

PERHITUNGAN EFISIENSI PANAS PADA *HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR* DI PT PLN INDONESIA POWER UBP GRATI

Yulia Santi¹, Rihhadatul 'Aisy Ansori¹, Mufid¹, Hayuk Dwi Arti²

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

²PT PLN Indonesia Power UBP Grati, Pasir Panjang, Wates, Kec. Lekok, Pasuruan 67186, Indonesia
ysanti156@gmail.com ; [mufidpolinema@gmail.com]

ABSTRAK

PT. PLN Indonesia Power UBP Grati bergerak di bidang pembangkitan listrik menggunakan gas dan uap. PLTGU Grati menggunakan *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) untuk menghasilkan uap panas (*steam*). HRSG merupakan alat boiler yang berasal dari sisa gas buang turbin yang digunakan untuk memanaskan air, kemudian diubah menjadi uap dengan suhu dan tekanan yang tinggi. Turbin uap (*steam turbine*) memanfaatkan uap tersebut untuk menjalankan proses. Penggunaan HRSG meningkatkan efisiensi bahan bakar pada unit turbin gas (GT) dan sangat efektif untuk menjalankan turbin uap (ST). Kapasitas produksi uap dari HRSG bergantung pada kapasitas energi panas, termasuk gas buang dari unit GT. HRSG berperan penting dalam pembangkitan listrik di PLTGU. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung efisiensi panas HRSG yang dapat meningkat jika kehilangan panas ke atau dari lingkungan. Perhitungan efisiensi panas HRSG dilakukan secara kuantitatif yaitu dengan mengumpulkan data dari *Central Control Room* (CCR). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa ketika laju aliran energi yang diperlukan untuk mengubah air menjadi uap panas adalah 73,55802 MW dan laju aliran energi gas buang HRSG adalah 118,3423 MW, sehingga efisiensi HRSG optimal adalah 62,16%. Efisiensi HRSG dapat menurun akibat kondisi kurang baik pada dinding HRSG, penyumbatan pada pipa-pipa HRSG, dan korosi akibat pengendapan sulfur.

Kata kunci: efisiensi, entalpi, heat recovery steam generator

ABSTRACT

PT PLN Indonesia Power UBP Grati is a part unit of PT PLN Indonesia Power Head Office which is engaged in gas and steam generation. PT PLN Indonesia Power UBP Grati uses a *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) as a heater to produce steam. HRSG is a boiler that utilizes the remaining heat energy from gas turbine exhaust gas to heat water and convert it into high temperature and high pressure steam. The steam is then used to drive a steam turbine. The HRSG improves the efficiency of fuel used in GT units and is very useful for driving ST. The steam production capacity that the HRSG can produce depends on the thermal energy capacity, including the flue gas from the GT unit. The role of HRSG is very important in the power generation process at PLTGU. Therefore, this study aims to calculate the heat efficiency of the HRSG which increases if heat losses to or from the environment can be reduced. Calculation of HRSG heat efficiency is done quantitatively by collecting data contained in the *Central Control Room* (CCR). The calculation results show that when the energy flow rate required for water to become superheated steam is 73.55802 MW and the HRSG flue gas energy flow rate is 118.3423 MW, the optimal HRSG efficiency is 61.16%. The efficiency of the HRSG can also decrease due to poor insulation of the HRSG walls, blockages in the HRSG pipes, and corrosion caused by sulfur deposition.

Keywords: efficiency, enthalpy, heat recovery steam generator

Corresponding author: Mufid

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: mufidpolinema@gmail.com



1. PENDAHULUAN

PT. PLN Indonesia Power UBP Grati beroperasi di bidang pembangkitan gas dan uap serta menyediakan jasa pembangkitan [1]. Proses pembangkitan listrik di PLTGU Grati mencakup pembangkit listrik dengan tenaga gas yang menggunakan gas panas untuk menggerakkan turbin dan pembangkit listrik dengan tenaga uap yang memanfaatkan gas sisa pembakaran turbin untuk menghasilkan uap. Uap yang dihasilkan tersebut digunakan sebagai energi untuk menggerakkan turbin uap [2]. PT PLN Indonesia Power UBP Grati menggunakan *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) sebagai pemanas untuk menghasilkan uap [3]. HRSG merupakan alat boiler yang berasal dari sisa gas buang turbin yang digunakan untuk memanaskan air, kemudian diubah menjadi uap dengan suhu dan tekanan yang tinggi. Uap ini kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin uap [4].

Permasalahan pada *Heat Recovery Steam Generator* blok 2 unit 1 adalah menentukan apakah efisiensi panas dapat ditingkatkan dengan mengurangi kehilangan panas ke atau dari lingkungan di PT PLN Indonesia Power UBP Grati. Mengingat peran HRSG yang sangat penting dalam proses pembangkitan listrik di PLTGU Grati. *Heat Recovery Steam Generator* adalah komponen yang mengintegrasikan turbin gas dan uap dalam sistem pembangkit listrik siklus gabungan [5]. Gas buang turbin dimanfaatkan oleh HRSG untuk memanaskan air dalam pipa-pipanya menjadi uap kering, sehingga dapat memutar turbin uap [6]. Mengubah air menjadi uap kering memerlukan suhu gas buang yang sangat tinggi yang sudah dihasilkan sebelumnya. Uap kering tersebut digunakan sebagai pemanas air dalam pipa-pipa HRSG, dan untuk menjalankan turbin uap [7]. Analisis energi membantu menilai konsumsi atau kualitas energi dengan membandingkannya terhadap konsumsi energi aktual serta kerugian energi yang terjadi akibat proses yang tidak efisien [8]. Energi dapat hilang karena proses yang tidak dapat diubah dan perpindahan panas ke lingkungan.

Peneliti sebelumnya telah mengkaji kinerja termal pada *Heat Recovery Steam Generator* blok 1 unit 1 [9]. Dalam penelitian tersebut, efisiensi panas optimal HRSG mencapai 45,01% dengan energi yang dibutuhkan untuk mengubah air menjadi uap panas sebesar 87,494 MW, dan energi gas buang pada HRSG sebesar 194,386 MW. Penelitian ini kemudian berfokus pada efisiensi panas *Heat Recovery Steam Generator* pada blok 1 unit 2 [10]. PLTGU Grati memiliki 3 blok, masing-masing terdiri dari 3 unit, 3 unit, dan 2 unit [11]. Penelitian ini menghitung efisiensi panas untuk blok 1 unit 2, menemukan bahwa efisiensi panas optimal HRSG adalah 48,09% dengan energi yang dibutuhkan untuk mengubah air sehingga menjadi uap panas sebesar 85,565 MW dan energi gas buang yang masuk ke HRSG sebesar 193,5562 MW.

Berdasarkan uraian tersebut, disimpulkan bahwa blok lainnya juga memerlukan perhitungan efisiensi panas. Perhitungan dilakukan untuk mengetahui jumlah energi yang dipakai, sehingga dapat digunakan sebagai bahan evaluasi pada *Heat Recovery Steam Generator* blok 2 unit 1.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini dilakukan secara kuantitatif dengan mengumpulkan data yang terdapat pada *Central Control Room* (CCR). Pengumpulan data dilakukan di PT PLN Indonesia Power UBP Grati, Pasuruan. Data yang dikumpulkan digunakan untuk menghitung

efisiensi panas pada *Heat Recovery Steam Generator* blok 2.1 selama 1 bulan Agustus masa praktik kerja lapangan.

2.1. Data Operasional HRSG 2.1

Data operasional *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) blok 2 unit 1 dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Data operasional HRSG 2.1 *feed water*

Temperature (°C)		Flow (ton/h)		Pressure (Bar)	
LP	HP	LP	HP	LP	HP
123,1689	128,8384	39,3475	156,5465	10,5123	97,4929

Tabel 2. Data operasional HRSG 2.1 *steam outlet*

Temperature (°C)		Flow (ton/h)		Pressure (Bar)	
LP	HP	LP	HP	LP	HP
258,4605	492,0597	42,7258	154,8113	4,9536	69,4665

Tabel 3. Data operasional HRSG 2.1 gas buang

Cp (Kj/KgK)	Ti (K)	To (K)
1,1286	769,6636	518,0254

2.2. Menghitung Massa *Low Pressure Feed Water*

$$\text{Massa} = \text{Flow} \times 1 \text{ ton/h} \quad (1)$$

Keterangan :

Massa : Massa *Low Pressure Feed Water* (kg/s)

Flow : Flow *Low Pressure Feed Water* (ton/h)

2.3. Menentukan Nilai Entalpi (H)

$$H_x = H_{Lx} + H_{Vx} \quad (2)$$

Keterangan :

H_x : Nilai entalpi (kJ/kg)

H_{Lx} : Nilai entalpi liquid

H_{Vx} : Nilai entalpi vapor

2.4. Menghitung Laju Alir Energi Panas yang Dibutuhkan Air menjadi Uap

$$Q_h = ((m_3 \times h_3) + (m_4 \times h_4)) - ((m_1 \times h_1) + (m_2 \times h_2)) \quad (3)$$

Keterangan :

Q_h : Laju alir energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap (kJ/s)

m_1 : Flow *Low Pressure Feed Water* (kg/s)

m_2 : Flow *High Pressure Feed Water* (kg/s)

m_3 : Flow *Low Pressure Steam* (kg/s)

m_4 : Flow *High Pressure Steam* (kg/s)

h_1 : Entalpi *Low Pressure Feed Water* (kJ/kg)

h_2 : Entalpi *High Pressure Feed Water* (kJ/kg)

h_3 : Entalpi *Low Pressure Steam* (kJ/kg)

h_4 : Entalpi *High Pressure Steam* (kJ/kg)

2.5. Menghitung Konversi Laju Reaksi Alir *Exhaust Gas*

$$M_{eg} = 1500 \frac{T}{h} \quad (4)$$

Keterangan :

M_{eg} : Konversi laju reaksi alir *exhaust gas* (kg/s)

T/h : Suhu (°C) / jam

2.6. Menghitung Laju Alir Energi Panas Gas Buang yang Diberikan HRSG

$$Q_{eg} = M_{eg} \times C_{p_{eg}} \times (T_i - T_o) \quad (5)$$

Keterangan :

Q_{eg} : Laju alir energi panas gas buang (kJ/s)

M_{eg} : Konversi laju reaksi alir *exhaust gas* (kg/s)

$C_{p_{eg}}$: Kapasitas kalor (kJ/kg°C)

T_i : Suhu masuk (°C)

T_o : Suhu keluar (°C)

2.7. Efisiensi Daya HRSG

$$\eta = \frac{Q_h}{Q_{eg}} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan :

η : Efisiensi daya HRSG (%)

Q_h : Laju alir energi panas untuk menguap (kJ/s)

Q_{eg} : Laju alir energi panas gas buang (kJ/s)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

Hasil perhitungan efisiensi panas pada *Heat Recovery Steam Generator* blok 2 unit 1 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan efisiensi panas HRSG 2.1

No	Parameter	Hasil Perhitungan
1	Massa LP <i>Feed Water</i>	10,9307 kg/s
2	Nilai Entalpi	2710,863 kJ/kg
3	Q_h	73558,02 kJ/s
4	M_{eg}	416,700 kg/s
5	Q_{eg}	118342,3 kJ/s
6	η	62,16%

3.2. Pembahasan

Mengubah energi panas menjadi energi listrik merupakan fungsi dari instalasi Pembangkit Listrik dengan Tenaga Gas Uap. Secara prinsip, PLTGU merupakan kombinasi

dari Pembangkit Listrik dengan Tenaga Gas (PLTG) dan Pembangkit Listrik dengan Tenaga Uap (PLTU). *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) memanaskan air didalamnya yang berguna untuk PLTGU, sehingga PLTGU memanfaatkan panas dan *steam* dari proses pembakaran di PLTG. Uap jenuh kering yang dihasilkan merupakan uap jenuh kering dengan tekanan dan suhu tinggi. Uap jenuh kering tersebut kemudian digunakan untuk mendorong turbin agar berputar. Gas yang dihasilkan di ruang bakar PLTG berfungsi menggerakkan turbin, kemudian dialirkan ke generator untuk diubah menjadi energi listrik. Seperti pada PLTU, bahan bakar untuk PLTG dapat berupa cairan (BBM) atau gas (gas alam) [12].

Kinerja HRSG dapat dievaluasi dengan membandingkan laju energi yang diperlukan dengan laju energi gas buang [13]. Besar energi buang pada HRSG dapat bervariasi karena fluktuasi aliran massa bahan bakar dan tingkat emisi pada HRSG [14]. Selain itu, aliran energi gas buang juga dipengaruhi oleh pembukaan peredam, yang mempengaruhi laju penyerapan energi gas buang oleh air untuk menghasilkan uap. Akibatnya, efektivitas HRSG dapat berubah-ubah tergantung pada kondisi saat itu. Tekanan pada *Low Pressure Steam* lebih rendah daripada air yang masuk ke HRSG karena adanya katup ekspansi di saluran masuk *drum Low Pressure* dan *Low Pressure Steam Header*. Dengan demikian, katup ekspansi menyebabkan penurunan tekanan pada uap yang keluar dari *Low Pressure Steam Header* menjadi lebih rendah dibandingkan dengan tekanan air yang masuk ke HRSG.

Air yang masuk ke HRSG memiliki tekanan yang lebih rendah dibandingkan dengan *High Pressure Steam* karena *High Pressure Transfer Pump* meningkatkan tekanan secara signifikan. Akibatnya, jika terjadi penurunan tekanan karena katup ekspansi di saluran masuk *High Pressure Drum* atau *High Pressure Steam Header*, tekanan tetap tinggi. Selain itu, desuperheater berperan dengan menyuntikkan air ke dalam aliran uap, meningkatkan jumlah uap yang keluar dari HRSG. Pada tabel hasil perhitungan disimpulkan bahwa efisiensi optimal HRSG adalah 62,16%, dengan laju energi yang dimanfaatkan oleh air untuk menghasilkan superheated steam sebesar 73,55802 MW, dan 118,3423 MW laju energi yang dibutuhkan gas buang pada HRSG.

Efisiensi pada HRSG terkadang mengalami penurunan. Penurunan pada HRSG dapat disebabkan [15] karena terhambatnya perpindahan panas dari pipa pemanas ke *feed water*, kondisi kurang baik pada isolasi dinding HRSG, adanya residu pada tube HRSG sehingga menghambat terjadinya perpindahan panas, ataupun karena korosi akibat pengendapan sulfur.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis data operasional blok 2 unit 1 PLTGU Grati, dapat disimpulkan bahwa efisiensi panas *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) blok 2.1 PLTGU Grati menunjukkan kinerja yang baik, mencapai persentase rata-rata sebesar 62,16%. Laju aliran energi yang digunakan oleh air untuk menghasilkan uap *superheated* adalah sebesar 73,55802 MW, sementara laju aliran energi panas buang pada HRSG mencapai 118,3423 MW. Data efisiensi panas ini dihitung dari tanggal 1 hingga 21 Agustus 2023, sedangkan mulai tanggal 22 terjadi *Planned Outage*, dimana unit dikeluarkan dari sistem kelistrikan untuk dilakukan overhaul atau perbaikan peralatan.

Berdasarkan hasil dan pembahasan, disarankan untuk membersihkan atau mengganti filter air intake karena penurunan laju aliran udara dari turbin ke HRSG telah menyebabkan penurunan efisiensi. Penelitian ini dapat menjadi landasan untuk penelitian lanjutan mengenai efisiensi panas HRSG pada unit lain, yang kemudian dapat dibandingkan dengan kinerja unit dari produsen lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PLTGU Grati yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan Praktik Kerja Industri dan juga menjadi penyedia data penelitian sehingga artikel ini dapat disusun dengan baik.

REFERENSI

- [1] P. Arya, S. L. Salmia A, dan Kiswandono, "Analisa Potensi Bahaya dan Pengendalian Risiko Kecelakaan Kerja Pada Bagian Produksi di PT Indonesia Power Grati POMU", *Jurnal Mahasiswa Teknik Industri*, vol. 4, no. 2, 2021.
- [2] E. Maulana, "Analisis Network dan Leveling SDM Pada Operasi dan Pemeliharaan (O&M) Unit Turbin Gas PLTGU," Skripsi, Teknik Industri, Universitas Indonesia, 2008.
- [3] I. Maula, A. Mustain, A. S. Suryandari, dan A. Hariadi, "Studi Pengaruh Pressure Drop Terhadap Efisiensi Heat Recovery Steam Generator#1.2 Berbasis Simulasi Chemcad", *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 2021, no. 1, hal. 42–50, 2021.
- [4] N. R. Janah, H. Hadi, dan N. L. Hamidah, "Analisa Unjuk Kerja Heat Recovery Steam Generator (HRSG) dengan Menggunakan Pendekatan Porous Media di PLTGU - Jawa Timur", *Jurnal Teknik*, vol. 7, hal. 2337–3520, 2018.
- [5] Y. Afrianto, M. U. Tony Suryo, dan B. T. Fajar, "Analisa Efisiensi Exergi Pada HRSG (Heat Recovery Steam Generator) di PLTGU", *Jurnal Teknik Mesin S-1*, vol. 4, no.2, 2015.
- [6] E. Yohana, dan A. Prambodo, "Analisa Efisiensi Low Pressure HRSG (Heat Recovery Steam Generator) Pada PLTGU PT. Indonesia Power UBP Semarang," *Rotasi*, vol. 14, no. 1, hal. 7-9, Jan. 2013.
- [7] H. M. Hariri, "Analisis Pengaruh Penambahan Bahan Bakar Gas Terhadap Operasional Produksi Heat Recovery Steam Generator (HRSG) di PT. Pupuk Indonesia Energi Gresik Jawa Timur", Laporan Praktik Kerja Lapangan, Manajemen Rekayasa, Universitas Internasional Semen Indonesia, 2021.
- [8] M. H. Ginting, M. U. Tony Suryo, dan K. Rozi, "Analisa Efisiensi Exergi Boiler Di PLTU Unit 3 PT. Indonesia Power Semarang-Jawa Tengah", *Jurnal Teknik Mesin S-1*, vol. 2, no. 1, 2013.
- [9] P. F. Aisyah, dan W. Yuni, "Perhitungan Efisiensi Panas Pada Heat Recovery Steam Generator Blok 1.1," Laporan Praktik Kerja Lapangan, Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, 2020.
- [10] A. Frida, dan I. R. Glowinda, "Perhitungan Efisiensi Panas Pada Heat Recovery Steam Generator Blok 1.2," Laporan Praktik Kerja Lapangan, Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, 2020.
- [11] T. A. E. D. Willy, "Metode Pengolahan Air Limbah Proses Utama Menggunakan Waste Water Treatment Plant (WWTP) Pada PT Indonesia Power Grati Power Generator and

- Operation & Maintenance Services Unit (POMU)", *Media Gizi Kesmas*, vol. 12, no. 1, hal. 66-74, 2023.
- [12] Mulyono, S. Priyoatmojo, dan U. Zulaikhah, 'Analisis Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Gas dan Produksi Gas Buang Pembangkit Pada Variasi Beban PLTGU X', *Jurnal Teknik Energi*, vol. 16, hal. 136–147, 2020.
- [13] Y. Dewantoro Herlambang, Supriyo, dan T. A. Wibowo, 'Analisis Perhitungan Efisiensi Heat Recovery Steam Generator (HRSG) Tipe Vertikal Tekanan Ganda Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU)', *Jurnal Teknik Energi*, vol. 16, no. 3, hal. 148-164, 2020.
- [14] B. Setyoko, 'Analisa Efisiensi Performa Hrsg (Heat Recovery Steam Generation) Pada PLTGU', *Traksi*, vol. 4, no. 2, 2006.
- [15] A. Yusron dan D. Dwi Saputro, 'Analisa Performa Heat Recovery Steam Generator Sebelum dan Sesudah Cleaning Di PT Indonesia Power Tambak Lorok Semarang Menggunakan Software Matlab R.12 pirolisis Getah Pinus', *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 16, no. 1, 2018.