

# Analisa Unjuk Kerja Heat Recovery Steam Generator Pada Blok 1 Unit 1 Pt. Indonesia Power Grati Pomu

Gede Ferdy Wardiana, I.G.B. Wijaya Kusuma, A.A.I.A. Sri Komaladewi  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

*PLTGU PT. Indonesia Power Grati Pomu merupakan suatu pembangkit listrik yang menggunakan sistem kombinasi dari dua sistem pengoperasian yaitu PLTG dengan PLTU. Dimana gas buang dari PLTG yang suhunya masih mencapai 500°C dimanfaatkan untuk menghasilkan uap. Komponen utama dari PLTU ialah Heat Recover Steam Generator, dimana komponen tersebut sangat berperan penting untuk menentukan input dari turbin uap yang dimana kualitas dan keefektifitasannya harus dipertimbangkan. Berdasarkan kondisi tersebut, peneliti mencoba melakukan analisa perbandingan unjuk kerja pada on-design dan aktual dari HRSG atau alat penukar kalor yang harus dipertimbangkan keefektifitasannya. Analisa dilakukan pada Blok 1 Unit 1 dengan menggunakan perhitungan terhadap laju perpindahan panas, efektifitas, serta pressure drop yang terjadi. Setelah dilakukannya analisa terjadi penurunan nilai efektifitas, pada kondisi on-design sebesar 23,23% dan kondisi aktual sebesar 13,55% dengan jumlah penurunan yang terjadi sebesar 9,68%. Terjadi penurunan tekanan, untuk kondisi on-design mencapai nilai 9149,7 Pascal dan kondisi aktual 9127,5 Pascal, terjadi penurunan sebesar 21,46 Pascal. dari analisa yg dilakukan ditemukan beberapa faktor-faktor terjadinya penurunan nilai efektifitas antara lain yaitu laju perpindahan panas, nilai q maksimal, dan LMTD.*

*Kata kunci: Analisa, HRSG, Perpindahan Panas*

## Abstract

*PLTGU PT. Indonesia Power Grati Pomu is a power plant that uses a combination system of two systems, namely PLTG and PLTU. Where the exhaust gas from the PLTG, whose temperature still reaches 500°C, is used to produce steam. The main component used to generate steam is the Heat Recovery Steam Generator, where this component is very important to determine the input of the steam turbine whose quality and effectiveness should be prohibited. Based on these conditions, the researcher tries to analysis the performance comparison of the design and the actual HRSG or heat exchanger which must consider its effectiveness. The analysis is carried out at Block 1 Unit 1 by using the calculation of the rate of displacement, effectiveness, and pressure drop that occurs. After the assessment, the decrease in the effectiveness value, in the design condition was 23.23% and the actual condition was 13.55% with the amount of decrease that occurred was 9.68%. There is a pressure drop, for the condition in-design it reaches the value of 9149.7 Pascal and the actual condition is 9127.5 Pascal, there is a decrease of 21.46 Pascal. From the analysis conducted, it was found several factors for the implementation of decreasing the effectiveness value, namely heat rate, maximum q value, and LMTD.*

*Keywords: Analysis, HRSG, Heat Transfer*

## 1. Pendahuluan

Kurangnya pasokan listrik disebabkan oleh minimnya jumlah pembangunan pembangkit di Indonesia pada beberapa tahun terakhir. Salah satu upaya yang dapat dilakukan guna meningkatkan produksi tenaga listrik adalah membangun beberapa pembangkit listrik dengan penggunaan energi bahan bakar fosil seefisien mungkin adalah mendirikan siklus kombinasi PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap) [1]. Dimana uap panas hasil pembakaran dari *Combustion Chamber* selanjutnya akan dipergunakan sebagai pemutar turbin untuk dapat menghasilkan energi listrik, dan temperatur gas buang dari hasil memutar turbin ini nantinya digunakan untuk memanaskan ketel uap yang disebut Heat Recovery Steam Generator sehingga dapat kembali menghasilkan uap bertekanan dan bertemperatur tinggi untuk memutar turbin uap. Energi listrik yang di hasilkan setiap pembangkit ini yang nantinya akan di distribusikan untuk semua kepentingan.

PT. PLN (Persero) yang memiliki beberapa anak buah perusahaan yang bertugas melayani listrik daerah Jawa dan Bali, salah satunya adalah PT. Indonesia Power Grati Pomu wilayah Pasuruan, Jawa Timur. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap yang berada di PT. Indonesia Power Grati Pomu bekerja berdasarkan siklus termodinamika, untuk PLTG menggunakan siklus Bryton sebagai siklus kerjanya, PLTGU menggunakan siklus Rankine. Proses Produksi Listrik PLTGU Grati Pomu terdiri dari 3 blok pengoperasian dengan pola operasi pada blok 1 yaitu menggunakan pola 3-3-1, pada blok 2 menggunakan sistem *Open Cycle* saja, dan yang terakhir pada Blok 3 yang merupakan milik PLN menggunakan pola operasi 3-3-1 dengan menggunakan dua jenis bahan bakar yaitu Gas Alam dan HSD (*High Speed Diesel*).

Untuk meningkatkan produksi energy listrik maka komponen-komponen utama Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) haruslah beroperasi secara maksimal [2]. HRSG merupakan alat *heat exchngr* yang memanfaatkan kalor sisa gas

buang turbin gas untuk memanaskan air dan mengubahnya menjadi uap. HRSG memiliki beberapa komponen penting didalamnya salah satunya yaitu heat exchanger yang terdiri dari evaporator, economizer, dan superheater. Melakukan analisa pada prestasi *Heat Recovery Steam Generator* akan dapat mengetahui *output* dari temperatur dan tekanan yang dihasilkan, seberapa maksimal kinerja dari *Heat Recovery Steam Generator (HRSG)* dapat diketahui seberapa efektif turbin di gerakan.

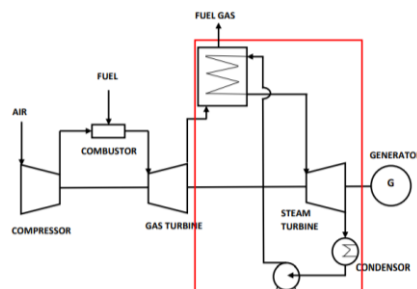
Namun HRSG yang digunakan industri pembangkit listrik di Grati, pasuruan masih memiliki perpindahan panas dan efektifitas yang kurang, dengan batasan normal 43 % kini unjuk kerja yang dihasilkan hanya mencapai kurang lebih 27% saja. Hal ini disebabkan oleh usia dari unit 1 pembangkit ini sudah lama. Diharapkan dengan dilakukannya analisis HRSG ini dapat memiliki nilai perpindahan panas yang maksimal karena sangat mempengaruhi putaran turbin nantinya.

Berdasarkan latar belakang yang sudah didapat, peneliti mencoba melakukan analisa pada *Heat Recovery Steam Generator (HRSG)* di PLTGU Grati Pomu Pasuruan, dengan menganalisa unjuk kerja dari HRSG akan dapat mengetahui seberapa efektif perpindahan panas dan penurunan tekanan yang terjadi, serta dapat mengetahui efisiensi dari turbin itu sendiri yang nantinya diambil kesimpulan untuk meningkatkan kinerjanya.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Definisi PLTGU

Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) merupakan suatu sistem kombinasi dari pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) dengan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Dimana panas gas buang dari PLTG yang suhunya masih mencapai 500°C dimanfaatkan untuk menghasilkan uap sebagai penggerak utama turbin uap. Tujuan utama dari siklus ini yaitu untuk meningkatkan efisiensi termal PLTG yang awalnya relatif kecil yaitu kurang lebih 25%. Efisiensi termal yang mampu dicapai instalasi siklus gabungan tersebut sebesar 48-50 %. pemanfaatan gas buang dari turbin gas yang awalnya dibuang ke lingkungan kini dimanfaatkan kembali untuk memanaskan air umpan (*feed water*) menjadi uap panas lanjut (*superheated vapor*) yang menggunakan *heat exchanger* atau *Heat Recovery Steam Generator (HRSG)*. Heat Exchanger atau penukar panas adalah peralatan yang menerapkan prinsip perpindahan panas yang digunakan untuk mentransferkan kalor antar 2 fluida atau lebih. Kebanyakan heat exchanger, fluida-fluida kerjanya dipisah oleh permukaan diantara kedua fluida tersebut dan biasanya fluidanya tidak bercampur [3].



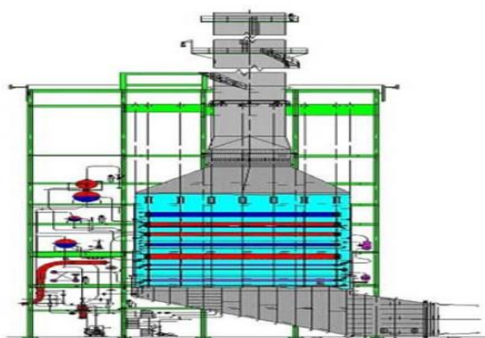
Gambar 1. Siklus Combine Cycle PLTGU

Prinsip kerja dari siklus ini dapat digambarkan sebagai berikut, Gas buang hasil pembakaran turbin gas dengan temperature yang masih tinggi yaitu 550 °C dialirkan masuk ke dalam HRSG di bagian inlet fluida panas untuk memanaskan air di dalam pipa-pipa pemanas, kemudian gas buang ini dibuang ke atmosfer melalui outlet fluida panas dengan temperature yang sudah rendah 130 °C. Fluida yang berada di drum berupa air sebagian berubah menjadi uap karena pemanasan tersebut, campuran air dan uap ini dipisahkan dari air menggunakan separator.

Uap yang sudah terkumpul kemudian dipergunakan untuk memutar sudu-sudu turbin uap, sedangkan air nya kembali menuju drum untuk disirkulasi lagi kedalam pipa-pipa pemanas bersama dengan air pengisi yang baru. Proses tersebut terjadi secara berulang-ulang selama HRSG beroperasi. Agar dapat memproduksi uap yang banyak dalam waktu yang relatif cepat, maka perpindahan panasnya dilakukan dengan aliran counter flow dengan sirkulasi paksa, dan sirkulasi airnya harus cepat.

### 2.2 Heat Recovery Steam Generator (HRSG)

HRSG atau Heat Recovery Steam Generator, merupakan peralatan utama dari Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap yang berfungsi untuk memanfaatkan gas buang dari turbin gas untuk memproduksi uap air yang bertekanan. Panas/kalor yang dipindahkan dari gas buang tersebut seluruhnya berpindah dengan cara konveksi ke air yang berada di dalam pipa. Gas buang turbin mengalir memanasi peralatan HRSG mulai dari superheater, ekonomizer dan selanjutnya keluar melalui cerobong [4]. *Heat recovery steam generator* adalah salah satu bagian utama dari suatu pembangkit yang menggunakan prinsip *combine cycle* dengan tujuan memanfaatkan panas dari aliran gas panas. HRSG memproduksi uap bertujuan untuk dapat menggerakkan turbin uap. Pada PLTGU Grati POMU ini terdapat 3 blok pengoperasian, pada blok 1 dan 3 terdapat tiga HRSG yang masing-masing dihubungkan dengan sebuah turbin gas dan ketiga HRSG tersebut menggerakkan sebuah turbin uap. Sedangkan pada blok 2 terdiri dari tiga gas turbin dengan pengoperasian *open cycle*.



Gambar 2. HRSG Sirkulasi paksa [5]

Ada beberapa jenis HRSG yang ada yaitu yang pertama HRSG jenis sirkulasi alami, HRSG sirkulasi paksa, HRSG tekanan tunggal, HRSG dua tekanan, HRSG dengan tekanan bertingkat, HRSG dengan burner bantu. HRSG yang dipergunakan pada penelitian ini adalah jenis HRSG sirkulasi paksa dengan design model vertikal. Bagian-bagian utama pada suatu HRSG terbagi menjadi beberapa tingkatan komponen antara lain pada bagian paling bawah dari HRSG yaitu superheater, dibagian atas nya adalah evaporator lalu ada economizer dan pada bagian paling atas merupakan preheater yang merupakan pemanasan awal dari feed water.

### 2.3 Perpindahan Panas

Energi kalor merupakan suatu energi yang berpindah akibat adanya perbedaan suhu. Energi panas bergerak dari ruang yang mempunyai suhu tinggi ke suhu yang rendah. Setiap benda atau massa memiliki energi dalam yang saling berhubungan dengan gerak acak dari atom-atom penyusun didalamnya. Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi itu kekal dan tidak dapat dirubah besarnya sepanjang waktu, memiliki nilai yang sama baik sebelum atau sesudah sesuatu terjadi [5]. Besaran energi akan selalu sama tetapi bentuknya dapat diubah. dalam hal ini perpindahan panas dapat melalui 3 cara, yaitu : Perpindahan panas secara konduksi, secara konveksi, dan secara radiasi.

### 3. Metode Penelitian

#### 3.1. Deskripsi Penelitian

Analisa dilakukan terhadap perpindahan panas pada sistem dari HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*) pada blok 1 unit 1 di PT. Indonesia Power Grati Pomu. Analisa dilakukan menggunakan parameter-parameter kinerja mesin pembangkit

#### 3.2. Variabel Penelitian

#### 3.3. Data Penelitian

##### 1. Data Primer

Data ini berasal dari hasil penelitian dan observasi lapangan di PT. Indonesia Power Grati POMU yang diperoleh langsung dari CCR (*Central Control Room*)

##### 2. Data sekunder

Data yang digunakan berasal dari hasil penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh pihak PT. Indonesia Power.

### 3.4. Prosedur Penelitian

1. Pengumpulan data
2. Menganalisa unjuk kerja *heat recovery steam generator*

### 4. Hasil dan Pembahasan

#### 4.1. Data

Tabel 1. Data observasi lapangan

Jenis Data	Beban	Temperatur				Tekanan P4	Massflow	
		T <sub>c,in</sub>	T <sub>c,out</sub>	T <sub>h,in</sub>	T <sub>h,out</sub>		m <sub>c</sub>	m <sub>h</sub>
	%	°C	°C	°C	°C	kPa	kg/s	kg/s
On-Design	75	50	507	561	101	105,2	52,1	322,5
Aktual	75	41,9	130,04	511,9	496,	104	31	322

Dimensi tabung penukar kalor:

$$D_i = 0,10 \text{ m}$$

$$D_o = 0,12 \text{ m}$$

$$L = 1,2 \text{ m}$$

$$S_T = 0,18 \text{ m}$$

#### 4.2. Unjuk Kerja On-design *Heat Recovery Steam Generator*

##### 1. Sifat-sifat fluida

Menentukan sifat-sifat fluida panas dan fluida dingin diperoleh dengan cara menginterpolasi menggunakan tabel properties, data yang digunakan yaitu rata-rata dari nilai pada setiap fluida sehingga didapatkan sifat-sifat fluida seperti ini.

- Fluida panas

$$k_g = 96,94 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\mu_g = 23,26 \times 10^{-6} \text{ kg/m.s}$$

$$Pr_g = 0,7$$

$$Cp_g = 9,69 \text{ kJ/kg.K}$$

- Fluida dingin

$$k_c = 577,4 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\mu_c = 96,5 \times 10^{-6} \text{ kg/m.s}$$

$$Pr_c = 0,8745$$

$$Cp_c = 5,26 \text{ kJ/kg.K}$$

##### 2. Laju kapasitas

- Fluida panas

$$C_h = \dot{m}_h \times Cp_h$$

$$= 322,5 \text{ kg/s} \times 9,69 \text{ kJ/kg.K}$$

$$= 3125,025 \text{ kJ/s.K}$$

- Fluida dingin

$$C_c = \dot{m}_c \times Cp_c$$

$$= 52,1 \text{ kg/s} \times 5,26 \text{ kJ/kg.K}$$

$$= 274,05 \text{ kJ/s.K}$$

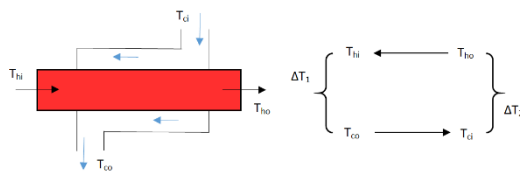
##### 3. Luas permukaan

$$A = (\pi \cdot D \cdot L)$$

$$A_i = 3,14 \text{ m} \times 0,10 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} = 0,3768 \text{ m}^2$$

$$A_o = 3,14 \text{ m} \times 0,12 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} = ,4521 \text{ m}^2$$

##### 4. Perbedaan temperature rata-rata (LMTD)



Gambar 3. Log Mean Temperature Different dengan arah aliran berlawanan (counter flow)

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{h.in} - T_{c.out}) - (T_{h.out} - T_{c.in})}{\ln \frac{(T_{h.in} - T_{c.out})}{(T_{h.out} - T_{c.in})}}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(561^\circ\text{C} - 101^\circ\text{C}) - (507^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C})}{\ln \frac{(561^\circ\text{C} - 101^\circ\text{C})}{(507^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C})}}$$

$$\Delta T_{LMTD} = 428,6^\circ\text{C}$$

5. Koefisien perpindahan panas menyeluruh (U)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o}}$$

Sebelum mendapatkan nilai U, diperlukan nilai-nilai sebagai berikut

- a. Koefisien perpindahan kalor bagian dalam pipa (hi)

$$\bar{h}_i = \frac{m_c \cdot c_{pc} (T_{h.out} - T_{c.in})}{A_i \Delta T_{LMTD}}$$

$$\bar{h}_i = \frac{52,1 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 5,26 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times (101^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C})}{0,3768 \text{ m}^2 \times 428,6^\circ\text{C}}$$

$$\bar{h}_i = 775,5 \text{ kJ/kg.K}$$

- b. Koefisien perpindahan kalor bagian luar pipa (ho)

$$h_o = \frac{Nud \cdot k}{D_o}$$

mencari koefisien perpindahan kalor pada bagian luar pipa dipergunakan persamaan seperti di atas dengan mencari parameter” seperti berikut.

- Bilangan Reynold

Untuk menghitung kecepatan maksimal gas, digunakan persamaan:

$$V_{max} = \frac{S_T}{(S_T - D_o)} v$$

$$V_{max} = \frac{0,18 \text{ m}}{(0,18 \text{ m} - 0,12 \text{ m})} 1 \text{ m/s}$$

$$V_{max} = 3 \text{ m/s}$$

Didapat bilangan Reynold sebagai berikut

$$Re = \frac{\rho_g \cdot V_{max} \cdot D_o}{\mu_h}$$

$$Re = \frac{(74,07 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 3 \text{ m/s} \times 0,12 \text{ m})}{23,26 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{s}}}$$

$$Re = 1,15 \times 10^6$$

- Bilangan nusselt

$$Nu_d = C Re^m Pr^m \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{1/4}$$

$$Nu_d = 0,076 \times (1,15 \times 10^6)^{0,7} \times (0,7^{0,37}) \left(\frac{0,7}{0,7}\right)^{1/4}$$

$$Nu_d = 953,9$$

Didapat nilai ho:

$$h_o = \frac{Nud \cdot k}{D_o}$$

$$h_o = \frac{953,9 \times 96,94 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2\text{K}}{0,12 \text{ m}}$$

$$h_o = 770,6 \text{ kJ/kg.K}$$

Sehingga didapat nilai ho sebagai berikut.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o}}$$

$$U = 167,92 \text{ kJ/kg.K}$$

6. Laju perpindahan panas

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{LMTD}$$

$$q = 167,92 \text{ kJ/kg.K} \times 0,4521 \text{ m}^2 \times 428,6^\circ\text{C}$$

$$q = 32.537,9 \text{ kW}$$

7. Efektifitas

$$\epsilon = \frac{q}{q_{max}}$$

Dimana

$$q_{max} = C_{min} (T_{hi} - T_{ci})$$

Dalam penentuan nilai q max, Jika  $C_c < C_h$  maka persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$q_{max} = C_c (T_{h-i} - T_{c-i})$$

$$q_{max} = 274,05 \text{ kJ/s.K} (834 \text{ K} - 323 \text{ K})$$

$$q_{max} = 140037,51 \text{ kW}$$

Jadi, nilai efektifitas yang dihasilkan adalah

$$\epsilon = \frac{q}{q_{max}}$$

$$\epsilon = \frac{32.537,9 \text{ kW}}{140037,506 \text{ kW}}$$

$$\epsilon = 0,2323 = 23,23\%$$

8. Pressure drop

$$\Delta_p = f \frac{L}{D} \frac{1}{2} \rho V^2$$

$$\Delta_p = 0,269 \frac{1,2 \text{ m}}{0,12 \text{ m}} \frac{1}{2} 755,86 \text{ kg/m}^3 \times 9 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta_p = 9149,7 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$$

### 4.3. Unjuk Kerja Aktual Heat Recovery Steam Generator

Untuk mengetahui unjuk kerja Aktual, dilakukan langkah-langkah perhitungan sama seperti on-design, tetapi menggunakan data actual yang ada pada tabel data dan didapat hasil sebagai berikut.

- Nilai rata-rata logaritmik ( $\Delta_{LMTD}$ ) = 416,8 °C
- Laju perpindahan panas (q) = 10.092,5 kW
- Efektifitas ( $\epsilon$ ) = 13,55 %
- Pressure drop ( $\Delta P$ ) = 9127,5 Pa

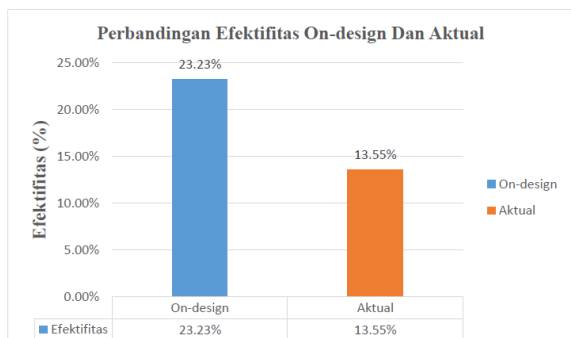
### 4.4. Analisa Unjuk Kerja On-design dan Aktual Heat recovery Steam Generator

Setelah didapat parameter-parameter yang diperlukan, selanjutnya kita bandingkan antara hasil dari on-design dengan kondisi aktual. Nilai-nilai tersebut dirangkum menjadi satu dalam sebuah tabel.

Tabel 2. Perbandingan unjuk kerja on-design dan aktual heat recovery steam generator

Parameter	On-design	Aktual	Selisih	Satuan
	Value			
Nilai rata-rata	428,6	416,8	11,8	°C

logaritmi k ( $\Delta_{LMTD}$ )				
Laju perpindahan panas (q)	32.537,9	10.092,5	22.445,4	kW
Efektifitas ( $\epsilon$ )	23,23	13,55	9,68	%
Pressure drop ( $\Delta P$ )	9149,7	9127,5	21,46	Pascal

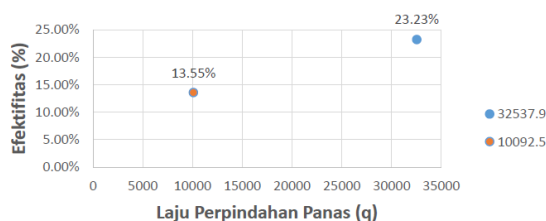


Gambar 4. Perbandingan efektifitas on-design dan aktual

Dari gambar 4 terjadi perbedaan nilai efektifitas yang sangat signifikan. Pada on-design efektifitas yang dihasilkan yaitu 23,23% dan kondisi aktual yaitu sebesar 13,55%. Penurunan nilai efektifitas tersebut sebesar 9,68%.

Faktor yang mempengaruhi penurunan dari sebuah efektifitas yang pertama adalah terdapat kotoran-kotoran yang terdapat pada sistem dari HRSG, kotoran-kotoran tersebut bisa berupa kerak-kerak pada dinding luasan perpindahan panas yang mengakibatkan tidak maksimalnya perpindahan panas yang terjadi. Berdasarkan persamaan 2.17, penurunan dari nilai efektifitas juga diakibatkan oleh nilai yang dihasilkan heat transfer yang terjadi dan  $q_{max}$  pada HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*).

Pengaruh Laju Perpindahan Panas On-design Dan Aktual Terhadap Efektifitas



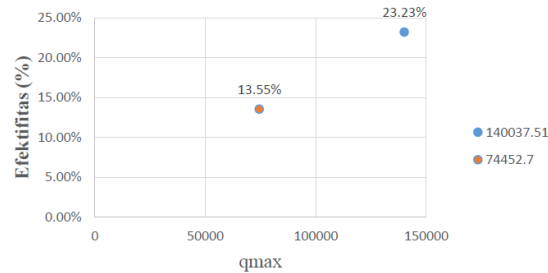
Gambar 5. Pengaruh heat transfer on-design dan aktual terhadap efektifitas

Dapat dijelaskan pada grafik perbandingan laju perpindahan kalor terhadap efektifitas, laju perpindahan kalor pada kondisi on-design dapat digambarkan pada point berwarna biru dengan nilai lebih besar yaitu 32.537,9 kW dan jika dibandingkan dengan kondisi aktual pada point berwarna merah yaitu 10.092,5 kW. Kecilnya hasil laju perpindahan

panas pada kondisi aktual yang mengakibatkan nilai efektifitas yang cukup rendah.

Hal tersebut disebabkan oleh parameter-parameter dari persamaan laju perpindahan panas seperti koefisien perpindahan kalor total dan nilai LMTD yang nilainya relatif kecil. Terutama pada koefisien perpindahan kalor total dimana bilangan pembagi pada persamaannya seperti koefisien perpindahan kalor dalam pipa dan koefisien perpindahan kalor luar pipa yang nilainya kurang.

Pengaruh  $Q_{max}$  On-design Dan Aktual Terhadap Efektifitas

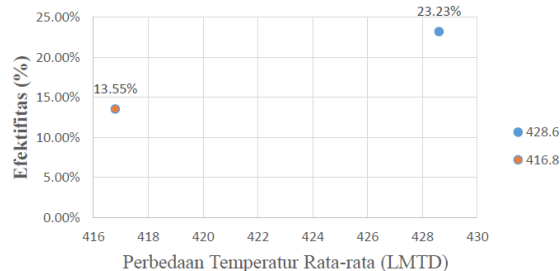


Gambar 6. pengaruh  $q_{max}$  on-design dan aktual terhadap efektifitas

Dapat dijelaskan pada grafik perbandingan  $q_{max}$  terhadap efektifitas diatas,  $q_{max}$  pada kondisi on-design dapat digambarkan pada point berwarna biru dengan nilai lebih besar yaitu 140.037,51 kW dan jika dibandingkan dengan kondisi aktual pada point berwarna merah nilainya lebih rendah yaitu sebesar 74.452,7 kW. Dengan demikian nilai efektifitas yang dihasilkan pada kondisi kecil juga disebabkan oleh nilai laju perpindahan panas yang juga relatif kecil meskipun  $q_{max}$  yang dihasilkan sudah lebih rendah dari kondisi on-design.

Dari gambar 5 menjelaskan semakin tinggi nilai heat transfer rate yang di hasilkan maka semakin tinggi juga nilai efektifitas yang dihasilkan. Dan dari gambar 6 menjelaskan semakin tinggi nilai  $q_{max}$  maka semakin rendah nilai efektifitas. Jika hal demikian terpenuhi maka terjadi peningkatan yang signifikan terhadap hasil dari efektifitas pada kondisi aktual.

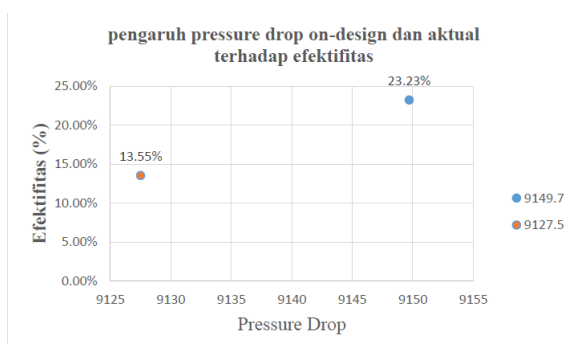
pengaruh LMTD on-design dan aktual terhadap efektifitas



Gambar 7. Pengaruh LMTD on-design dan aktual terhadap efektifitas

Pada gambar 7 menjelaskan LMTD sangat mempengaruhi performansi dari alat penukar panas.

Dimana nilai LMTD yang dihasilkan pada kondisi on-design dengan point yang berwarna biru sebesar 428,6 °C dan pada kondisi aktual dengan tanda point berwarna merah yaitu sebesar 416,8 °C, terdapat selisih sebesar 9,18 °C. Penyebab nilai dari LMTD relatif kecil yaitu pada fluida dingin dan fluida panas yang keluar dan masuk itu harus mendekati seperti pada data on-design, dan jika hal tersebut terpenuhi maka nilai LMTD yang dihasilkan juga dapat lebih besar. Dimana jika faktor-faktor pengali dari persamaan laju perpindahan panas nilai nya cukup tinggi mulai dari nilai LMTD itu sendiri dan koefisien perpindahan panas menyeluruh yang dihasilkan maka nilai laju perpindahan panas yang didapat juga semakin tinggi.



Gambar 8. Pengaruh pressure drop on-design dan aktual terhadap efektifitas

Dari gambar 8 terlihat adanya penurunan tekanan yang tidak terlalu signifikan terhadap efektifitas dari alat penukar panas. Pada kondisi on-design penurunan tekanan yang terjadi yaitu sebesar 9149,7 Pascal dan pada kondisi aktual terjadi penurunan tekanan sebesar 4127,5 Pascal, disini terdapat selisih sebesar 21,46 Pascal. Semakin tinggi *pressure drop* yang terjadi maka semakin berkurangnya nilai unjuk kerja dari alat penukar panas tersebut. *Pressure drop* yang dihasilkan pada kedua data menunjukkan terjadinya penurunan tekanan sebesar 10 %, hal tersebut masih dikategorikan aman.

## 5. Penutup

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah diselesaikan, analisa perpindahan panas pada alat HRSG adalah sebagai berikut:

1. Nilai LMTD yang dihasilkan oleh HRSG ini yaitu pada kondisi on-design sebesar 428,6 °C dan pada kondisi aktual sebesar 416,8 °C dengan selisih sebesar 11,8 °C
2. Laju Perpindahan panas yang dapat dihasilkan HRSG ini yaitu pada kondisi on-design sebesar 32.537,9 kW dan pada kondisi aktual sebesar 10.092,5 kW dengan selisihnya yaitu 22.445,4 kW.
3. Efektifitas yang didapat dari analisa ini yaitu pada kondisi on-design sebesar 23,23% dan pada kondisi aktual didapat sebesar 13,50% dengan selisih 9,68%.

4. *Pressure drop* yang terjadi pada kedua data yang dianalisa yaitu pada kondisi on-design sebesar 9149,7 Pascal dan pada kondisi aktual sebesar 9127,5 Pascal dengan selisih 21,46 Pascal.

### 5.2 Saran

Diperlukan saran agar penelitian kedepannya dapat berjalan dengan baik. Adapun beberapa saran yang dapat membantu antaralain yang pertama perlu dilakukan penelitian kedepannya apakah kondisi karakteristik material yang di gunakan pada HRSG itu sendiri berpengaruh terhadap unjuk kerjanya. Yang kedua penambahan *extended* sangat disarankan untuk menambah luas permukaan, hal ini mungkin berdampak cukup tinggi dengan nilai unjuk kerja yang dihasilkan.

### Daftar Pustaka

- [1] Anson Elian, 2017, *Perancangan Termal Heat Recovery Steam Generator Sistem Tekanan Dua Tingkat Dengan Variasi Beban Gas Turbin*, Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Vol. 6, No. 1, ISSN: 2337-3539.
- [2] N. R.S. Janah, 2018, *Analisa Unjuk Kerja Heat Recovery Steam Generator (HRSG) dengan Menggunakan Pendekatan Porous Media di PLTGU*, Vol. 7, No. 1, pp. 84-88
- [3] K Ryanta Tanato, 2017, *Analisa Unjuk Kerja Alat Penukar Panas Amine Regenerator Reboiler Di Pt Pertamina Ep - Asset 2 - Prabumulih Field*, Jurnal Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Vol. 3, No. 2, pp. 88-93
- [4] Hendri, 2018, *Analisis Pengaruh Penurunan Temperatur LMTD Terhadap Unjuk Kerja HRSG pada PLTGU*, Vol. 6, No. 2, pp. 74-85
- [5] D. G. A. Darma Saputra, 2020, *Redesain Penukar Panas Ringkas Pada Heat Recovery Steam Generator Di PLTGU PT. Indonesia Power*, Jurnal Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Vol. 9, No. 2, ISSN 2302-5182

	<p>Gede Fedy Wardiana menyelesaikan studi sarjana Teknik Mesin di Universitas Udayana pada tahun 2017 sampai 2021. Menyelesaikan program studi sarjana dengan judul penelitian Analisa Unjuk Kerja Heat Recovery Steam Generator Pada Blok 1 Unit 1 PT. Indonesia Power Grati Pomu.</p>
<p>Topik penelitian yang diminati adalah bidang konversi energi khususnya perpindahan panas dan pembangkitan energy listrik</p>	