HP Evaporator selama 30 menit setelah Exhaust Damper ditutup sebesar 1122,6 kW ditandai dengan penurunan tekanan HP drum dari tekanan 40,3 kg/cm² menjadi 30 kg/cm².
2. Laju perpindahan panas yang keluar (hilang) di HP Economiser (Primary dan Secondary) sebesar 2454,4 kW. Pada waktu yang bersamaan ada penyerapan energi di HP Evaporator 1126,2 kW sehingga kehilangan energi secara keseluruhan sistem saat sirkulasi menjadi 1328,2 kW, nilai ini hampir sebanding dengan perhitungan energi yang hilang (q_{loss}) secara keseluruhan sistem resirkulasi.
3. Ditutupnya CV Recirculation mengakibatkan air resirkulasi HP BCP hanya mengalir melewati HP Evaporator sehingga terjadi penyerapan energi (q_{save}) sebesar 1126,2 kW dan tekanan HP Drum naik dari 40,3 kg/cm² menjadi 71 kg/cm².

Daftar Pustaka

Cockeril Mechanical Industries. 1994. *Operation Manual Book Section 3 : HRSG*. volume H01. Belgium

Intruksi kerja. 2014. *Pengoperasian Turbin Gas (combined cycle)*. Grati

Holman, JP. *Perpindahan Kalor*. Edisi keenam. Diterjemahkan oleh : Ir.E.Jasjfi Msc. Jakarta. Erlangga

Naik,S, Propert, SD, Shilston, MJ. 1987. *Forced convective steady state heat transfer from shrouded vertically fin arrays, aligned paralel to an undisturbed air stream*, Applied Energy. Vol 26. pp. 137-158

Naphon P., and Sookkasem A. 2007. *Investigation on Heat Transfer Characteristics of Tapered Cylinder Pin Fn Heat Sinks*, Energy Conversion and Management. Vol. 48 pp. 2671–2679.

PLTGU GRATI. 1997. *Standart Operation Procedure GT, HRSG & ST (combined cycle)*. Grati

PT PLN UNIT PENDIDIKAN DAN PELATIHAN SURALAYA. 2003. *Kerja Mesin Pembangkit PLTGU*. Suralaya

Rokhadi, AW.2010.*Pengujian Karakteristik Perpindahan Panas Dan Penurunan Tekanan Dari Sirip - Sirip Pin Ellips Susunan Selang-Seling Dalam Saluran Segiempat*. Surakarta

Tiasmoro, IB. 2014. *Analisa Performa HRSG Sebelum Dan Sesudah Cleaning Dengan Variasi Beban*. Grati