

EVALUASI KINERJA *HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR* DI PT INDONESIA POWER UBP PRIOK

Kartono, Tina Mulya Gantina dan Mega Andayani
Jurusan Teknik Konversi Energi – Politeknik Negeri Bandung
E-mail: kartonopolban@yahoo.co.id

Abstrak

Heat Recovery Steam Generator merupakan alat penukar panas yang digunakan untuk mengubah air menjadi uap dengan memanfaatkan panas gas buang. Pada siklus PLTGU, panas buang yang dimanfaatkan HRSG berasal dari turbin gas, dan uap yang dihasilkan digunakan untuk memutar turbin uap. HRSG di PT Indonesia Power UBP Priok terdiri dari LP ekonomiser, LP evaporator, HP ekonomiser, HP evaporator dan HP superheater. Untuk menentukan kinerja HRSG maka dihitung efisiensi dengan cara langsung dan dibandingkan dengan efisiensi pada saat komisioning (heat balance) pada tahun 1994. Untuk menentukan komponen mana yang mengalami penurunan kinerja maka dihitung efisiensi dari komponen-komponennya. Dari hasil perhitungan didapatkan efisiensi HRSG sebesar 88,8% hingga 90,8%, sedangkan efisiensi HRSG pada saat komisioning (heat balance) adalah sebesar 94%. Hal ini menunjukkan bahwa HRSG telah mengalami penurunan kinerja sekitar 3-5%. Sedangkan komponen yang mengalami penurunan kinerja cukup tinggi adalah LP evaporator dengan efisiensi mencapai 82,2%. Penurunan ini diakibatkan oleh suhu air umpan yang terlalu tinggi. Selain itu, penurunan kinerja HRSG dapat juga disebabkan oleh adanya pengerakan pada pipa-pipa HRSG terutama pada evaporator akibat dari akumulasi panas yang tinggi. Upaya untuk menanggulangi hal tersebut adalah dengan menjaga kualitas air umpan HRSG, terutama kandungan mineral kalsium dan magnesium sebagai penyebab utama pengerakan. Selain itu, harus dilakukan pengecekan, perawatan dan pembersihan HRSG agar penyerapan panas gas buang oleh air dapat lebih efisien.

Kata kunci : HRSG, PLTGU, efisiensi

PENDAHULUAN

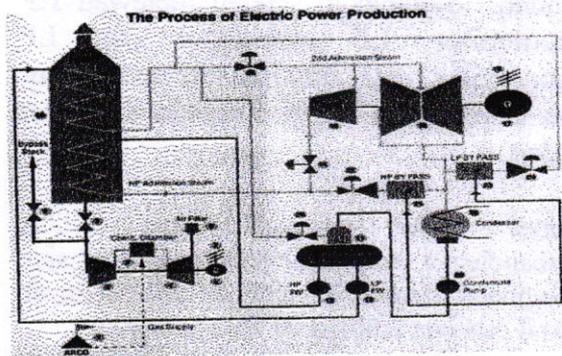
PT Indonesia Power UBP Priok memiliki 2 unit pembangkit listrik tenaga gas - uap (PLTGU) yang masing-masing unit mulai beroperasi sekitar tahun 1992-1995. PLTGU terdiri dari dua jenis pembangkit yaitu pembangkit tenaga gas dan tenaga uap. Pada turbin gas, gas hasil pembakaran digunakan untuk memutar turbin gas yang selanjutnya menghasilkan listrik. Gas buang dari turbin gas masih memiliki suhu yang sangat tinggi dan memiliki jumlah energi yang cukup besar. Oleh karena itu, pada sistem PLTGU, gas buang dengan suhu tinggi itu dimanfaatkan kembali dengan mengalirkannya ke *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) untuk memanaskan air dan mengubahnya menjadi uap kering yang selanjutnya digunakan untuk memutar turbin uap.

Pembangkit tenaga gas memiliki efisiensi 30% dan tenaga uap memiliki efisiensi 35%. Namun apabila kedua siklus ini digabung dapat menghasilkan efisiensi lebih dari 50%. Efisiensi turbin uap pada PLTGU tergantung

pada beberapa hal yang salah satunya kinerja HRSG. Apabila HRSG ini berjalan dengan baik maka energi listrik yang dibangkitkan pada turbin uap akan maksimal. Namun dengan bertambahnya usia PLTGU, kinerja HRSG akan mengalami penurunan. Salah satu indikasinya adalah temperatur gas buang yang dibuang HRSG ke atmosfer menjadi jauh lebih tinggi dibandingkan pada awal pembangunan. Hal ini menunjukkan bahwa penyerapan panas pada HRSG berkurang. Berkurangnya penyerapan panas pada HRSG menyebabkan jumlah uap yang dihasilkan semakin sedikit sehingga listrik yang dihasilkan turbin uap pun semakin sedikit.

Oleh karena itu diperlukan evaluasi terhadap kinerja HRSG sehingga dapat diketahui seberapa besar penurunan kinerja tersebut, dan pada bagian mana dari HRSG tersebut yang mengalami penurunan cukup tinggi. Selanjutnya dapat dicari upaya-upaya untuk mengoptimalkan kinerja HRSG tersebut.

PLTGU di PT. Indonesia Power UBP Priok



Gambar 1 Bagan operasi PLTGU

PLTGU UBP.Priok pada dasarnya memiliki 2 (dua) pola operasi yaitu pola operasi *open cycle* (siklus terbuka) dan *combined cycle* (siklus gabungan).

1. Pola operasi *open cycle* (siklus terbuka)

Pola operasi *open cycle* (siklus terbuka) ialah sistem pengoperasian unit PLTGU dimana gas bekas memutar turbin gas dibuang langsung ke udara bebas tanpa dimanfaatkan terlebih dulu oleh HRSG untuk menguapkan air umpan. Pola operasi ini dilakukan jika terjadi gangguan, perbaikan ataupun pemeliharaan pada HRSG dan *diverter damper* tidak dapat dioperasikan (ditutup) sehingga gas panas tidak dapat masuk ke HRSG. Operasi ini juga berlaku ketika terjadi gangguan, perbaikan ataupun pemeliharaan pada unit turbin uap sehingga gas panas tidak dapat dialirkan karena unit turbin uap tidak dioperasikan.

Pola Operasi ini sebenarnya tidak dianjurkan kecuali dalam keadaan darurat seperti yang disebutkan di atas, karena gas panas yang terbuang melalui cerobong merupakan kerugian yang besar. Selain itu efisiensi yang didapat dari pola ini hanya mencapai 25-29%, tergantung pada pembebanan turbin gas. Jika turbin gas dioperasikan pada beban rendah maka efisiensi yang diperoleh pun semakin kecil.

2. Pola operasi *combined cycle* (siklus gabungan)

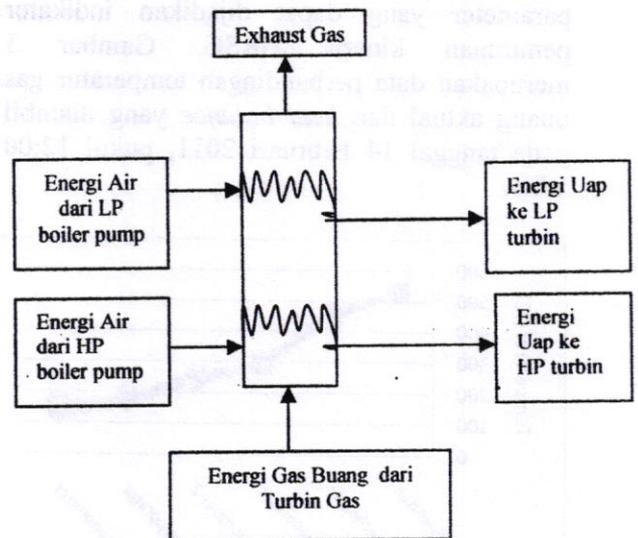
Pola ini merupakan pola normal operasi unit PLTGU, dimana gas panas dialirkan ke HRSG untuk menguapkan air umpan untuk memutar sudu-sudu turbin uap dan tidak ada yang terbuang ke udara luar.

HRSG di PT Indonesia Power UBP Priok

PT Indonesia Power UBP Priok memiliki 6 unit HRSG yang terdiri dari dua aliran berbeda yaitu *High Pressure (HP)* boiler dan *Low Pressure (LP)* boiler. HRSG dilengkapi dengan dua buah drum, yaitu HP drum dan LP drum yang digunakan untuk menampung air dan uap dari hasil pemanasan. Kedua drum dilengkapi dengan masing-masing boiler *circulating pump* HP dan LP untuk membantu proses sirkulasi air ke evaporator. HRSG ini terdiri dari 1 buah LP ekonomiser, 1 buah LP evaporator, 1 buah HP evaporator, 2 buah HP ekonomiser, dan 1 superheater. Pada satu blok terdapat 3 unit HRSG dengan 1 buah *deaerator*.

Neraca Energi

Neraca Energi pada HRSG adalah sebagai berikut:



Gambar 2 Neraca energi HRSG

Pada HRSG ini, energi masuk berupa gas buang dari turbin gas yang dimanfaatkan untuk memproduksi uap. Terdapat dua boiler yaitu LP boiler dan HP boiler yang masing-masing di alirkan ke LP turbin dan HP turbin. Berdasarkan neraca energi di atas maka untuk

menghitung efisiensi dari HRSG adalah sebagai berikut:

$$efisiensi = \frac{energi\ pembentukan\ uap}{energi\ masuk\ sistem} \times 100\%$$

$$efisiensi = \frac{m_{hp}(h_4 - h_2) + m_{lp}(h_3 - h_1)}{m_g \times c_p \times (T_{in} - T_{out})} \times 100\%$$

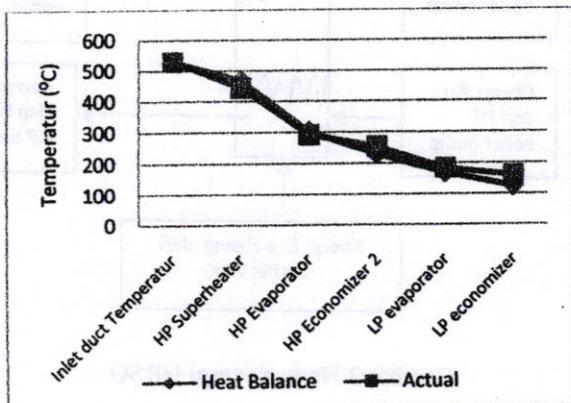
Dimana:

- M_{hp} = massa air masuk boiler hp (kg/s)
- M_{lp} = massa air masuk boiler lp (kg/s)
- M_g = massa gas buang (kg/s)
- C_{pg} = Kalor spesifik gas buang (kJ/kg °C)
- h₁ = entalpi air masuk lp boiler (kJ/kg)
- h₂ = entalpi air masuk hp boiler (kJ/kg)
- h₃ = entalpi uap keluar hp boiler (kJ/kg)
- h₄ = entalpi uap keluar lp boiler (kJ/kg)
- T_{in} = temperature gas buang masuk HRSG (°C)
- T_{out} = temperature gas buang keluar HRSG (°C)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Temperatur Gas Buang

Temperatur gas buang merupakan salah satu parameter yang dapat dijadikan indikator penurunan kinerja HRSG. Gambar 3 merupakan data perbandingan temperatur gas buang aktual dan *heat balance* yang diambil pada tanggal 14 Februari 2011, pukul 12:00 WIB.



Gambar 3 Perbandingan temperatur gas buang

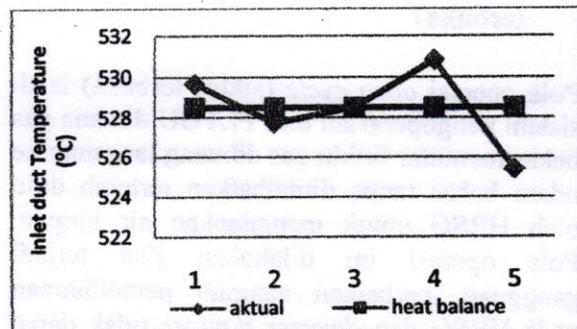
Dari Gambar 3 terlihat bahwa pada saat *heat balance* dan *actual* temperatur gas buang masuk ke HRSG sama. Sedangkan

setelah melewati HP superheater dan HP evaporator temperatur aktualnya lebih rendah. Sedangkan setelah melewati HP ekonomiser, LP evaporator dan LP ekonomiser, data *actual* untuk temperatur gas buang lebih tinggi daripada data *heat balance*.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat perbandingan temperatur pada masing-masing komponen dengan pengambilan data sebanyak 5 kali dari jam 8:00-16:00 sebagai berikut.

a) Inlet Duct Temperature

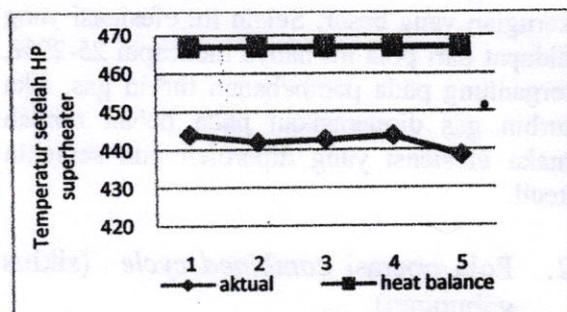
Inlet duct temperature merupakan temperatur yang masuk pada *duct* HRSG yang langsung berasal dari turbin gas. Berikut adalah perbandingan temperatur masuk HRSG aktual dengan *heat balance*.



Gambar 4 Perbandingan temperatur masuk HRSG

Dari Gambar 4 terlihat bahwa temperatur masuk HRSG dapat lebih tinggi atau lebih rendah dari *heat balance*. Hal ini tergantung pada temperatur keluar turbin gas dan beban yang dihasilkannya.

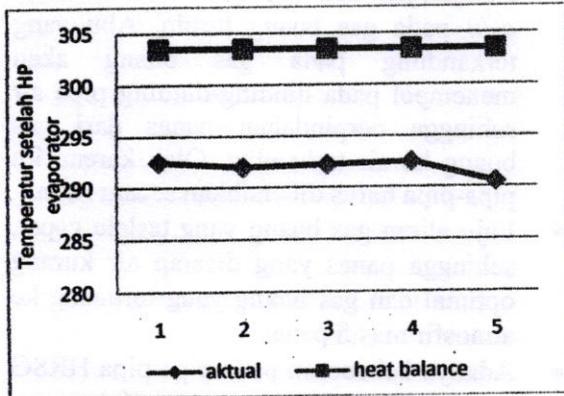
b) HP Superheater



Gambar 5 Temperatur setelah HP superheater

Dari Gambar 5 terlihat bahwa temperatur gas buang setelah melewati *superheater* pada saat sekarang lebih rendah dibandingkan pada saat *heat balance*. Hal ini menunjukkan panas yang diserap oleh HRSG lebih besar dibanding *heat balance*. Panas ini dapat diserap oleh air atau rugi-rugi pada pipa. Untuk mengetahui kinerja dari *HP superheater* dapat dengan menghitung efisiensinya.

c) *HP evaporator*



Gambar 6 Temperatur gas buang setelah melewati HP evaporator

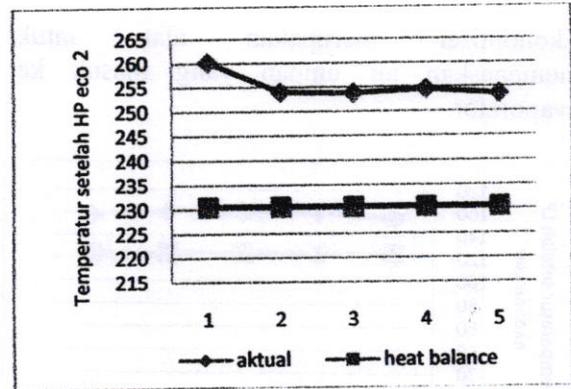
Dari Gambar 6 terlihat bahwa temperatur gas buang setelah melewati *HP evaporator* pada saat sekarang lebih rendah dibandingkan pada saat *heat balance*. Sama seperti pada *HP superheater*, hal ini menunjukkan panas yang diserap oleh *HP evaporator* lebih besar dibanding *heat balance*. Panas ini dapat diserap oleh air atau rugi-rugi pada pipa. Untuk mengetahui kinerja dari *HP evaporator* dapat dengan menghitung efisiensinya. Apabila efisiensinya rendah maka panas lebih banyak diserap oleh pipa.

HP evaporator dan *HP superheater* merupakan komponen dari HP boiler, dengan melihat energi pembentukan uap pada HP boiler maka kita dapat mengetahui apakah energi yang diserap air meningkat juga atau tidak. Apabila energi yang diserap air pada HP boiler menurun atau tidak meningkat maka hal ini mengindikasikan bahwa rugi-rugi meningkat. Rugi-rugi ini dapat berupa rugi konduksi pada pipa dan rugi - rugi akibat adanya kerak pada pipa HRSG. Akibat adanya kerak pada pipa *HP superheater* dan *HP evaporator*, maka penyerapan panas pada

komponen ini terhambat karena sebagian energi gas buang diserap oleh kerak tersebut.

d) *HP ekonomiser 2*

HP ekonomiser 2 merupakan alat pemanas awal pada sistem HP boiler setelah melewati *HP ekonomiser 2*.

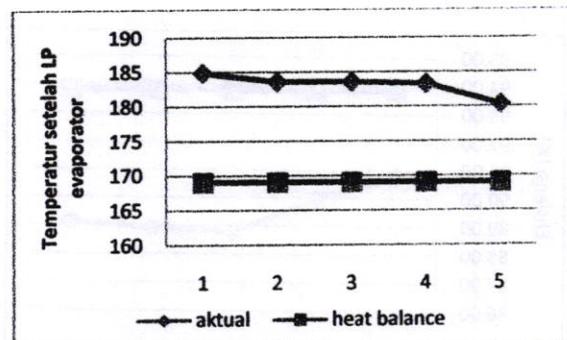


Gambar 7. Temperatur setelah melewati HP ekonomiser

Dari Gambar 7 terlihat bahwa temperatur gas buang setelah melewati *HP ekonomiser 2* lebih tinggi daripada *heat balance*. Hal ini menunjukkan panas yang diserap oleh *HP ekonomiser* lebih rendah. Karena suhu *feed water* yang lebih tinggi daripada *heat balance* maka panas yang diserap oleh *HP ekonomiser* lebih rendah.

e) *LP Evaporator*

LP evaporator merupakan alat untuk membentuk uap jenuh bertekanan rendah yang digunakan untuk memutar LP steam turbin.



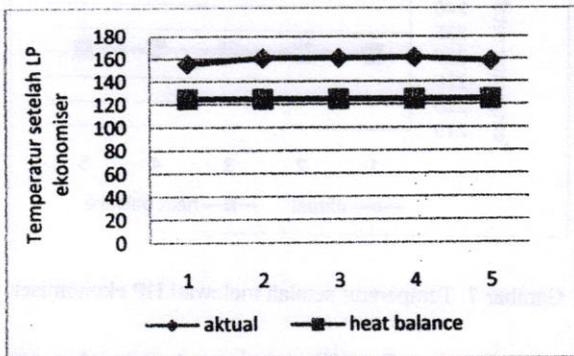
Gambar 8. Temperatur gas buang setelah melewati LP evaporator

Dari Gambar 8 terlihat bahwa temperatur gas buang setelah melewati *LP evaporator* lebih

tinggi daripada *heat balance*. Sama seperti pada HP ekonomiser, panas yang diserap oleh LP evaporator lebih rendah. Hal ini juga disebabkan suhu *feed water* yang lebih tinggi daripada *heat balance* maka panas yang diserap oleh LP evaporator lebih rendah.

f) LP ekonomiser

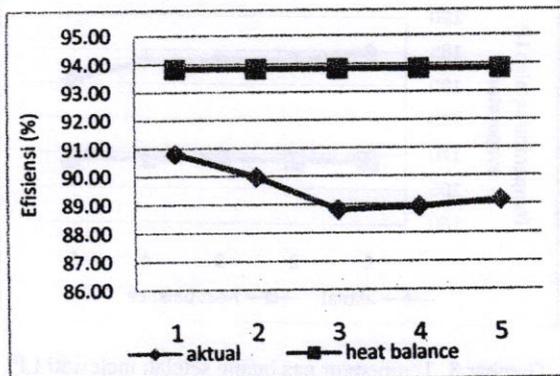
Ekonomiser merupakan alat untuk memanaskan air umpan yang masuk ke evaporator.



Gambar 9. Temperatur gas buang setelah melewati LP ekonomiser

Dari Gambar 9 terlihat bahwa temperatur gas buang setelah melewati LP ekonomiser lebih tinggi daripada *heat balance*. Sama seperti pada LP evaporator, panas yang diserap oleh LP ekonomiser lebih rendah. Hal ini juga disebabkan suhu *feed water* yang lebih tinggi daripada *heat balance* maka panas yang diserap oleh LP ekonomiser lebih rendah.

Efisiensi HRSG



Gambar 10. Efisiensi HRSG

Untuk mengetahui performansi dari HRSG maka harus diketahui efisiensi penyerapan

panas HRSG. Efisiensi HRSG saat ini dibandingkan dengan efisiensi HRSG pada saat pertama kali dibangun (*new and clean*).

Dari Gambar 10 terlihat bahwa efisiensi HRSG pada saat pertama dibangun adalah 94,0%, sedangkan pada saat ini sekitar 88,8 % hingga 90,8%, sehingga sudah mengalami penurunan sebesar 3% – 5%.

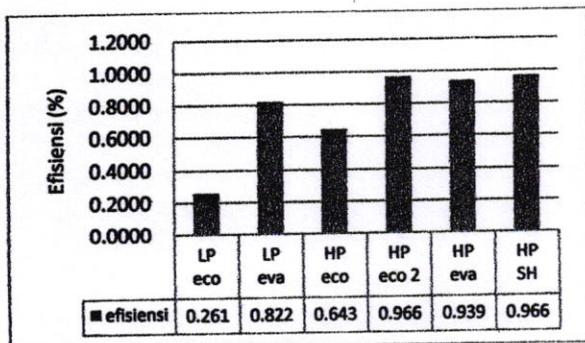
Penurunan efisiensi HRSG dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain:

- Kandungan abu (*fly ash and medium ash*) pada gas buang turbin. Abu yang terkandung pada gas buang akan menempel pada dinding-dinding pipa air sehingga perpindahan panas dari gas buang ke air terhambat. Oleh karena itu pipa-pipa harus dibersihkan secara rutin.
- Laju aliran gas buang yang terlalu cepat, sehingga panas yang diserap air kurang optimal dan gas buang yang terbuang ke atmosfer masih panas.
- Adanya kebocoran pada pipa-pipa HRSG terutama pada evaporator. Kebocoran menyebabkan berkurangnya air yang diproses menjadi uap sehingga uap yang dihasilkan menjadi sedikit. Kebocoran diakibatkan karena kurang kuatnya las pada evaporator dengan tekanan yang cukup tinggi. Tekanan tinggi ini menyebabkan laju aliran air menjadi turbulen dan mengakibatkan kebocoran evaporator.
- Temperatur air pada saat masuk lebih tinggi dari pada *heat balance*, hal ini menyebabkan energi *feed water* lebih besar dari *heat balance*. Padahal dengan temperatur 60°C, HRSG masih mampu memproduksi uap yang diinginkan. Kenaikan temperatur ini disebabkan pola operasi HRSG memakai natural gas dan HSD. Pada satu blok PLTGU memiliki satu deaerator untuk menyuplai 3 unit HRSG. Apabila ada HRSG yang memakai bahan bakar HSD maka suhu air masuk harus di atas 100°C.
- Kandungan silika dalam air yang dapat menyebabkan deposit sehingga perpindahan panas dari gas buang ke air terhambat.
- Kesadahan air yang tinggi. Kesadahan diakibatkan oleh adanya garam-garam Kalsium dan Magnesium dalam air yang apabila terkena panas akan menyebabkan

terjadinya kerak pada pipa air. Kerak ini dapat menghambat perpindahan panas dari gas buang ke air. Pembentukan kerak tertinggi biasanya terjadi pada evaporator.

- Kandungan oksigen dalam air. Oksigen dalam air dapat menyebabkan gelembung-gelembung yang dapat menghambat perpindahan panas pada air.

Efisiensi komponen HRSG



Gambar 11. Efisiensi komponen-komponen HRSG

Dari Gambar 11 terlihat bahwa efisiensi pada LP ekonomiser sangat rendah sekali, hal ini disebabkan karena pada bagian LP ekonomiser dan HP ekonomiser 1 berada pada level yang sama, sehingga gas buang yang mengalir masuk ke dua komponen tersebut. Gas buang yang diserap oleh LP ekonomiser sebanyak 26,16% dan oleh HP ekonomiser 1 sebanyak 64,35% dan jumlahnya adalah 90,51%. Namun hasil ini masih lebih rendah dibandingkan HP ekonomiser 2, HP evaporator dan HP superheater. Hal ini disebabkan oleh suhu air umpan yang masuk jauh lebih tinggi dari biasanya. Suhu air masuk yaitu sebesar 101°C, padahal untuk HRSG dengan bahan bakar gas alam suhu air umpan boleh 60°C. Suhu air masuk yang tinggi menunjukkan energi dari air tinggi sehingga kalor yang diserap LP ekonomiser menjadi lebih rendah. Peningkatan temperatur ini karena HRSG yang memakai HSD membutuhkan suhu tinggi dan deaerator yang ada hanya 1 untuk satu blok.

Efisiensi dari LP evaporator adalah yang paling rendah dibandingkan komponen lain yaitu 82,2%. Kemungkinan kerugian pada evaporator disebabkan terutama oleh pembentukan kerak dan adanya kebocoran pada pipa. Kebocoran pada pipa disebabkan

tekanan air umpan yang cukup tinggi sedangkan sambungan las pada pipa tidak cukup kuat menahan tekanan tinggi tersebut. Adanya kerak merupakan faktor lain yang menyebabkan kerugian pada evaporator. Pembentukan kerak terbesar terjadi pada evaporator karena terjadi akumulasi panas yang cukup tinggi pada proses penguapan. Pada proses ini air diuapkan dan mineral yang terkandung di dalamnya tertinggal di pipa sebagai kerak.

Efisiensi HP superheater cukup tinggi yaitu sekitar 96%. Ini menunjukkan bahwa HP superheater dalam keadaan baik. Pembentukan kerak pada superheater sangat rendah karena uap yang masuk superheater sudah tidak mengandung mineral pembentuk uap. Namun superheater rawan terhadap korosi karena suhunya cukup tinggi. Pada suhu tinggi, keberadaan oksigen dan asam dapat menyebabkan korosi pada pipa superheater.

Selain HP superheater, efisiensi HP ekonomiser maupun LP ekonomiser cukup tinggi. Hal ini disebabkan oleh pembentukan kerak yang terjadi lebih rendah dibandingkan evaporator. Pada ekonomiser, air hanya dinaikan temperaturnya, sehingga fluida masih dalam fasa cair. Mineral yang terkandung masih terbawa oleh air yang berfasa cair sehingga hanya sebagian kecil yang mengerak di ekonomiser.

KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas terdapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Efisiensi aktual HRSG adalah sekitar 88,8% hingga 90,8% sedangkan saat komisioning (tahun 1994) adalah sebesar 94,0%. Hal ini menunjukkan bahwa HRSG tersebut sudah terjadi penurunan kinerja sebesar 3-5%.
- Komponen HRSG yang mengalami penurunan penyerapan panas adalah HP ekonomiser, LP evaporator dan LP ekonomiser.
- Komponen yang memiliki efisiensi cukup rendah adalah LP evaporator yaitu 82,2% dan jumlah efisiensi LP ekonomiser & HP ekonomiser 1 yaitu 90,51%.

- Kondisi HP ekonomiser 2 dan HP superheater masih dalam keadaan baik dan yang paling baik dalam penyerapan panasnya karena efisiensinya cukup tinggi (96,5% - 98,8%).
- Penurunan kinerja pada LP evaporator disebabkan karena pembentukan kerak yang lebih banyak dibandingkan pada komponen lain. Sedangkan penurunan kinerja LP ekonomiser dan HP ekonomiser 1 disebabkan oleh temperatur air umpan yang terlalu tinggi.
- Secara keseluruhan penurunan kinerja HRSG disebabkan oleh penurunan penyerapan panas oleh HRSG, karena adanya pengerasan pada pipa HRSG dan tebalnya debu yang menempel pada permukaan luar pipa HRSG.
- Upaya optimalisasi dapat dilakukan dengan pengecekan kualitas air umpan terutama kandungan kalsium dan magnesium yang merupakan penyebab utama pengerasan, serta pembersihan dan perawatan HRSG secara berkala.

DAFTAR PUSTAKA

Djokosetyardjo, M. J. 2006. *Ketel Uap*. Jakarta: PT Pradnya Paramita

Holman, J. P. 1994. *Perpindahan Kalor (terjemah E. Jasjfi) Edisi keenam*. Jakarta: Penerbit Erlangga

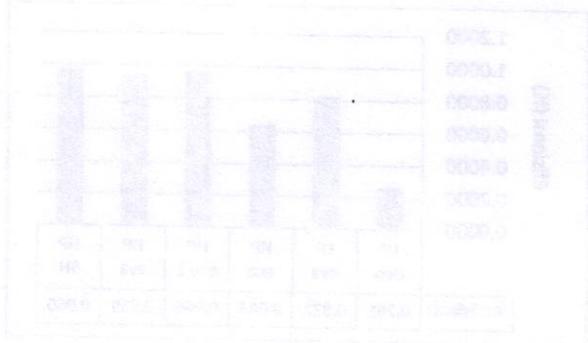
Maridjo. 2005. *Modul Bahan Ajar: Pembangkit Listrik Tenaga Thermal*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.

Moran, Michael J. 2006. *Fundamental of Engineering Thermodynamics*. England: John Wiley & Son, Inc.

Suseno, Tulus. 2000. *Optimasi Efisiensi Termal dan Pola Pembebanan PLTGU Priok*. Jakarta: PT PLN Pembangkitan Tenaga Listrik.

Wuryanti, Sri. 1995. *Perpindahan Panas*. Bandung: Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik.

Yuliyawati, Sri Nur dan Hazma. 2009. *Kiat Penulisan Laporan Ilmiah Untuk Program Diploma*. Bandung: UPT Penerbit Politeknik Negeri Bandung.



Gambar 11. Efisiensi komponen-komponen HRSG