

KAJIAN PENGGUNAAN HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR PADA SUATU INSTALASI TURBIN GAS

Tekad Sitepu

Staf Pengajar Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara

Abstrak

Instalasi Turbin Gas dengan Heat Recovery Steam Generator (HRSG) merupakan kombinasi siklus tenaga gas dengan siklus tenaga uap. Uap yang dihasilkan HRSG dengan memanfaatkan panas gas asap keluar dari turbin gas. Penempatan HRSG meningkatkan rendemen (hasil guna) thermal secara keseluruhan dari sistem.

Kata kunci: HRSG, Turbin Gas, Heat Recovery

1. PENDAHULUAN

Instalasi suatu turbin gas terdiri atas: Kompresor, Ruang Bakar, dan Turbin. Instalasi ini bekerja mengikuti siklus Brayton, dengan 2 (dua) proses tekanan konstan dan 2 (dua) proses isentropis. Di dalam kompresor tekanan udara dinaikkan secara isentropis, dalam turbin gas diekspansikan dari tekanan tinggi ke tekanan rendah secara isentropis. Udara tekanan tinggi yang keluar kompresor mempunyai temperatur yang tinggi. Udara masuk ke ruang bakar, dan membakar bahan bakar yang disemprotkan kedalam ruang bakar.

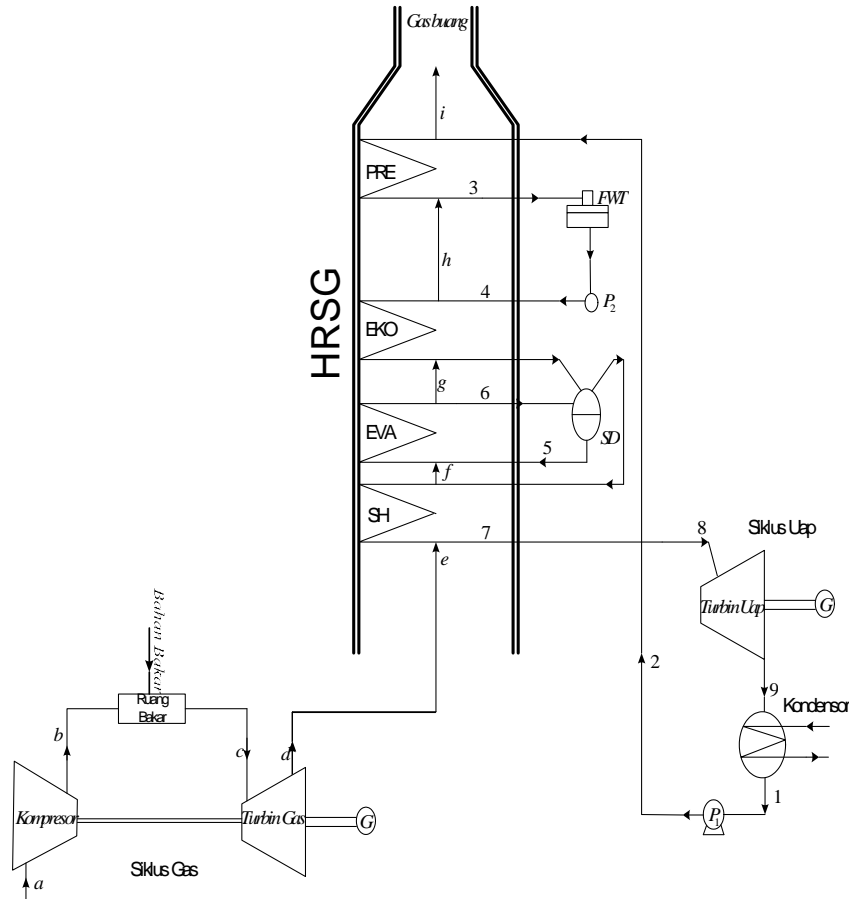
Temperatur gas buang dari turbin cukup tinggi menyebabkan rendemen turbin rendah (maksimum 33%) dan sekaligus boros dalam pemakaian bahan bakar. Konstruksi yang kecil untuk dapat membangkitkan daya besar, menyebabkan instalasi turbin gas sangat sesuai untuk penggerak pesawat terbang. Belakangan ini dalam penggunaan turbin gas untuk industri, gas buangan yang masih bertemperatur tinggi dimanfaatkan untuk pemanas, misalnya memanaskan air menjadi uap pada instalasi pembangkit tenaga listrik. Untuk instalasi turbin gas dan turbin uap saat ini dapat menghasilkan rendemen 42%.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Heat Recovery Steam Generator (HRSG) adalah ketel uap atau boiler yang memanfaatkan energi panas sisa gas buang suatu unit turbin gas untuk memanaskan air dan mengubahnya menjadi uap, dan kemudian uap tersebut dipergunakan untuk menggerakkan turbin uap. Pada umumnya boiler HRSG tidak dilengkapi dengan pembakar dan tidak mengkonsumsi bahan bakar, sehingga tidak terjadi proses perpindahan atau penyerapan panas radiasi. Proses perpindahan atau penyerapan yang terjadi hanyalah proses konveksi dan konduksi dari gas buang turbin gas ke dalam air yang akan diproses menjadi uap melalui elemen-elemen pemanas di dalam ruang boiler HRSG.

Boiler HRSG sangat bermanfaat untuk meningkatkan hasil guna (rendemen) bahan bakar yang dipakai pada unit turbin gas, yang selanjutnya akan menggerakkan unit turbin uap. Sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan proses ini disebut Pusat Listrik tenaga Gas dan Uap (PLTGU) atau unit pembangkit siklus kombinasi CCPP (Combined Cycle Power Plant). Boiler HRSG adalah bagian penting PLTGU. Siklus Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) adalah gabungan siklus Brayton turbin gas dan siklus Rankine turbin uap. Boiler HRSG

merupakan bagian dari siklus Rankine.



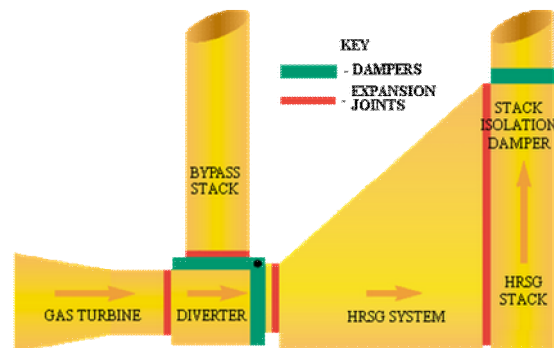
Gambar 1. Diagram PLTGU dengan HRSG Single Pressure

Keterangan :

- SD = *steam drum*
- FWT = *feed water tank*
- PRE = *Preheater*
- EKO = Ekonomiser
- EVA = Evaporator
- SH = *Superheater*
- P = Pompa

dasarnya, turbin gas yang beroperasi pada putaran tetap, aliran udara masuk pada putaran tetap, perubahan beban turbin gas yang tidak konstan dengan aliran bahan bakar tetap, sehingga suhu gas buang juga berubah-ubah mengikuti perubahan beban turbin gas.

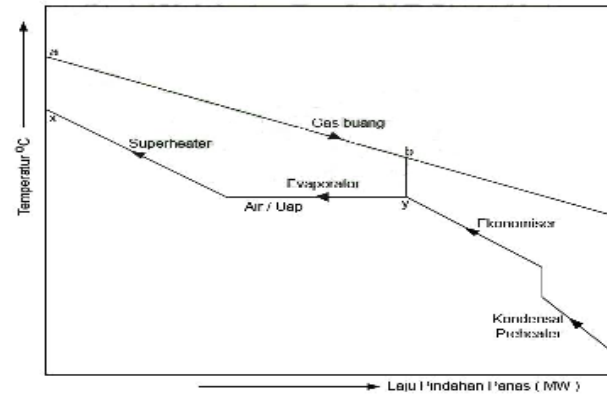
Kapasitas produksi uap yang dapat dihasilkan HRSG tergantung pada kapasitas energi panas yang masih dikandung gas buang dari unit turbin gas, yang berarti tergantung pada beban unit turbin gas. Pada



Gambar 2. Diagram Alir HRSG

Suhu gas buang unit turbin gas tetap konstan diperoleh dengan cara mengatur pembukaan sirip-sirip pemandu aliran udara masuk (IGV, Inlet Guide Vane) guna mengatur laju aliran udara masuk ke kompresor, dimana suhu gas buang sebagai umpan baliknya.

Sebagian boiler HRSG dapat dilengkapi dengan pembakaran tambahan untuk meningkatkan kapasitas produksi uapnya, dan sebagian produksi uapnya dapat digunakan untuk keperluan pemanasan aplikasi lainnya (cogeneration). Dengan pembakaran tambahan ini, kestabilan produksi uap HRSG dapat dipertahankan, sehingga kestabilan turbin uap yang menggunakan uap ini dapat dijaga, walaupun beban turbin gas berubah-ubah, dan juga suhu gas buang turbin gas (aliran udara masuk kompresor) tidak harus dijaga tetap konstan (tidak diharuskan pengaturan IGV).



Gambar3. Profil Diagram Temperatur Gas Turbin

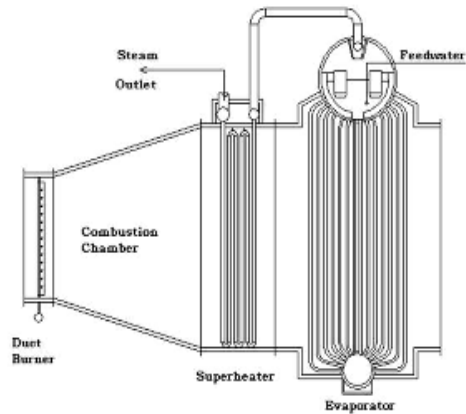
Temperatur uap yang dihasilkan superheater sangat dipengaruhi temperatur gas asap. Perbedaan temperatur yang terkecil antara dua aliran gas asap dengan uap disebut dengan titik penyempitan (*pinch point*) a-x dan b-y (gambar 3) minimum 20 °C (Pk Nag; hal 113).

3. PEMBAHASAN

3.1. Bagian Utama Heat Recovery Steam Generator

3.1.1. Superheater

Superheater merupakan alat yang berfungsi untuk menaikkan temperatur uap jenuh sampai menjadi uap panas lanjut (*superheat vapour*). Uap panas lanjut bila digunakan untuk melakukan kerja dengan jalan ekspansi di dalam turbin atau mesin uap tidak akan mengembun, sehingga mengurangi kemungkinan timbulnya pukulan balik atau *back stroke* yang diakibatkan mengembunnya uap belum pada waktunya sehingga menimbulkan vakum di tempat yang tidak semestinya di daerah ekspansi. Superheater ditempatkan pada daerah aliran gas asap yang bertemperatur tinggi.



Gambar 4. Superheater dan Evaporator pada HRSG

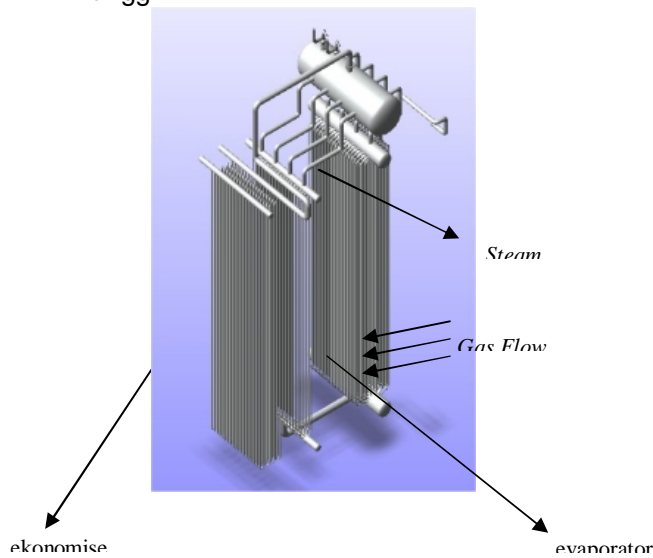
3.1.2. Evaporator

Evaporator merupakan elemen HRSG yang berfungsi untuk mengubah air hingga menjadi uap jenuh, pipa-pipa evaporator pada ketel uap biasanya terletak pada lantai (*water floor*) dan juga pada dinding (*water wall*). Pada pipa ini uap jenuh pada kualitas 0,80 – 0,98, sehingga sebagian masih berbentuk fase cair. Evaporator akan

memanaskan uap air yang turun dari drum uap (*steam drum*) yang masih dalam fase cair agar berbentuk uap jenuh sehingga bisa diteruskan menuju *Superheater*. Uap bercampur air mengalir pada pipa-pipa evaporator menuju drum uap. Pada drum uap terjadi pemisahan antara uap dengan air, yang disebabkan perbedaan massa jenis.

3.1.3 Ekonomiser

Ekonomiser terdiri dari pipa-pipa air yang ditempatkan pada lintasan gas asap setelah pipa evaporator. Pipa-pipa ekonomiser dibuat dari bahan baja atau besi tuang yang sanggup untuk menahan panas dan tekanan tinggi. Ekonomiser berfungsi untuk memanaskan air pengisi sebelum memasuki *steam drum* dan *evaporator* sehingga proses penguapan lebih ringan dengan memanfaatkan gas buang dari HRSG yang masih tinggi sehingga memperbesar efisiensi HRSG karena dapat memperkecil kerugian panas pada HRSG tersebut. Air yang masuk pada *evaporator* sudah pada temperatur tinggi sehingga pipa-pipa *evaporator* tidak mudah rusak karena perbedaan temperatur tidak terlalu tinggi.



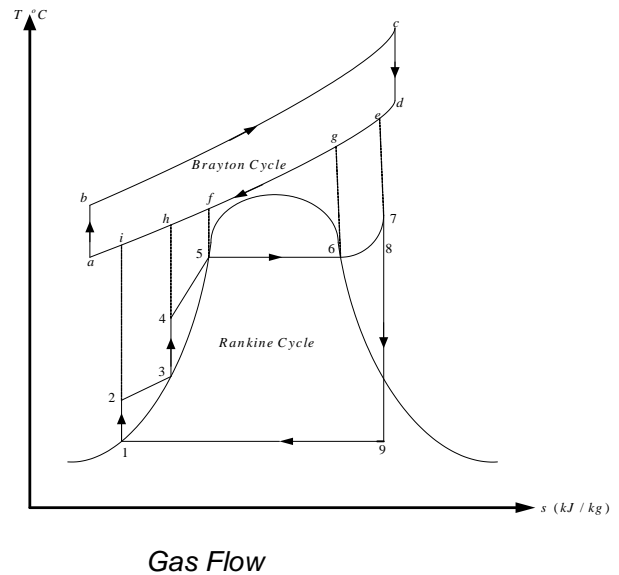
Gambar 5. Susunan Pipa ekonomiser dan evaporator

3.1.4 Preheater

Preheater merupakan pemanas awal air yang dipompakan dari kondensor sebelum masuk tangki air umpan (*feed water tank*). Pada HRSG *preheater* bertujuan menaikan suhu sebelum masuk tangki air umpan yang nantinya akan diteruskan ke ekonomiser. Umumnya *preheater* ini menempati posisi lintasan gas asap sebelum meninggalkan ketel.

3.2. Rendemen Instalasi

Diagram PLTGU dengan HRSG Single Pressure seperti pada gambar 2.1 dapat dinyatakan dalam sebuah diagram T-S seperti pada gambar 6. Diagram I menyatakan daur Brayton untuk turbin gas dan diagram II menyatakan daur Rankine untuk turbin uap.



Gambar 6. Diagram T-S PLTGU

Pemasukan panas ke dalam siklus gabungan terjadi pada ruang bakar atau pada proses b-c dalam gambar 3-4, yang besarnya adalah:

$$Q_{in} = m_{gas} (h_c - h_b)$$

Kerja bersih yang dihasilkan pada instalasi turbin gas sebagai perbedaan

kerja yang dihasilkan turbin dengan kerja diperlukan untuk kompresi gas.

$$W_{net} = W_{turbin} - W_{kompresor}$$

$$W_{net} = m_{gas}(h_c - h_d) - m_{gas}(h_b - h_a)$$

Rendemen turbin gas:

$$\eta_{turbogas} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = \frac{m_{gas}(h_c - h_d) - m_{gas}(h_b - h_a)}{m_{gas}[h_c - h_b]}$$

Panas yang keluar dari turbin gas:

$$Q_{out} = m_{gas}(h_d - h_a)$$

Panas pada instalasi turbin gas murni (Siklus Brayton), panas Q_{out} ini dibuang ke udara atmosfer. Gas yang dibuang ini masih memiliki kandungan energi panas yang tinggi. Dengan menggunakan HRSG panas yang dibuang ini dimanfaatkan. Panas yang dibuang ini dimanfaatkan untuk memanaskan air pada HRSG, yang terdistribusi pada: Superheater, Evaporator, Ekonomiser, dan Preheater. Apabila dianggap tidak ada kerugian panas ke udara atmosfer pada peralatan, dapat dituliskan kesetimbangan energi pada setiap peralatan HRSG.

a. Pipa Superheater:

$$Q_{Sup.} = m_s(h_7 - h_6) = m_{gas}(h_e - h_g)$$

b. Pipa Evaporator:

$$Q_{Eva.} = m_s(h_6 - h_5) = m_{gas}(h_g - h_f)$$

c. Pipa Ekonomiser:

$$Q_{Eko} = m_s(h_5 - h_4) = m_{gas}(h_f - h_h)$$

d. Pipa Preheater:

$$Q_{Preheater} = m_s(h_3 - h_2) = m_{gas}(h_h - h_1)$$

Jumlah energi panas yang dimanfaatkan pada HRSG:

$$\begin{aligned} Q_{HRSG} &= Q_{Sup.} + Q_{Eva.} + Q_{Eko.} + Q_{Preheater} \\ &= m_s(h_7 - h_2) \end{aligned}$$

Rendemen total instalasi menjadi:

$$\eta_{instalasi} = \frac{\{m_{gas}(h_c - h_d) - m_{gas}(h_b - h_a)\} + m_s(h_7 - h_2)}{m_{gas}(h_c - h_b)}$$

4. KESIMPULAN

Penggunaan HRSG pada suatu instalasi turbin gas akan memperbesar rendemen instalasi sebesar:

$$\Delta\eta_{instalasi} = \frac{m_s(h_7 - h_2)}{m_{gas}(h_c - h_b)}$$

DAFTAR PUSTAKA

1. Incropera, Frank. P dan David P. dewit. 1981. *Fundamental of Heat transfer and Mass Transfer*, second edition. New York: Jhon Wiley an Sons.
2. Moran, Michael. J dan Howard N. Shapiro. 2003. *Termodinamika Teknik Jilid 2*, edisi ke -4. Jakarta: Erlangga.
3. Dietzell, Fritz dan Dakso Sayono, 1992. *Turbin Pompa dan Kompresor*. Jakarta: Erlangga.
4. Harman, Richard T. C. 1981. *Gas Turbin Engineering Applications, Cyclus and Characteristics*, 1st Published. London
5. Holman, JP.1998. *Perpindahan Kalor*. Jakarta: Erlangga
6. El wakil, M. W. 1992. *Instalasi Pembangkit daya*, Jilid I. Jakarta: Erlangga
7. Kays, W. M. And A. L. London. 1984. *Compact Heat Exchanger*, 3rd edition. London: Mc Graw Hill Company.
8. Sorensen, Harry. A. 1983. *Energy Conversion system*. New York: Jhon Wiley and Sons.

