



# **ANALISA EFISIENSI TOTAL HRSG DAN *LOW PRESSURE* (LP) HRSG UNIT 1 PADA PLTGU TANJUNG UNCANG**

## **Tugas Akhir**

**Oleh:  
Ricky Satria Nugraha (4231901035)**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi  
Jurusan Teknik Elektro  
Politeknik Negeri Batam  
2026**

## Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul: “Analisa Efisiensi Total HRSG Dan *Low Pressure* (LP) HRSG Unit 1 Pada PLTGU Tanjung Uncang” adalah **hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.** Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 12 Januari 2026



---

Ricky Satria Nugraha  
4231901035

# Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)  
di  
Politeknik Negeri Batam

Oleh:  
Ricky Satria Nugraha (4231901035)

Tanggal Sidang: 12 Januari 2026

Disetujui oleh :

Dosen Penguji I



Ir. Irwanto Zarma Putra, S.Pd. M.Eng  
NIK : 118200

Dosen Pembimbing



Ir. Jhon Hericson Purba, S.Pd.,M.Pd  
NIK : 119230

Dosen Penguji II



Yusiran, S.Si., M.T  
NIK : 123294

# ANALISA EFISIENSITOTALHRSG DAN *LOW PRESSURE* (LP) HRSG UNIT 1 PADA PLTGU TANJUNG UNCANG

## Abstrak

Pada PLTGU Tanjung Uncang terdapat 2 unit Turbin Gas dan 2 unit *Steam Turbine* yang memiliki kapasitas total sebesar 120 MW. Nilai kapasitas peralatan unit pembangkit terus berkurang seiring berjalannya waktu akibat pengoperasian dan pemeliharaan, sehingga menurunkan efisiensi unit pembangkit. Sistem HRSG merupakan salah satu faktor penyebab menurunnya efisiensi unit pembangkit. Banyak masalah yang dihadapi pada HRSG yang disebabkan oleh banyak faktor antara lain penurunan tekanan, perpindahan panas yang tidak efektif, korosi dan pipa-pipa HRSG terjadi penyumbatan (*plugging*) sehingga menyebabkan kecilnya nilai laju bahan bakar pada turbin gas. Efisiensi termal pada HRSG adalah melihat seberapa optimal kemampuan pemanfaatan panas untuk menghasilkan uap pada suhu dan tekanan yang diminta. Metode perhitungan yang dilakukan adalah menggunakan program aplikasi termodinamika dan menggunakan table steam dalam mencari parameter nilai entalpi. Hasil penelitian efisiensi LP HRSG terendah didapat pada tanggal 01 Juni 2021 sebelum *commissioning* dan efisiensi LP HRSG tertinggi didapat pada tanggal 01 Juni 2021 dan 22 Desember 2022 yaitu sebesar 9,11%, serta nilai efisiensi LP HRSG terendah setelah dilakukan *commissioning* adalah pada tanggal 23 Desember 2022 yaitu 6,46%. Sehingga terdapat penurunan signifikan sekitar 2,65%. Sedangkan saat penelitian pada bulan Agustus 2024 Terjadinya penurunan efisiensi setelah dilakukannya *commissioning*. hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya daya keluaran turbin, temperatur keluaran kondenser, dan laju uap tekanan tinggi yang nilainya jauh lebih kecil sehingga mengakibatkan turunnya efisiensi pada HR SG dan LP HRSG. Jika dibandingkan dengan penelitian terakhir pada tahun 2022, terdapat penurunan efisiensi HRSG sekitar 4,84%.

Kata kunci: PLTGU, HRSG, Efisiensi HRSG, Efisiensi *Low Pressure*

# **ANALYSIS OF TOTAL EFFICIENCY OF HRSG AND LOW PRESSURE (LP) HRSG UNIT 1 AT TANJUNG UNCANG PLTGU**

## **Abstract**

*At Tanjung Uncang PLTGU there are 2 Gas Turbine units and 2 Steam Turbine units with a total capacity of 120 MW. The capacity value of the generating unit equipment continues to decrease over time due to operation and maintenance, thus reducing the efficiency of the generating unit. The HRSG system is one of the factors causing the decline in the efficiency of the generating unit. Many problems faced in HRSG are caused by many factors including pressure drops, ineffective heat transfer, corrosion and HRSG pipes becoming clogged (plugging) resulting in a low fuel rate value in the gas turbine. To maintain the quality of the production results, it is necessary to analyze the efficiency of HRSG and Low pressure HRSG during commissioning and after commissioning or operational conditions. Thermal efficiency in HRSG is to see how optimal the ability of heat utilization to produce steam at the required temperature and pressure. The calculation method used is a thermodynamic application program and using a steam table to find the enthalpy value parameters. The research results of the lowest LP HRSG efficiency was obtained on June 1, 2021 before commissioning and the highest LP HRSG efficiency was obtained on June 1, 2021 and December 22, 2022, which was 9.11%. And the lowest LP HRSG efficiency value after commissioning was on December 23, 2022, which was 6.46%. So there is a significant decrease of around 2.65%. Meanwhile, during the research in August 2024, there was a decrease in efficiency after commissioning. This is influenced by several factors, including turbine output power, condenser outlet temperature, and high-pressure steam rate whose values are much smaller, resulting in a decrease in efficiency in the HRSG and LP HRSG. Compared to the latest research in 2022, there was a decrease in HRSG efficiency of around 4.84%.*

*Keywords: PLTGU, HRSG, HRSG Efficiency, Low Pressure Efficiency*

## Kata Pengantar

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang mana telah melimpahkan rahmat dan karuniannya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, dengan judul "Analisa Efisiensi Total HRSG Dan *Low Pressure* (LP) HRSG Unit 1 Pada PLTGU Tanjung Ugang". Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan untuk memperoleh Gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Politeknik Negeri Batam.

Penulis menyadari dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, dan banyak kekurangan baik dalam metode penulisan maupun dalam pembahasan materi. Hal tersebut dikarenakan keterbatasan kemampuan Penulis. Sehingga Penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun, mudah mudahan di kemudian hari dapat memperbaiki segala kekurangannya. Selama perkuliahan sampai dengan seterusnya tugas akhir ini, penulis telah banyak menerima bantuan moral maupun material yang tidak dapat di nilai harganya. Untuk itu melalui tulisan ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih yang setulusnya kepada:

1. Kedua orang tua yang sangat saya cintai, yang telah banyak memberikan perhatian, pendidikan, nasehat, dukungan moral dan material serta semangat dan do'a untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Irwanto Zarma putra, s.pd. M.Eng selaku ketua prodi Teknik Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi yang senantiasa memberikan semangat dan nasehat selama perkuliahan.
3. Bapak Ir. Jhon Hericson Purba, s.pd. M.Eng Selaku Dosen Pembimbing yang sangat membantu penulis dalam pembuatan tugas akhir melalui arahan dan bimbingan serta kepercayaan yang luar biasa.
4. Segenap dosen pengajar Jurusan Teknik Elektro yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis menempuh perkuliahan.
5. Rekan-rekan seangkatan dan seperjuangan Prodi Teknik Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi di Politeknik Negeri Batam yang telah banyak membantu dan memberikan dukungan bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Semua pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang sudah banyak membantu penulis sehingga terselesaikan tugas akhir ini.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk menyelesaikan tugas akhir ini serta tidak lupa mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini. Dan penulis menyadari sepenuhnya, bahwa dalam tulisan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan didalamnya. Oleh karena itu kritik dan saran yang konstruktif dari berbagai pihak sangat penulis harapkan untuk menyempurnakan tugas akhir ini.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua yang membacanya.

Batam, 12 Januari 2026

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping letters that appear to be 'R' and 'A'.

Ricky Satria Nugraha  
4231901035

# Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir .....	i
Lembar Pengesahan.....	ii
Lembar Pengesahan Industri.....	iii
Abstrak.....	iv
<i>Abstract</i> .....	v
Kata Pengantar .....	vi
Daftar Isi.....	viii
Daftar Gambar.....	x
Daftar Tabel.....	xi
Bab 1. Pendahuluan .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan .....	2
1.4. Manfaat.....	3
1.5. Batasan .....	3
Bab 2. Tinjauan Pustaka.....	4
2.1. Tekanan uap keluaran kondenser ( $P_1$ ).....	4
2.2. <i>Enthalpy</i> keluaran kondenser ( $h_1$ ).....	4
2.3. <i>Enthalpy</i> air umpan HRSG ( $h_2$ ).....	5
2.4. Panas yang dimanfaatkan ( $Q_{outHRSG}$ ).....	5
2.5. Panas yang masuk HRSG ( $Q_{inHRSG}$ ) .....	6
2.6. Efisiensi Total HRSG ( $\eta_{HRSG}$ ) .....	6
2.7. Panas yang dimanfaatkan ( $Q_{out LP HRSG}$ ) .....	7
2.8. Efisiensi LP HRSG ( $\eta_{LP HRSG}$ ).....	7
2.9. Rugi Rugi Generator.....	8
Bab 3. Metodologi Penelitian .....	11
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	11
3.2. Teknik Pengumpulan Data .....	14

Bab 4. Hasil dan Pembahasan .....	16
4.1. Data Spesifikasi <i>Gas Turbine Generator</i> (GTG) dan <i>Steam Turbine Generator</i> (STG) .....	16
4.2. Data <i>Commissioning</i> dan operasional PLTGU .....	17
4.3. Analisa Hasil Perhitungan Efisiensi HRSG dan <i>Low Pressure HRSG</i> .....	20
Bab 5. Kesimpulan dan Saran .....	29
5.1. Kesimpulan .....	29
5.2. Saran .....	29
Daftar Pustaka .....	30
Biodata .....	32
Lampiran .....	33

## Daftar Gambar

Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	11
Gambar 4.1. Data Hasil Penelitian Tekanan <i>High Pressure</i> $P_{HP}$ (Bar), laju uap tekanan tinggi ( $\dot{m}_{HP}$ ) (kg/s), temperatur keluaran dari kondenser $T_1$ ( $^{\circ}C$ ) .....	17
Gambar 4.2. Data Hasil Penelitian daya keluaran dari turbin gas GT (KW) dan nilai kalor bahan bakar LHV (kJ/kg).....	18
Gambar 4.3. Data Hasil Penelitian laju bahan bakar turbin gas ( $\dot{m}_G$ ) (kg/s), ( $\dot{m}_{LP}$ ) laju uap tekanan rendah (kg/s) dan Tekanan <i>Low Pressure</i> PLP (Bar).....	19
Gambar 4.4. Data Hasil Penelitian temperatur tekanan tinggi (THP) dan temperatur tekanan rendah (TLP) .....	19
Gambar 4.5. Grafik Nilai Tekanan uap keluaran kondenser ( $P_1$ ).....	20
Gambar 4.6. Grafik Nilai <i>enthalpy</i> keluaran kondenser ( $h_1$ ) .....	21
Gambar 4.7. Grafik Perhitungan <i>enthalpy</i> air umpan HRSG ( $h_2$ ).....	22
Gambar 4.8. Grafik Perhitungan <i>enthalpy Low Pressure</i> ( $h_{LP}$ ) .....	23
Gambar 4.9. Grafik Perhitungan <i>enthalpy High Pressure</i> ( $h_{HP}$ ) .....	24
Gambar 4.10. Grafik nilai Panas yang masuk HRSG ( $Q_{inHRSG}$ ) dan Panas yang dimanfaatkan ( $Q_{outHRS}$ ) .....	25
Gambar 4.11. Grafik nilai Panas yang masuk HRSG ( $Q_{inHRSG}$ ) dan Panas yang dimanfaatkan ( $Q_{outHRS}$ ).....	26
Gambar 4.12. Grafik Efisiensi Total HRSG dan Efisiensi LP HRSGsaat <i>commissioning</i> dan setelah dilakukan <i>commissioning</i> .....	27

## Daftar Tabel

Tabel 3.1. Spesifikasi <i>Gas Turbine Generator</i> (GTG-800) .....	14
Tabel 3.2. Spesifikasi <i>Steam Turbine Generator</i> (SST-400) .....	15
Tabel 3.3. Data Operasional Harian PLTGU .....	15
Tabel 4.1. Spesifikasi <i>Gas Turbine Generator</i> (GTG-800) .....	16
Tabel 4.2. Spesifikasi <i>Steam Turbine Generator</i> (SST-400) .....	16

# Bab 1. Pendahuluan

## 1.1. Latar Belakang

Pengelolaan ketenagaan listrik dilakukan oleh PT PLN Batam yang merupakan badan usaha milik Negara yang meliputi pembangkit, penyaluran, pendistribusian dan penjualan energi listrik kepada konsumen. Salah satu pembangkit listrik PT. Pelayanan Listrik Nasional (PLN) Batam adalah PLTGU Tanjung Ugang dengan sistem kombinasi (*combine cycle*) PLTG dan PLTU. Pembangkit listrik ini mempunyai kapasitas total sebesar 120 MegaWatt dan terdiri dari 2 unit Gas Turbine Generator, 2 unit Heat Recovery Steam Generator, dan 1 unit Steam Turbine Generator. Nilai kapasitas peralatan unit pembangkit terus menerus berkurang seiring berjalannya waktu akibat pengoperasian dan pemeliharaan, sehingga menurunkan efisiensi unit pembangkit. Sistem HRSG merupakan salah satu faktor penyebab menurunnya efisiensi unit pembangkit. Banyak masalah yang dihadapi pada HRSG yang disebabkan oleh banyak faktor antara lain penurunan tekanan, perpindahan panas yang tidak efektif, korosi dan pipa-pipa HRSG terjadi penyumbatan (*plugging*) sehingga menyebabkan kecilnya nilai laju bahan bakar pada turbin gas, isolasi dinding HRSG yang kurang baik serta banyaknya kebocoran pada sekat yang terdapat di bagian-bagian HRSG dan mengakibatkan terjadinya penurunan efisiensi HRSG. Untuk menjaga kualitas dari hasil produksi tersebut maka perlunya dilakukan analisa efisiensi HRSG dan Low pressure HRSG saat *commissioning* dan setelah dilakukannya *commissioning* atau kondisi *operational*, sehingga kinerja performansi HRSG harus dievaluasi untuk meningkatkan efisiensi total pada HRSG dan juga *Low Pressure (LP)* HRSG agar sesuai dengan kondisi operasi yang diharapkan.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan diantaranya, penelitian mengenai performansi HRSG oleh Elfita Yohana dan Ady Priambodo (2012). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa efisiensi *low pressure* HRSG pada saat proses *commissioning* untuk dibandingkan dengan efisiensi *low pressure* HRSG pada tanggal 5 Februari 2010 menggunakan metode siklus kombinasi (*Combine cycle*) yaitu penggabungan antara siklus turbin gas dan turbin uap yang dilakukan di PLTGU PT. Indonesia Power UBP Semarang. Analisa perhitungan dilakukan menggunakan data pada proses *commissioning* saat kondisi beban 101 MegaWatt dan data pada tanggal 5 Februari saat kondisi beban 93,40 MegaWatt. Hasil perhitungan analisa efisiensi *low pressure* HRSG pada saat proses *commissioning* adalah sebesar 7,82% dan sebesar 6,55% untuk tanggal 5 Februari 2010. Penurunan efisiensi yang terjadi adalah sebesar 1,27%. Penurunan efisiensi HRSG dipengaruhi oleh kondisi isolasi dinding HRSG, penyumbatan (*plugging*), korosi pada pipa-pipa, kondisi sekat sekat HRSG, Serta kondisi *diverter damper* [1],[3],[7],[8].

Penelitian lain yang dilakukan oleh Ahmad husen, Bambang Setiadi dan Fachri Alfarizi (2020). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Efisiensi *Thermal High*

*Pressure dan Low Pressure Superheater* pada HRSG yang dilakukan di PLTGU Tambak Lorok menggunakan metode yang sama seperti peneliti sebelumnya yaitu siklus gabungan (*Combine Cycle Power Plants*) yang terdiri dari siklus *Brayton* dan siklus *Rankine* dengan perantara *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa Efisiensi *thermal Low Pressure* dan High Pressure HRSG pada saat *Combine Cycle* untuk mengetahui nilai Efisiensi *thermal* pada setiap waktu dan data yang digunakan yaitu data pada tanggal 02 Desember 2018 dengan kondisi beban yang bervariasi waktu yang berbeda yaitu Jam 00.00, 03.00, 06.00 dan 08.00 dengan beban 75 MW, Jam 10.30 = 92 MW dan Jam 13.00 = 92 MW. Hasil perhitungan analisa efisiensi *Low Pressure* yaitu Jam 00.00 = 15,23 %, Jam 03.00 = 14,70 %, Jam 06.00 = 14,70 %, Jam 08.00 = 13,74 %, Jam 10.30 = 14,58 %, Jam 13.00 = 14,3 dan High Pressure sebesar Jam 00.00 = 60,95 %, Jam 03.00 = 61,36 %, Jam 06.00 = 61,36 %, Jam 08.00 = 61,22 %, Jam 10.30 = 61,03 %, Jam 13.00 = 61,03 %. Penurunan nilai efisiensi *thermal* yang terjadi pada setiap rentang waktu disebabkan oleh faktor-faktor kebocoran pada pipa pipa *economizer, evaporator, maupun superheater* [2].

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk menghitung efisiensi HRSG dan LP HRSG dapat digunakan dengan metode siklus gabungan (*Combine Cycle Power Plants*) yang terdiri dari siklus *Brayton* dan siklus *Rankine* dengan perantara *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG), maka dalam penelitian ini penulis mengangkat judul mengenai “**Analisa Efisiensi Total HRSG Dan Low Pressure (LP) HRSG Unit 1 Pada PLTGU 120 MW Tanjung Uncang**”.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, penulis merumuskan beberapa rumusan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana mendapatkan nilai efisiensi total HRSG dan efisiensi *Low Pressure* HRSG Unit 1 Pada PLTGU 120 MW Tanjung Uncang?
2. Bagaimana menghitung nilai efisiensi pada HRSG dan efisiensi *Low Pressure* HRSG sebelum dan sesudah commissioning?
3. Bagaimana hasil analisis dari perbandingan nilai total HRSG dan efisiensi *Low Pressure* sebelum dan setelah commissioning?

## 1.3. Tujuan

Adapun tujuan yang dilakukan pada penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung efisiensi total HRSG dan efisiensi *Low Pressure* HRSG Unit 1 Pada PLTGU 120 MW Tanjung Uncang dengan membandingkan laju aliran energi yang dibutuhkan air menjadi uap panas lanjut (*superheated*) baik pada *steam* bertekanan rendah maupun tinggi dengan laju aliran energi gas buang didalam HRSG.

2. Untuk menghitung nilai efisiensi pada HRSG dan efisiensi *Low Pressure* HRSG dengan menggunakan table steam dalam mencari parameter nilai entalpi.
3. Hasil analisis yang saya dapat dari perbandingan nilai efisiensi HRSG dan efisiensi *low pressure* HRSG.

#### **1.4. Manfaat**

1. Memberikan pemahaman yang lebih baik tentang kinerja HRSG dan efisiensi *Low Pressure* HRSG di Unit 1 PLTGU 120 MW Tanjung Uncang.
2. Memberikan informasi yang berguna untuk pengambilan keputusan terkait dengan perbaikan dan peningkatan efisiensi operasional PLTGU.
3. Mendorong pengembangan dan implementasi praktik terbaik dalam pengoperasian sistem HRSG untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja keseluruhan PLTGU.
4. Dapat dijadikan acuan untuk pemeliharaan pada saat efisiensi HRSG rendah atau terjadi penurunan.

#### **1.5. Batasan**

Agar mempermudah dalam pengolahan data dan analisa, maka dibuat beberapa batasan masalah diantaranya:

1. Penelitian ini hanya difokuskan pada HRSG Unit 1 PLTGU 120 MW Tanjung Uncang.
2. Penelitian ini hanya membahas mengenai efisiensi total HRSG, efisiensi LP HRSG Unit 1 PLTGU 120 MW Tanjung Uncang dan tidak membahas mengenai beban puncak.
3. Perhitungan ini menggunakan data *commissioning* dan data operasional harian setelah *commissioning* HRSG Unit 1 PLTGU 120 MW Tanjung Uncang, yaitu pada tanggal (01 Juni 2021) dan (20-23 dan 26 Desember 2022) pukul (10:00 WIB) hanya pada saat beban 45 MW serta pada selama sebulan pada (01 - 31 Agustus 2024) dengan 3 waktu yang berbeda yaitu pukul (01:00, 09:00, dan 17:00 WIB) dengan beban yang bervariasi.

## Bab 2. Tinjauan Pustaka

### 3.1. Tekanan uap keluaran kondenser ( $P_1$ )

Tekanan uap keluaran kondenser ( $P_1$ ) dapat dicari menggunakan persamaan interpolasi dan data  $P_1'$ ,  $P_2'$ ,  $T_1'$ ,  $T_2'$  berdasarkan tabel steam (tersaji di lampiran 1), dengan memperhatikan data temperatur keluaran kondenser ( $T_1$ ). Tekanan uap keluaran kondenser ditampilkan pada persamaan (2.1) [12]:

$$P_1 = \left[ \frac{(T - T_1')}{(T_2' - T_1')} \times (P_2' - P_1') \right] + P_1' \quad (2.1)$$

Keterangan:

$P_1$  = Tekanan uap keluaran kondenser (Bar)

$P_1'$  = Tekanan dibawah zat yang dicari (Bar)

$P_2'$  = Tekanan diatas zat yang dicari (Bar)

$T_1'$  = Temperatur dibawah zat yang dicari ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_2'$  = Temperatur diatas zat yang dicari ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_1$  = Temperatur keluaran dari kondenser yang masuk ke *Economizer* ( $^{\circ}\text{C}$ )

### 3.2. *Enthalpy* keluaran kondenser ( $h_1$ )

Entalpi merupakan jumlah energi internal yang terkandung dalam 1 Kg zat yang dinyatakan dalam (Kj/Kg) [9]. Untuk mencari besarnya *enthalpy* pada keluaran dari kondenser dapat menggunakan persamaan interpolasi berdasarkan tabel steam (tersaji di lampiran 1), dengan memperhatikan data temperatur keluaran kondenser ( $T_1$ ). Entalpi keluaran kondenser ditampilkan pada persamaan (2.2) [9], [12]:

$$h_1 = \left[ \frac{(T - T_1')}{(T_2' - T_1')} \times (h_2' - h_1') \right] + h_1' \quad (2.2)$$

Keterangan:

$h_1$  = Entalpi keluaran dari kondenser yang masuk ke LP *Economizer* (Kj/Kg)

$h_1'$  = Entalpi dibawah zat yang dicari (Kj/Kg)

$h_2'$  = Entalpi diatas zat yang dicari (Kj/Kg)

$T_1'$  = Temperatur dibawah zat yang dicari ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_2'$  = Temperatur diatas zat yang dicari ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_1$  = Temperatur Keluaran dari kondenser yang masuk ke *Economizer* ( $^{\circ}\text{C}$ )

### 3.3. Enthalpy air umpan HRSG ( $h_2$ )

Air umpan (*feedwater*) pada HRSG merupakan gas buang yang dihasilkan turbin gas masuk ke HRSG, kemudian diubah menjadi air umpan (*feedwater*) dan uap panas lanjut yang digunakan untuk memutar sudu-sudu turbin uap sehingga dapat memutar generator. Setelah melalui beberapa tingkatan sudu turbin uap tersebut dialirkan menuju kondenser, sehingga uap mengalami proses kondensasi di dalam kondenser, selanjutnya air hasil proses kondensasi tersebut dipompakan kembali ke HRSG [13]. Oleh karena itu, pada perhitungan kali ini untuk mencari entalpi spesifik air umpan membutuhkan data berupa jumlah kerja yang dihasilkan pompa ( $W_{pompa}$ ) pada saat proses pemompaan kembali air hasil proses kondensasi ke HRSG dan *density water* atau masa jenis air. Pada perhitungan untuk mencari Jumlah kerja yang dihasilkan pompa ditampilkan pada persamaan (2.3), nilai  $P_1$  dan  $P_2$  dari satuan (Bar) diubah dalam (kPa). *Spesifik density water* dapat diperoleh melalui tabel *density pure substances* (tersaji pada Lampiran 2) dengan memperhatikan data tekanan uap keluaran kondenser ( $P_1$ ) dan temperatur keluaran dari kondenser yang masuk ke *economizer*. Sehingga, *Density Water* [ $m^3/kg$ ] dapat dihitung menggunakan persamaan [2.4] [13]. Entalpi air umpan ditampilkan pada persamaan (2.5) [13]:

$$W_{pompa} = V_1 \times (P_2 - P_1) \quad (2.3)$$

$$V_1 = \frac{1}{\rho_1} \quad (2.4)$$

$$h_2 = W_{pompa} + h_1 \quad (2.5)$$

Keterangan:

$\rho_1$  = *Spesific Density Water* ( $kg/m^3$ )

$V_1$  = *Density Water* ( $m^3/Kg$ )

$P_1$  = Tekanan uap Keluaran kondenser (kPa)

$P_2$  = Tekanan *Low Pressure* (LP) (kPa)

$W_{pompa}$  = Jumlah kerja yang dihasilkan pompa (kJ/kg)

$h_2$  = *Enthalpy* air umpan HRSG (kJ/kg)

### 3.4. Panasyang dimanfaatkan ( $Q_{outHRSG}$ )

Untuk menghitung energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap panas lanjut atau energi yang dimanfaatkan HRSG ( $Q_{out HRSG}$ ) membutuhkan data berupa *enthalpy* pada *superheated high pressure* ( $h_{HP}$ ) dan *enthalpy* pada *Low Pressure* ( $h_{LP}$ ) dapat dicari menggunakan rumus interpolasi (tersaji pada persamaan 2.2), dengan memperhatikan temperature keluaran *superheated*

*high pressure* ( $T_{HP}$ ) dan temperatur keluaran *superheated low pressure* ( $T_{LP}$ ) dan tekanan keluaran dari *superheated low pressure* ( $P_{LP}$ ) dari data pengukuran saat *commissioning*. Energi yang dimanfaatkan HRSG ( $Q_{out\ HRSG}$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.6) [1], [2], [4], [6], [10]:

$$Q_{out\ HRSG} = ((\dot{m}_{HP} \times h_{HP}) + (\dot{m}_{LP} \times h_{LP})) - ((\dot{m}_{LP} \times h_2) + (\dot{m}_{HP} \times h_2)) \quad (2.6)$$

Keterangan:

$\dot{m}_{HP}$  = Laju uap tekanan tinggi HP (kg/s)

$h_{HP}$  = Entalpi tekanan tinggi HP (kJ/kg)

$\dot{m}_{LP}$  = Laju uap tekanan rendah LP (kg/s)

$h_{LP}$  = Entalpi laju uap tekanan Rendah LP (kJ/kg)

$hW_1$  = Enthalpy air umpan HRSG (kJ/kg)

$Q_{outHRSG}$  = Panas yang dimanfaatkan HRSG (MW)

### 3.5. Panas yang masuk HRSG ( $Q_{inHRSG}$ )

Energi panas gas buang yang diberikan kepada HRSG atau energi yang masuk ke HRSG ( $Q_{in\ HRSG}$ ) dapat dicari menggunakan persamaan (2.7) [1], [2], [5], [10]:

$$Q_{in\ HRSG}(MW) = (0,9835 \times \dot{m}fG \times LHV) - (KWG + 967,1 + LGN) \quad (2.7)$$

Keterangan:

$\dot{m}fG$  = Laju bahan bakar turbin gas (kg/s)

LHV = Nilai pemanasan bahan bakar rendah (kJ/kg)

KWG = Keluaran turbin gas (MW)

LGN = Rugi-rugi generator = 1,69% x KWG (MW)

$Q_{inHRSG}$  = Panas yang masuk HRSG (MW)

Untuk kerugian konsumsi panas disesuaikan dengan spesifikasi peralatan

0,9835 = Nilai rugi-rugi konsumsi panas [11]

967,13 = Nilai rugi-rugi turbin gas [11]

(Rugi rugi *mechanical bearing, lube*, dan pompa oli hidrolik) (kJ/s)

### 3.6. Efisiensi Total HRSG ( $\eta_{HRSG}$ )

Efisiensi total HRSG merupakan perbandingan antara laju energi yang dibutuhkan air menjadi uap panas lanjut ( $Q_{out\ HRSG}$ ) dengan laju aliran energi gas buang yang diberikan kepada HRSG ( $Q_{in\ HRSG}$ ). Efisiensi total HRSG dapat dihitung menggunakan persamaan (2.8) [1], [5], [6]:

$$\eta_{HRSG} (\%) = \frac{Q_{out\ HRSG}}{Q_{in\ HRSG}} \times 100\% \quad (2.8)$$

Keterangan:

$Q_{in\ HRSG}$  = Panas yang masuk HRSG energi panas gas buang yang diberikan kepada HRSG (MW)

$Q_{out\ HRSG}$  = Panas yang dimanfaatkan HRSG atau energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap panas lanjut (MW)

### 3.7. Pansyang dimanfaatkan ( $Q_{out\ LP\ HRSG}$ )

Panas yang dimanfaatkan LP HRSG juga bias dikatakan energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap panas lanjut pada LP HRSG, untuk mencari ( $Q_{out\ LP\ HRSG}$ ) tersebut, membutuhkan nilai *enthalpy* pada *Low Pressure* ( $h_{LP}$ ) dan dapat dicari menggunakan rumus interpolasi (tersaji pada persamaan 2.2), dengan memperhatikan nilai pada temperatur keluaran *superheated low pressure* ( $T_{LP}$ ) dan tekanan keluaran dari *superheated low pressure* ( $P_{LP}$ ) dari data pengukuran saat *commissioning*. Untuk menghitung panas yang dimanfaatkan LP HRSG ( $Q_{out\ LP\ HRSG}$ ) ditampilkan pada persamaan (2.9) [1], [10]:

$$Q_{out\ LP\ HRSG} = (\dot{m}_{LP} \times h_{LP}) - (\dot{m}_{LP} \times h_2) \quad (2.9)$$

Keterangan:

$\dot{m}_{LP}$  = Laju uap tekanan rendah LP (kg/s)

$h_{LP}$  = Laju uap tekanan Rendah HP (kJ/kg)

$h_{W1}$  = Entalpi air umpan HRSG (kJ/kg)

$Q_{out\ LP\ HRSG}$  = Panas yang dimanfaatkan LP HRSG (MW)

### 3.8. Efisiensi LP HRSG ( $\eta_{LP\ HRSG}$ )

Efisiensi *Low Pressure* (LP) HRSG merupakan perbandingan antara laju energi yang dibutuhkan air menjadi uap panas lanjut pada *Low Pressure* HRSG/panas yang dimanfaatkan LP HRSG ( $Q_{out\ LP\ HRSG}$ ) dengan laju aliran energi gas buang yang diberikan kepada HRSG/panas yang masuk ke HRSG ( $Q_{in\ HRSG}$ ). Efisiensi *Low Pressure* (LP) HRSG dapat dicari menggunakan persamaan (2.10) [1], [10]:

$$\eta_{LP\ HRSG} (\%) = \frac{Q_{out\ LP\ HRSG}}{Q_{in\ HRSG}} \times 100\% \quad (2.10)$$

Keterangan:

$\eta_{LP\ HRSG}$  = Efisiensi *Low Pressure* (LP) HRSG

$Q_{in\ HRSG}$  = Panas yang masuk HRSG (MW)

$Q_{out\ LP\ HRSG}$  = Panas yang dimanfaatkan LP HRSG (MW)

### 3.9. Rugi Rugi Generator

Untuk mengetahui rugi rugi generator maka kita memerlukan spesifikasi alat yang digunakan pada PLTGU Tanjung Uncang. PLTGU Tanjung Uncang menggunakan 2 Gas Turbin Generator, 2 HRSG dan 1 Steam Turbin Generator. Adapun jenis alat yang digunakan ialah Gas Turbin Generator (GTG -800) dan Steam Turbin Generator (SST-400). Spesifikasi alatnya dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2. Sebelum melakukan perhitungan rugi rugi generator kita memerlukan nilai dari hasil perhitungan sebagai berikut:

- Efisiensi *steam turbine* generator ( $\eta_{Turbin}$ )
- Efisiensi generator ( $\eta_{gen}$ )
- Daya output bersih ( $P_{net}$ )
- Daya output yang hilang ( $P_{loss}$ )

#### 1. Mencari Kerja aktual turbin ( $W_T$ )

Dari spesifikasi steam turbine pada Tabel 1.2 didapatkan berupa tekanan inlet dan outlet, suhu inlet dan daya kapasitas turbin. Sedangkan untuk laju uap air didapatkan data spesifikasi dari CCR. Nilai dari suhu dan tekanan digunakan untuk mencari entalpi dengan menggunakan aplikasi *steamtab*. Kerja aktual turbin ( $W_T$ ) dapat dicari menggunakan persamaan (2.11) sebagai berikut [11]:

$$W_T = m (h_{inlet} - h_{outlet}) \quad (2.11)$$

Keterangan:

- $m$  = laju aliran uap (kg/s)
- $h_{inlet}$  = entalpi inlet (kJ/kg)
- $h_{outlet}$  = entalpi outlet (kJ/kg)

#### 2. Efisiensi *Steam Turbine* ( $\eta_{Turbin}$ )

Setelah nilai dari  $W_t$  didapatkan, selanjutnya nilai dari efisiensi turbin dapat dicari, yaitu dengan memasukkan nilai  $W_t$  dan nilai kapasitas daya dari *steam turbine* seperti pada persamaan (2.12). Untuk kapasitas daya turbin dapat dilihat pada spesifikasi steam turbin. Nilai efisiensi *steam turbine* ( $\eta_{Turbin}$ ) disajikan pada persamaan (2.12) sebagai berikut [11]:

$$\eta_{Turbin} = \frac{W_T}{\text{Kapasitas turbin}} \times 100\% \quad (2.12)$$

Keterangan:

- $W_T$  = Kerja aktual turbin (kJ/s)
- Kapasitas turbin = Kapasitas turbin (MW)
- $\eta_{Turbin}$  = nilai efisiensi turbin (%)

### 3. Daya aktual ( $W_{Tactual}$ )

Untuk menghitung nilai daya aktual turbin ( $W_{Tactual}$ ) dapat menggunakan persamaan (2.13) sebagai berikut [11]:

$$W_{Tactual} = W_T \times \eta_{Turbin} \quad (2.13)$$

Keterangan:

$W_T$  = Kerja aktual turbin (kJ/s)

$\eta_{Turbin}$  = nilai efisiensi turbin (%)

$W_{Tactual}$  = daya aktual turbin (MW)

### 4. Nilai Efisiensi Generator ( $\eta_{gen}$ )

Efisiensi generator merupakan perbandingan antara nilai  $W_{Tactual}$  dibagi dengan nilai beban pada generator, ditampilkan pada persamaan (2.14) [11]:

$$\eta_{gen} = \frac{Beban}{W_{Tactual}} \times 100\% \quad (2.14)$$

Keterangan:

Beban = daya keluaran generator (MW)

$W_{Tactual}$  = daya aktual turbin (MW)

$\eta_{gen}$  = nilai efisiensi generator (%)

### 5. Nilai Daya Output Bersih ( $P_{net}$ )

Melalui data spesifikasi steam turbin pada Tabel 1.2, daya bruto dari keluaran turbin ( $P_{gross}$ ). Sehingga, nilai daya output bersih ( $P_{net}$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.15) sebagai berikut [11]:

$$P_{net} = P_{gross} \times \eta_{gen} \quad (2.15)$$

Keterangan:

$\eta_{gen}$  = Nilai efisiensi generator (%)

$P_{net}$  = Daya *output* bersih (MW)

$P_{gross}$  = Daya bruto keluaran turbin (MW)

### 6. Nilai daya yang hilang ( $P_{loss}$ )

Nilai daya yang hilang ( $P_{loss}$ ) merupakan selisih antara daya bruto dari keluaran turbin dengan daya keluaran bersih. Daya yang hilang dapat dicari menggunakan persamaan (2.16) sebagai berikut [11]:

$$P_{loss} = P_{gross} - P_{net} \quad (2.16)$$

Keterangan:

$P_{loss}$  = Daya yang hilang (MW)

$P_{gross}$  = Daya bruto dari keluaran turbin (MW)

$P_{net}$  = Daya keluaran bersih turbin (MW)

### 7. Rugi rugi generator (%)

Rugi rugi generator merupakan perbandingan antara daya yang hilang dengan daya bruto dari keluaran turbin, Rugi rugi generator dapat dihitung menggunakan persamaan (2.17) sebagai berikut [11]:

$$Rugi\ rugi\ generator\ (\%) = \frac{P_{loss}}{P_{gross}} \times 100\% \quad (2.17)$$

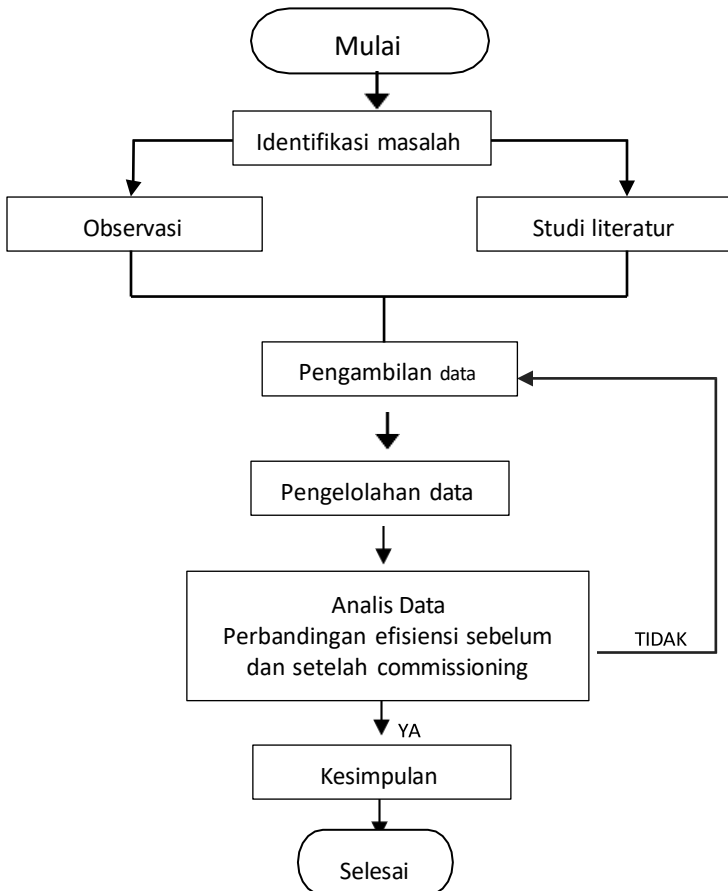
Keterangan:

$P_{loss}$  = Daya yang hilang (MW)

$P_{gross}$  = Daya bruto dari keluaran turbin (MW)

## Bab 3. Metodologi Penelitian

### 3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian pada Gambar 3.1 bertujuan untuk menunjukkan langkah langkah menjawab pertanyaan penelitian, yaitu:

#### A. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan untuk menjawab pertanyaan penelitian adalah:

- I. Data spesifikasi *Gas Turbine Generator* (GTG-800) yang meliputi *Gross power output, Fuel, Frequency, Gross efficiency, Gross heat rate, Turbine speed, Pressure ratio, Exhaust mass flow, NO<sub>x</sub> emission, Number of gas turbine.*
- II. Data spesifikasi *Steam Turbine Generator* (SST-400) yang meliputi *Power output, Speed, Inlet pressure, Inlet temperature, Exhaust steam parameters: Back pressure, Condensing, Steam extraction.*
- III. Data commissioning dan data operasional harian setelah commissioning yang meliputi temperatur kondenser yang masuk *economizer* ( $T_1$ ), temperatur tekanan tinggi ( $T_{HP}$ ) dan rendah ( $T_{LP}$ ), laju uap tekanan tinggi ( $\dot{m}_{HP}$ ), laju uap tekanan rendah ( $\dot{m}_{LP}$ ), laju bahan bakar turbin gas ( $\dot{m}_{fG}$ ), nilai kalor bahan bakar (LHV), daya keluaran dari turbin gas (KWG).

B. Perhitungan tekanan keluaran kondenser ( $P_1$ ), *enthalpy* keluaran kondenser ( $h_1$ ) dan *enthalpy* spesifik air umpan HRSG ( $h_2$ ).

Berikut merupakan langkah langkah untuk memperoleh nilai tekanan keluaran kondenser, *enthalpy* keluaran kondenser dan *enthalpy* spesifik air umpan HRSG yaitu:

- I. Menentukan nilai tekanan uap keluaran kondensor ( $P_1$ ) dicari menggunakan persamaan interpolasi dan berdasarkan tabel steam (tersaji di lampiran 1), dengan memperhatikan data temperatur keluaran kondenser ( $T_1$ ). Tekanan uap keluaran kondenser dapat dihasilkan dengan menghitung (2.1)
- II. Menentukan nilai *enthalpy* keluaran kondenser ( $h_1$ ) dapat menggunakan persamaan interpolasi berdasarkan tabel steam (tersaji di lampiran 1), dengan memperhatikan data temperatur keluaran kondenser ( $T_1$ ). Entalpi keluaran kondenser dapat diperoleh dengan menghitung persamaan (2.2).
- III. Menentukan jumlah kerja yang dihasilkan pompa ( $W_{pompa}$ ) pada saat proses pemompaan kembali air hasil proses kondensasi ke HRSG dan *density water* atau masa jenis air. Untuk mencari Jumlah kerja yang dihasilkan pompa dapat diperoleh dengan menghitung persamaan (2.3).
- IV. *Spesifik density water* dapat diperoleh melalui tabel *density pure substances* (tersaji pada Lampiran 2) dengan memperhatikan data tekanan uap keluaran kondenser ( $P_1$ ) dan temperatur keluaran dari kondenser yang masuk ke *economizer*. Sehingga, *Density Water* [ $m^3/kg$ ] dapat dihitung menggunakan persamaan (2.4).

- V. Menentukan nilai entalpi air umpan ( $h_2$ ) dapat diperoleh dengan menghitung persamaan (2.5).

C. Perhitungan panas yang dimanfaatkan ( $Q_{outHRSG}$ ), panas yang masuk HRSG ( $Q_{inHRSG}$ ) dan efisiensi total HRSG.

Berikut merupakan langkah langkah untuk memperoleh nilai panas yang dimanfaatkan, panas yang masuk HRSG dan efisiensi total HRSG yaitu:

- I. Untuk menghitung energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap panas lanjut atau energi yang dimanfaatkan HRSG ( $Q_{out HRSG}$ ) membutuhkan data berupa *enthalpy* pada *superheated high pressure* ( $h_{HP}$ ) dan *enthalpy* pada *Low Pressure* ( $h_{LP}$ ).
- II. Menentukan nilai *Superheated high pressure* ( $h_{HP}$ ) dan *enthalpy* pada *Low Pressure* ( $h_{LP}$ ) dapat dicari menggunakan rumus interpolasi (tersaji pada persamaan 2.2), dengan memperhatikan temperature keluaran *superheated high pressure* ( $T_{HP}$ ), temperatur keluaran *superheated low pressure* ( $T_{LP}$ ), tekanan keluaran dari *superheated low pressure* ( $P_{LP}$ ) dan tekanan keluaran dari *superheated high pressure* ( $P_{HP}$ ) dari data pengukuran.
- III. Menentukan nilai energi yang dimanfaatkan HRSG ( $Q_{out HRSG}$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.6).
- IV. Menentukan nilai eergi panas gas buang yang diberikan kepada HRSG atau energi yang masuk ke HRSG ( $Q_{in HRSG}$ ) dapat dicari dengan menghitung persamaan (2.7).
- V. Menentukan nilai efisiensi total HRSG dengan menghitung persamaan (2.8).

D. Perhitungan panas yang dimanfaatkan LP ( $Q_{outLPHRSG}$ ), efisiensi *low pressure* (LP HRSG) dan rugi – rugi generator.

Berikut merupakan langkah langkah untuk memperoleh nilai panas yang dimanfaatkan LP HRSG, efisiensi *lowpressure* HRSG dan rugi– rugi generator yaitu:

- I. Menentukan nilai panas yang dimanfaatkan LP HRSG ( $Q_{out LP HRSG}$ ) dengan menghitung persamaan (2.9).
- II. Nilai efisiensi *low pressure* (LP) HRSG dapat dicari dengan menghitung persamaan (2.10)
- III. Menentukan nilai kerja aktual turbin ( $W_T$ ) dengan menghitung persamaan (2.11).
- IV. Menentukan nilai dari efisiensi *steam turbine* ( $\eta_{Turbine}$ ) yaitu dengan menghitung persamaan (2.12).
- V. Menentukan nilai daya aktual turbin ( $W_{Tactual}$ ) dengan menghitung persamaan (2.13).
- VI. Menentukan nilai efisiensi generator ( $\eta_{gen}$ ) dengan menghitung persamaan (2.14).

- VII. Menentukan nilai daya output bersih ( $P_{net}$ ) dengan menghitung persamaan (2.15).
- VIII. Menentukan nilai daya yang hilang ( $P_{loss}$ ) merupakan selisih antara daya bruto dari keluaran turbin dengan daya keluaran bersih dengan menghitung persamaan (2.16).
- IX. Menentukan nilai rugi generator dengan menghitung persamaan (2.17).

E. Analisa hasil perhitungan efisiensi HRSG dan LP HRSG

Dengan menggunakan metode grafik *line chart* hasil perhitungan efisiensi HRSG dan efisiensi *low pressure* HRSG dapat dianalisis. Metode grafik *line chart* digunakan karena untuk memvisualisasikan data yang memiliki waktu yang berbeda-beda pada setiap pengambilan data operasional PLTGU dengan memanfaatkannya untuk melihat trend data, fluktuasi dan perbandingan dalam data *time series* dengan lebih jelas perubahan dari waktu ke waktu. Sehingga dapat mengetahui perubahan pada efisiensi HRSG dan LP HRSG secara signifikan dan kesimpulan yang lebih baik dapat diambil.

### 3.2. Teknik Pengumpulan Data

Adapun teknik yang digunakan untuk memperoleh data yaitu sebagai berikut:

A. Berdasarkan Jenis Data

Pengumpulan data dibagi menjadi dua kategori, yaitu data sekunder dan primer. Data yang diperoleh secara tidak langsung dari data sebelumnya dikenal sebagai data sekunder. Data spesifikasi *Gas Turbine Generator* dan *Steam Turbine Generator* terdiri dari 6 sampai 7 macam data yang di ambil dari manual book GTG dan STG seperti pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 sebagai berikut:

**Tabel 3.1. Spesifikasi Gas Turbine Generator (GTG-800)**

No.	Spesifikasi GTG	Satuan
1	<i>Gross power output</i>	MW
2	<i>Frequency</i>	Hz
3	<i>Gross efficiency</i>	57,8 %
4	<i>Gross heat rate</i>	kJ/kWh
5	<i>Turbine speed</i>	rpm
6	<i>Exhaust mass flow</i>	kg/s
7	<i>Exhaust temperature</i>	°C

**Tabel 3.2. Spesifikasi Steam Turbine Generator (SST-400)**

No.	Spesifikasi STG	Satuan
1	<i>Power output</i>	MW
2	<i>Speed</i>	rpm
3	<i>Inlet pressure</i>	140 bar
4	<i>Inlet temperature</i>	540 °C
5	<i>Exhaust steam parameters: Back pressure, Condensing</i>	bar
6	<i>Steam extraction</i>	bar

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari hasil penelitian di lapangan yaitu data commissioning dan data operasional harian setelah commissioning pada PLTGU Tanjung Uncang yang diambil diperoleh dari *operator CCR control room*. Data tersebut terbagi menjadi 10 macam dengan waktu yang berbeda seperti pada Tabel 3.3 sebagai berikut:

**Tabel 3.3. Data Operasional Harian PLTGU**

No.	Data Operasional	Satuan
1	Daya keluaran dari turbin gas (KWG)	KW
2	Laju bahan bakar turbin gas (mfG)	kg/s
3	Nilai kalor bahan bakar (LHV)	kJ/kg
4	Tekanan <i>High Pressure</i> (PHP)	Bar
5	laju uap tekanan tinggi (mHP)	kg/s
6	Temperatur <i>High Pressure</i> (THP)	°C
7	Tekanan <i>Low Pressure</i> (PLP)	Bar
8	laju uap tekanan rendah (mLP)	kg/s
9	Temperatur <i>Low Pressure</i> (TLP)	°C
10	Temperatur Keluaran dari kondenser (T1)	°C

#### B. Berdasarkan Waktu

Pengambilan data commissioning dan data operasional setelah commissioning dilakukan setiap hari dengan waktu yang berbeda, data commissioning diambil pada 01 Juni 2021 (10:00 WIB), data operasional harian setelah commissioning diambil pada bulan dan tahun yang berbeda yaitu pada tanggal (20-23 dan 26 Desember 2022) (10:00 WIB) serta pada tanggal (01-31 Agustus 2024) dengan 3 waktu yang berbeda yaitu pukul (01:00, 09:00, dan 17:00 WIB). Sehingga total keseluruhan data ialah 990 data.

## Bab 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Data Spesifikasi *Gas Turbine Generator (GTG)* dan *Steam Turbine Generator (STG)*

Data spesifikasi *Gas Turbine Generator (GTG-800)* dan *Steam Turbine Generator (SST-400)* dibutuhkan untuk melakukan perhitungan pada rugi rugi generator yang digunakan untuk menghitung efisiensi HRSG dan LP HRSG. Hasil pengumpulan data spesifikasi GTG dan STG dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 di bawah ini:

**Tabel 4.1. Spesifikasi *Gas Turbine Generator (GTG-800)***

<i>Gross power output</i>	134.5 MW
<i>Fuel</i>	<i>Natural gas, liquid fuel, dual fuel</i>
<i>Frequency</i>	50/60 Hz
<i>Gross efficiency</i>	57,8 %
<i>Gross heat rate</i>	6,228 kJ/kWh (5,903 Btu/kWh)
<i>Turbine speed</i>	6,600 rpm
<i>Pressure ratio</i>	18.3 : 1
<i>Exhaust mass flow</i>	115.1 kg/s (253.7 lb/s)
<i>Exhaust temperature</i>	574 °C (1,065 °F)
<i>NO<sub>x</sub> emissions</i>	≤ 15* ppmvd
<i>Number of gas turbines</i>	2

**Tabel 4.2. Spesifikasi *Steam Turbine Generator (SST-400)***

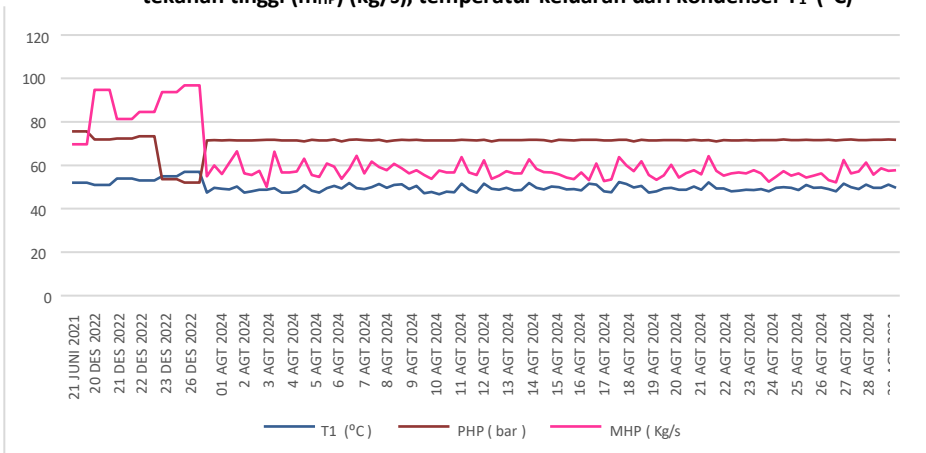
<i>Power output</i>	60 MW
<i>Speed</i>	8,000 rpm
<i>Inlet pressure</i>	140 bar / up to 2,030 psi
<i>Inlet temperature</i>	540 °C / up to 1,004 ° F
<i>Exhaust steam parameters:</i>	
<i>Backpressure</i>	25 bar / 363 psi
<i>Condensing</i>	0.3 bar / 4.4 psi
<i>Steam extraction:</i>	
<i>Controlled (up to 4)</i>	45 bar / 510 psi
<i>Uncontrolled</i>	60 bar / 870 psi

## 4.2. Data *Commissioning* dan operasional PLTGU

Berikut merupakan data aktual yang diperoleh dari *Distributed Control System* (DCS) PLTGU PT. Pelayanan Energi Batam (PEB) yang digunakan pada penelitian kali ini. Data yang diambil terdiri dari laju uap tekanan tinggi ( $\dot{m}_{HP}$ ) (kg/s), ( $\dot{m}_{LP}$ ) laju uap tekanan rendah (kg/s), ( $\dot{m}_G$ ) laju bahan bakar turbin gas (kg/s), (LHV) nilai kalor bahan bakar (kJ/kg), KWG daya keluaran dari turbin gas (kW), temperatur tekanan tinggi ( $T_{HP}$ ), temperatur keluaran dari kondenser yang masuk ke *economizer* ( $T_1$ ). Hasil pengumpulan data *commissioning* dan operasional pada 01 Juni 2021, (20-23 dan 26 Desember 2022) serta selama bulan Agustus (01-31 Agustus 2024) ditampilkan pada grafik Tekanan *High Pressure*  $P_{HP}$  (Bar), laju uap tekanan tinggi ( $\dot{m}_{HP}$ ) (kg/s), temperatur keluaran dari kondenser  $T_1$  (°C) Gambar 4.1, daya keluaran dari turbin gas GT (KW), nilai kalor bahan bakar LHV (kJ/kg) Gambar 4.2 dan laju bahan bakar turbin gas ( $\dot{m}_G$ ) (kg/s), ( $\dot{m}_{LP}$ ) laju uap tekanan rendah (kg/s), Tekanan *Low Pressure*  $P_{LP}$  (Bar) Gambar 4.3.

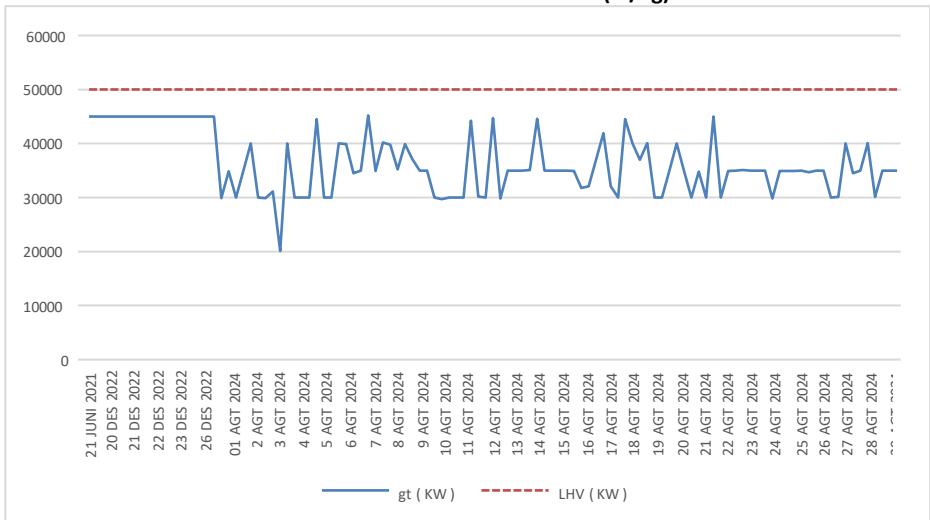
Pada grafik Gambar 4.1 terdiri dari: a. data tekanan *high pressure* memperoleh nilai pada rentang 52.07 Bar–75.64 Bar data tekanan tersebut digunakan untuk menghitung entalpy tekanan tinggi HP; b. laju uap tekanan tinggi ( $\dot{m}_{HP}$ ) dengan rentang 52.4 kg/s – 96.83 kg/s; c. temperatur keluaran dari kondenser  $T_1$  dengan rentang 47.1°C - 57°C.

**Gambar 4.1. Data Hasil Penelitian Tekanan *High Pressure*  $P_{HP}$  (Bar), laju uap tekanan tinggi ( $\dot{m}_{HP}$ ) (kg/s), temperatur keluaran dari kondenser  $T_1$  (°C)**



Pada grafik Gambar 4.2 terdiri dari: a. data daya keluaran dari turbin gas GT memperoleh nilai pada rentang 20100 kW – 45000 kW, daya keluaran turbin gas tersebut digunakan untuk menghitung panas yang masuk HRSG; b. nilai kalor bahan bakar LHV dengan nilai yang konstan yaitu sebesar 50005.79 kW, data nilai kalor bahan bakar LHV tersebut digunakan untuk menghitung panas yang masuk HRSG.

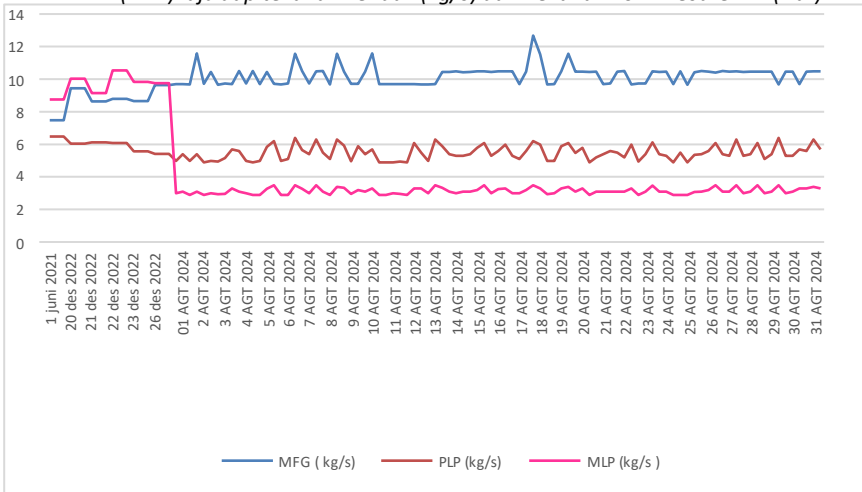
**Gambar 4.2. Data Hasil Penelitian daya keluaran dari turbin gas GT (KW) dan nilai kalor bahan bakar LHV (kJ/kg)**



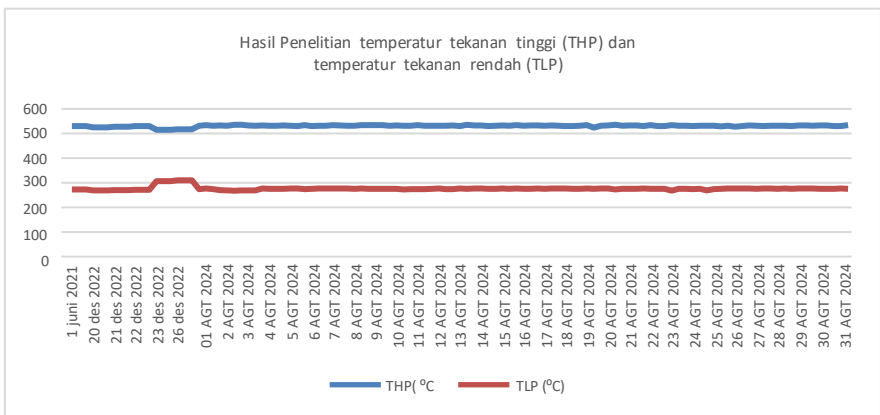
Pada grafik Gambar 4.3 terdiri dari: a. laju bahan bakar turbin gas (  $\dot{m}_{fG}$ ) memperoleh nilai pada rentang 7.49 kg/s – 17.4 kg/s, data laju bahan bakar turbin gas tersebut digunakan untuk menghitung panas yang masuk HRSG; b. laju uap tekanan rendah ( $\dot{m}_{LP}$ ) dengan rentang 2.9 kg/s – 10.55 kg/s, data laju uap tekanan rendah tersebut digunakan untuk menghitung panas yang dimanfaatkan HRSG; c. Tekanan *Low Pressure*  $P_{LP}$  dengan rentang 4.9 Bar – 6.49 Bar, data Tekanan *Low Pressure* tersebut digunakan untuk menghitung entalpy *low pressure*.

Data temperature yang ditampilkan pada grafik Gambar 4.4 terdiri dari: a. temperatur tekanan tinggi ( $T_{HP}$ ) memperoleh nilai pada rentang 515°C – 535.60°C, data temperatur tekanan tinggi tersebut digunakan untuk menghitung entalpy *high pressure*; b. temperatur tekanan rendah ( $T_{LP}$ ) dengan rentang 267.8°C – 306°C, data temperatur tekanan rendah tersebut digunakan untuk menghitung entalpy *low pressure*.

Penelitian laju bahan bakar turbin gas ( $\dot{m}_{FG}$ ) (kg/s),  
 ( $\dot{m}_{LP}$ ) laju uap tekanan rendah (kg/s) dan Tekanan Low Pressure PLP (Bar)



**Gambar 4.4. Data Hasil Penelitian temperatur tekanan tinggi ( $T_{HP}$ ) dan temperatur tekanan rendah ( $T_{LP}$ )**



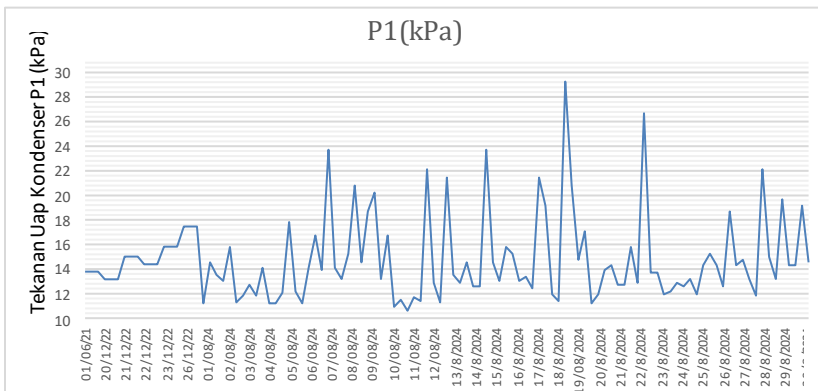
**Gambar 4.3. Data Hasil Penelitian laju bahan bakar turbin gas ( $\dot{m}_{FG}$ ) (kg/s), ( $\dot{m}_{LP}$ ) laju uap tekanan rendah (kg/s) dan Tekanan Low Pressure  $P_{LP}$  (Bar)**

### 4.3. Analisa Hasil Perhitungan Efisiensi HRSG dan *Low Pressure* HRSG

Analisa hasil perhitungan efisiensi HRSG dan LP HRSG dilakukan dengan menghitung  $P_1$  (tekanan uap keluaran dari kondenser yang masuk (Bar),  $h_1$  (Entalpi keluaran dari kondenser yang masuk ke LP *Economizer* (kJ/kg),  $V_1$  (*Density Water*(m<sup>3</sup>/Kg),  $W_1$  atau  $W_{pompa}$  (Jumlah kerja yang dihasilkan pompa (kJ/kg),  $h_2$  (enthalpy air umpan HRSG (kJ/kg),  $h_{LP}$  (Entalpi laju uap tekanan rendah LP (kJ/kg),  $h_{HP}$  (Entalpi laju uap tekanan tinggi HP (kJ/kg), LGN (Rugi-rugi generator) pada saat *commissioning* tanggal 01 Juni 2021 dan setelah dilakukan *commissioning* (20-23 dan 26 Desember 2022) serta selama bulan Agustus (01-31 Agustus 2024).

#### A. Perhitungan Tekanan uap keluaran kondenser ( $P_1$ )

Tekanan uap keluaran kondenser ( $P_1$ ) dihitung menggunakan persamaan (2.1). Hasil perhitungan tekanan uap keluaran kondenser yang ditampilkan pada Gambar 4.5, dapat dilihat bahwa nilai tekanan uap tertinggi berada pada tanggal 19 Agustus 2024 dengan tekanan uap sebesar 29.26 kPa dan tekanan uap terendah berada pada tanggal 11 Agustus 2024 dengan tekanan uap sebesar 10.60 kPa. Hasil perhitungan tekanan uap keluaran kondenser tersebut digunakan untuk mencari nilai jumlah kerja yang dihasilkan pompa ( $W_{pompa}$ ).

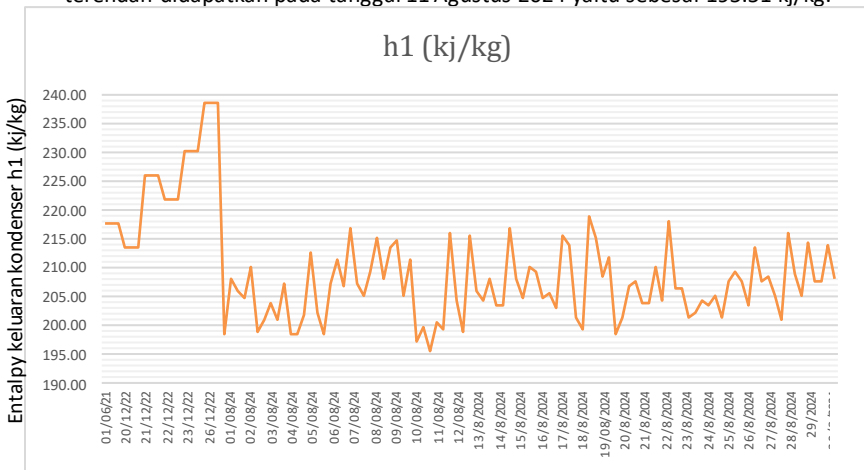


Gambar 4.5. Grafik Nilai Tekanan uap keluaran kondenser ( $P_1$ )

## B. Perhitungan *enthalpy* keluaran kondenser ( $h_1$ )

Nilai *enthalpy* keluaran kondenser ( $h_1$ ) dihitung dengan menggunakan persamaan interpolasi pada persamaan (2.2) dengan memperhatikan temperatur keluaran kondenser, sehingga nilai entalpi dapat berubah sesuai dengan nilai temperature keluaran kondenser baik saat *commissioning* dan maupun setelah *commissioning*.

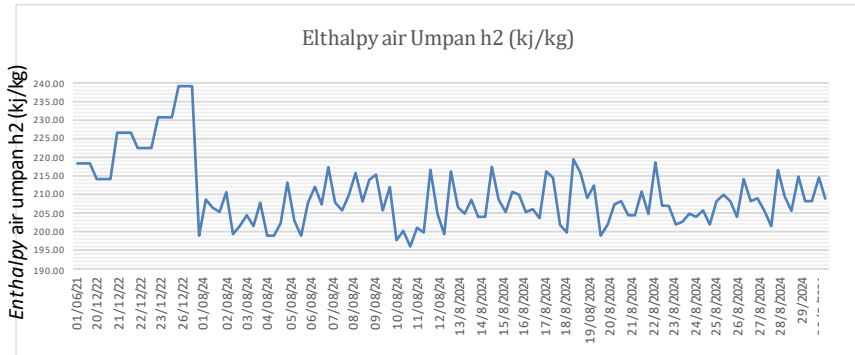
Hasil perhitungan nilai *enthalpy* keluaran kondenser ( $h_1$ ) tersaji pada Gambar 4.6, terdiri dari: Tanggal 01 juni dengan nilai entalpi ( $h_1$ ) sebesar 217.68 kJ/kg; Tanggal 20 Desember yaitu sebesar 213.50 kJ/kg, 21 Desember yaitu 226.03 kJ/kg; 22 Desember 221.86 kJ/kg; 23 Desember 230.22 kJ/kg kemudian Tanggal 26 Desember dengan nilai entalpi keluaran kondenser sebesar 238.60 kJ/kg. Hasil perhitungan entalpi ( $h_1$ ) tersebut digunakan untuk menghitung nilai entalpi air umpan HRSG ( $h_2$ ). Dari Gambar 4.6 juga dapat dilihat bahwa nilai entalpi keluaran kondenser paling tinggi didapatkan pada tanggal 26 Desember 2022 dan entalpi terendah didapatkan pada tanggal 11 Agustus 2024 yaitu sebesar 195.51 kJ/kg.



Gambar 4.6. Grafik Nilai *enthalpy* keluaran kondenser ( $h_1$ )

## C. Perhitungan *enthalpy* air umpan HRSG ( $h_2$ )

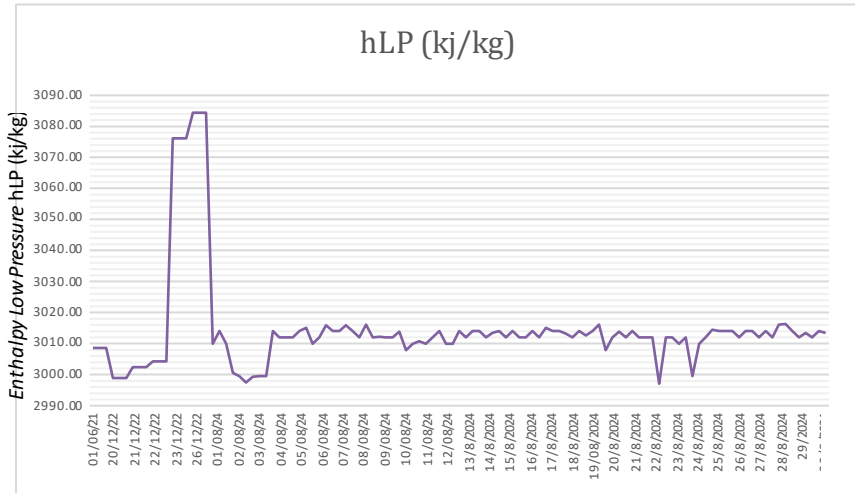
Nilai Entalpi air umpan HRSG ( $h_2$ ) dihitung menggunakan persamaan (2.5) Pada grafik Gambar 4.7, hasil perhitungan entalpi air umpan diperoleh nilai pada rentang 196 kJ/kg – 239.13 kJ/kg. Hasil perhitungan nilai entalpi tersebut digunakan untuk menghitung panas yang dimanfaatkan HRSG ( $Q_{out}$  HRSG) dan panas yang dimanfaatkan LP HRSG ( $Q_{out}$  LP HRSG).



**Gambar 4.7. Grafik Perhitungan *enthalpy* air umpan HRSG ( $h_2$ )**

#### **D. Perhitungan *enthalpy Low Pressure* ( $h_{LP}$ )**

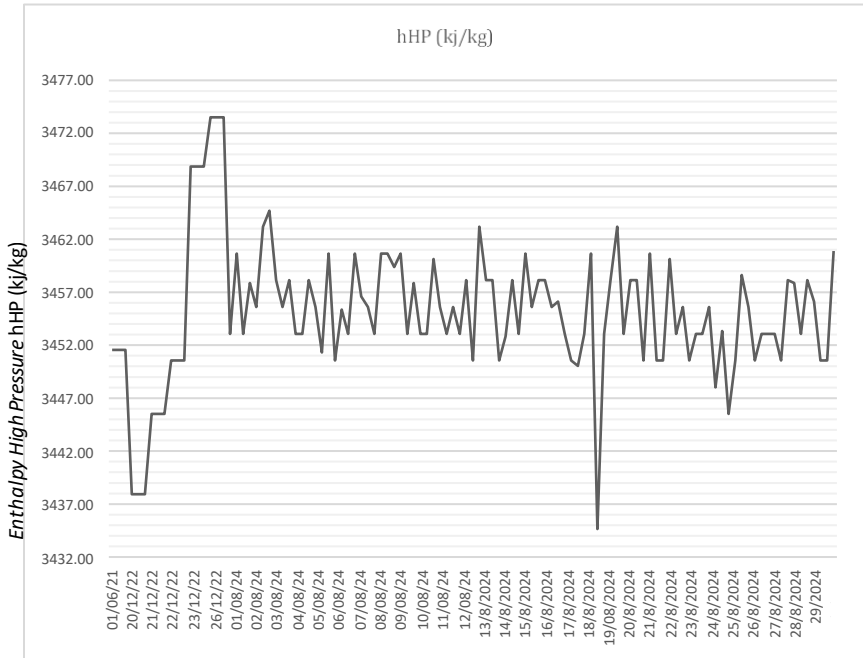
Nilai *enthalpy low pressure* atau laju uap tekanan rendah ( $h_{LP}$ ) dihitung dengan menggunakan persamaan interpolasi pada persamaan (2.2) dengan memperhatikan temperatur *low pressure* ( $T_{LP}$ ), sehingga nilai entalpi dapat berubah sesuai dengan nilai temperature *low pressure* ( $T_{LP}$ ). Hasil perhitungan nilai *enthalpy* laju uap tekanan rendah ( $h_{LP}$ ) tersaji pada grafik Gambar 4.8, diperoleh dengan nilai entalpi pada rentang 2997.48 kJ/kg – 3084.40 kJ/kg. Hasil perhitungan nilai entalpi ( $h_{LP}$ ) tersebut digunakan untuk menghitung panas yang dimanfaatkan HRSG ( $Q_{out\ HRSG}$ ) dan panas yang dimanfaatkan LP HRSG ( $Q_{out\ LP\ HRSG}$ ).



**Gambar 4.8. Grafik Perhitungan *enthalpy Low Pressure* ( $h_{LP}$ )**

#### **E. Perhitungan *enthalpy High Pressure* ( $h_{HP}$ )**

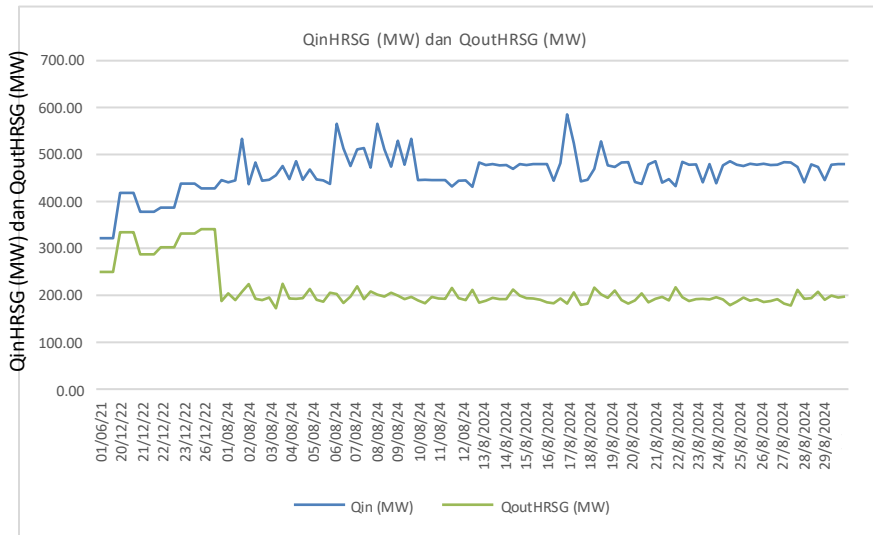
Nilai *enthalpy high pressure* atau laju uap tekanan tinggi ( $h_{HP}$ ) dihitung dengan menggunakan persamaan interpolasi pada persamaan (2.2) dengan memperhatikan temperatur *high pressure* ( $T_{HP}$ ), sehingga nilai entalpi dapat berubah sesuai dengan nilai temperature *high pressure* ( $T_{HP}$ ). Hasil perhitungan nilai *enthalpy* laju uap tekanan tinggi ( $h_{HP}$ ) tersaji pada grafik Gambar 4.9, diperoleh dengan nilai entalpi pada rentang 3434.64 kJ/kg – 3473.51 kJ/kg. Hasil perhitungan nilai entalpi ( $h_{HP}$ ) tersebut digunakan untuk menghitung panas yang dimanfaatkan HRSG ( $Q_{out\ HRSG}$ ).



**Gambar 4.9. Grafik Perhitungan *enthalpy High Pressure* ( $h_{HP}$ )**

**F. Perhitungan Panas yang masuk HRSG ( $Q_{inHRSG}$ ) dan panas yang dimanfaatkan ( $Q_{outHRSG}$ )**

Energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap panas lanjut atau energi yang dimanfaatkan HRSG ( $Q_{out HRSG}$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.6). Hasil perhitungan energi yang dimanfaatkan HRSG ( $Q_{out HRSG}$ ) tersaji pada grafik Gambar 4.10, diperoleh nilai pada rentang 172.29 MW – 340.95 MW. Hasil perhitungan nilai ( $Q_{out HRSG}$ ) tersebut digunakan untuk menghitung efisiensi HRSG. Energi panas gas buang yang diberikan kepada HRSG atau energi yang masuk ke HRSG ( $Q_{in HRSG}$ ) dapat dicari menggunakan persamaan (2.7). Hasil perhitungan energi yang masuk ke HRSG ( $Q_{in HRSG}$ ) ditampilkan pada grafik Gambar 4.10, diperoleh nilai ( $Q_{in HRSG}$ ) dengan rentang 321.64 MW – 585.51 MW. Hasil perhitungan nilai ( $Q_{in HRSG}$ ) tersebut digunakan untuk menghitung efisiensi HRSG.



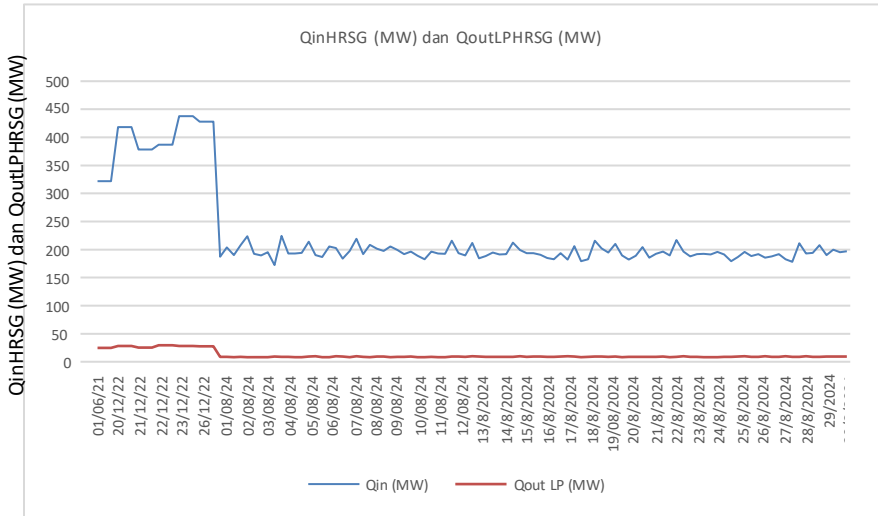
**Gambar 4.10. Grafik nilai Panas yang masuk HRSG ( $Q_{inHRSG}$ ) dan Panas yang dimanfaatkan ( $Q_{outHRSG}$ )**

**G. Perhitungan Panas yang masuk HRSG ( $Q_{inHRSG}$ ) dan panas yang dimanfaatkan Low Pressure HRSG ( $Q_{out LP HRSG}$ )**

Energi panas gas buang yang diberikan kepada HRSG atau energi yang masuk ke HRSG ( $Q_{in HRSG}$ ) dapat dicari menggunakan persamaan (2.7). Hasil perhitungan energi yang masuk ke HRSG ( $Q_{in HRSG}$ ) ditampilkan pada grafik Gambar 4.7, diperoleh nilai ( $Q_{in HRSG}$ ) dengan rentang 172.29 MW – 437.70 MW. Hasil perhitungan nilai ( $Q_{in HRSG}$ ) tersebut digunakan untuk menghitung efisiensi HRSG.

Energi panas yang dibutuhkan air menjadi uap panas lanjut atau energi yang dimanfaatkan LP HRSG ( $Q_{out LP HRSG}$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.9). Hasil perhitungan energi yang dimanfaatkan HRSG ( $Q_{out LP HRSG}$ ) tersaji pada grafik

Gambar 4.11, diperoleh nilai pada rentang 8.08 MW – 29.38 MW. Hasil perhitungan nilai ( $Q_{out LP HRSG}$ ) tersebut digunakan untuk menghitung efisiensi LP HRSG ( $\eta_{LP HRSG}$ ).

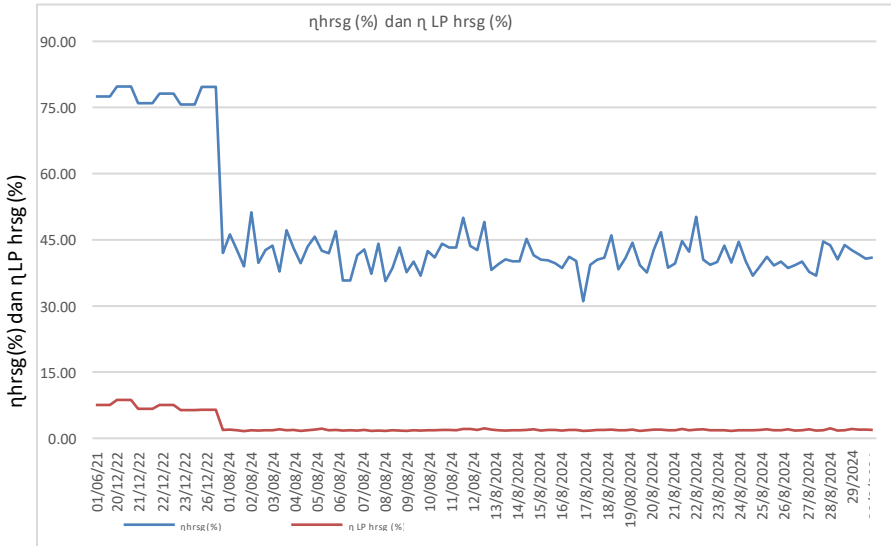


**Gambar 4.11. Grafik nilai Panas yang masuk HRSG ( $Q_{inHRSG}$ ) dan Panas yang dimanfaatkan ( $Q_{outHRSG}$ )**

#### H. Efisiensi Total HRSG ( $\eta_{HRSG}$ ) dan Efisiensi LP HRSG ( $\eta_{LP HRSG}$ )

Efisiensi Total HRSG ( $\eta_{HRSG}$ ) dihitung menggunakan persamaan (2.8). Hasil perhitungan efisiensi total HRSG tersaji pada grafik Gambar 4.12, diperoleh nilai efisiensi HRSG dari tanggal 01 Juni 2021 saat *commissioning* dan setelah *commissioning* dari tanggal 20 Desember – 26 Desember 2024 (selama 5 hari), dengan rentang 75.69 % - 79.76 % serta tanggal (01 – 31 Agustus 2024) selama sebulan dengan rentang 31.08 % - 51.22%.

Efisiensi LP HRSG ( $\eta_{LP HRSG}$ ) dihitung menggunakan persamaan (2.9). Hasil perhitungan efisiensi total HRSG tersaji pada grafik Gambar 4.12, diperoleh nilai efisiensi HRSG dari tanggal 01 Juni 2021 saat *commissioning* dan setelah *commissioning* dari tanggal 20 Desember – 26 Desember 2024 (selama 5 hari), nilai efisiensi HRSG dengan rentang 6.4 % - 8.7 % dan tanggal (01 – 31 Agustus 2024) selama sebulan dengan rentang 1.62 % - 2.27%.



**Gambar 4.12. Grafik Efisiensi Total HRSG dan Efisiensi LP HRSG saat *commissioning* dan setelah dilakukan *commissioning***

Dari Gambar 4.8, grafik efisiensi total HRSG dan efisiensi LP HRSG saat *commissioning* dan setelah dilakukan *commissioning* dapat dilihat bahwa efisiensi LP HRSG terendah didapat pada tanggal 18 Agustus 2024 yaitu sebesar 1.67 % dan efisiensi LP HRSG tertinggi didapat pada tanggal 20 Desember 2022 yaitu sebesar 8.7 %. Nilai efisiensi total HRSG juga bervariasi terjadi peningkatan dan juga penurunan dimana nilai efisiensi total HRSG terendah terjadi pada tanggal 18 Agustus 2024 yaitu sebesar 31.08 % dan efisiensi total HRSG tertinggi didapatkan pada tanggal 20 Desember 2022 yaitu 79.76 %.

Berdasarkan grafik Gambar 4.12, perhitungan efisiensi HRSG dan LP HRSG saat *commissioning* yang dihasilkan yaitu sebesar 77.50 % dan efisiensi LP HRSG sebesar 7.59 %, kemudian setelah *commissioning* efisiensi HRSG tertinggi didapat pada tanggal 20 Desember 2022 sebesar 79.76 % dan rata-rata efisiensi HRSG yang dihasilkan adalah sebesar 43.59 % serta rata-rata efisiensi LP HRSG didapat sebesar 2.19 %. Dari grafik Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa terjadinya penurunan efisiensi setelah dilakukannya *commissioning*, penurunan efisiensi HRSG dan LP HRSG ini cenderung terjadi pada bulan Agustus 2024, hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu dari daya keluaran turbin, temperatur keluaran kondenser, laju uap tekanan rendah dan laju uap tekanan tinggi yang nilainya jauh lebih kecil sehingga mengakibatkan turunnya efisiensi pada HRSG dan LP HRSG.

Penyebab terjadinya penurunan nilai efisiensi LP HRSG ini disebabkan oleh sulfur yang mengendap dari bahan bakar HSD oil sehingga terjadinya korosi dan juga *diverter damper* yang kurang rapat ketika proses *combine cycle*, selain itu disebabkan oleh pipa-pipa HRSG yang terjadi penyumbatan (*plugging*) sehingga menyebabkan kecilnya nilai laju bahan bakar pada turbin gas, isolasi dinding HRSG yang kurang baik serta banyaknya kebocoran pada sekat yang terdapat di bagian-bagian HRSG.

Berubahnya nilai efisiensi pada HRSG berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan sebagian besar dipengaruhi oleh dua hal yaitu, pertama nilai laju aliran massa bahan bakar, terjadinya perubahan pada nilai laju aliran massa bahan bakar ini disebabkan oleh besarnya laju energy gas buang yang terdapat dalam HRSG yang mengalami perubahan setiap saat mengakibatkan terjadinya peningkatan keadaan gas buang yang ada di dalam HRSG, kemudian laju energy gas buang ini dipengaruhi oleh bukaan damper atau kurang rapatnya *diverter damper* ketika proses *combine cycle*, akibatnya proses pembentukan uap juga mengalami perubahan pada laju energy gas buang yang diserap oleh air. Kedua, dipengaruhi oleh laju aliran masa uap yang keluar dari HP Stam HRSG, adanya kerja HP Transfer Pump yang menaikkan tekanan hingga tinggi menyebabkan HP Steam memiliki tekanan yang jauh lebih tinggi dari pada tekanan air yang masuk ke dalam HRSG. Sehingga, ketika terjadi penurunan tekanan ada katup ekspansi pada saluran masuk HP Drum maupun saluran masuk HP steam Header yang masih tinggi. Selain itu, aliran masa uap yang keluar HRSG terus bertambah karena desuperheater yang terus menyempotkan sejumlah masa air ke dalam laju aliran masa uap. Sehingga kedua hal di atas tadi, menimbulkan terjadinya perubahan setiap saat pada efisiensi HRSG.

## Bab 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisa di atas berikut merupakan hasil yang dapat disimpulkan yaitu:

1. Dari tabel hasil perhitungan efisiensi total HRSG dan Efisiensi LP HRSG saat *commissioning* dan setelah dilakukan *commissioning* dapat dilihat bahwa efisiensi LP HRSG terendah didapat pada tanggal 23 Desember 2022 yaitu 6,46%. dan efisiensi LP HRSG tertinggi didapat pada tanggal 01 Juni 2021 dan 22 Desember 2022 yaitu sebesar 9,11%,.
2. Nilai efisiensi total HRSG juga bervariasi terjadi peningkatan dan juga penurunan dimana nilai efisiensi total HRSG terendah terjadi pada tanggal 18 Agustus 2024 yaitu sebesar 31.08 % dan efisiensi total HRSG tertinggi didapatkan pada tanggal 20 Desember 2022 yaitu 79.76 %.
3. Berdasarkan grafik Gambar 4.12, perhitungan efisiensi HRSG dan LP HRSG saat *commissioning* yang dihasilkan yaitu sebesar 77.50 % dan efisiensi LP HRSG sebesar 7.59 %, kemudian setelah *commissioning* efisiensi HRSG tertinggi didapat pada tanggal 20 Desember 2022 sebesar 79.76 % dan rata-rata efisiensi HRSG yang dihasilkan adalah sebesar 43.59 % serta rata-rata efisiensi LP HRSG didapat sebesar 2.19 %.
4. Terjadinya penurunan efisiensi setelah dilakukannya *commissioning*, penurunan efisiensi HRSG dan LP HRSG ini cenderung terjadi pada bulan Agustus 2024, hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu dari daya keluaran turbin, temperatur keluaran kondenser, laju uap tekanan rendah dan laju uap tekanan tinggi yang nilainya jauh lebih kecil sehingga mengakibatkan turunnya efisiensi pada HRSG dan LP HRSG.
5. Penyebab terjadinya penurunan dari efisiensi LP HRSG, yaitu sulfur yang mengendap dari bahan bakar HSD oil sehingga terjadinya korosi dan juga *diverter damper* yang kurang rapat ketika proses *combine cycle*, selain itu disebabkan oleh pipa-pipa HRSG yang terjadi penyumbatan (*plugging*) sehingga menyebabkan kecilnya nilai laju bahan bakar pada turbin gas, isolasi dinding HRSG yang kurang baik serta banyaknya kebocoran pada sekat yang terdapat di bagian-bagian HRSG.

### 5.2. Saran

1. Kepada peneliti selanjutnya diharapkan dapat menghitung peralatan peningkatan efisiensi lainnya yang ada di PLTGU Tanjung Uncang.
2. Diharapkan penelitian yang telah dilakukan ini dapat menjadi referensi untuk mencari nilai efisiensi HRSG dan Efisiensi LP HRSG pada PLTGU.

## Daftar Pustaka

- [1] Yohana Dan Ady Priambodo. "Analisa Efisiensi *Low Pressure* HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*) Pada PLTGU PT. Indonesia Power UBP Semarang". Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Vol. 14, No 1, Januari 2012: 7-9.
- [2] Ahmad Husen, Bambang Setiadi, dan Fachri Alfarizi. "Analisis Efisiensi *Thermal High Pressure* Dan *Low Pressure Superheater* Pada *Heat Recovery Steam Generator* (Hrsg) 2.1 PLTGU Blok 2 Tambak Lorok". Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Vol 22 Nomor 2 – Juli 2020.
- [3] Said Kaudir, "Analisa Efisiensi dan Pemanfaatan Gas buang turbin gas Alsthom pada pembangkit listrik tenaga Gas kapasitas 20MW (Studi kasus di Pusat Listrik Balai Pungut – Duri)". Skripsi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau, Pekanbaru, 2017.
- [4] Setyoko, Bambang. "Analisa Efisiensi Peforma HRSG", Staf Pengajar PSD III Teknik Mesin UNDIP, Vol.4. No.2, Desember 2006, pp (56-63).
- [5] Anwar Ilmar dan Ali Sandra. "Analisis Unjuk Kerja Heat Recovery Steam Generator (HRSG) Pada Pltgu Muara Tawar Blok 5". Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, SINTEK VOL 7 NO 1, Jakarta Pusat, 2012.
- [6] Herlambang Yusuf Dewantoro, Supriyo dan Teguh Aji Wibowo. 2020. "Analisis Perhitungan Efisiensi *Heat Recovery Steam Generator* Tipe Vertikal Tekanan Ganda Pada Pembangkit Tenaga Gas Uap (PLTGU) ". Jurnal Teknik Energi Vol. 16 No. 3 September 2020; 148-164.
- [7] Rahmad Sugiharto. "Perancangan Heat Recovery Steam Generator (Hrsg) Dengan Sistem Tekanan Uap Dua Tingkat Kapasitas Daya Pembangkitan 77 Mw". Skripsi. Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2009.
- [8] Rika Ayu Lestari. "analisa Keseimbangan Energi Pada Heat Recovery Steam Generator (Hrsg) PT. Consolidated Electric Power Asia (Cepa)". Skripsi. Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Gowa, 2019.
- [9] Slamet Priyoatmojo dan Margana. 2016. "Analisa Efisiensi Hrsg Unit 1 Di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan PLTGU Cilegon". Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang, Semarang, Jurnal Teknik Energi Vol 12 No. 2 Mei 2016; 44-49
- [10] Yohana dan Gunawan Setiawan Kuscahyanto. "Analisa Efisiensi *High Pressure Heat Recovery Steam Generator* Unit 2.1 Pusat Listrik Tenaga Gas Dan Uap PT. Indonesia Power Unit Bisnis Pembangkit Semarang". Jurusan

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Vol 12 Nomor 1 – Januari 2010.

- [11] Anonim. *"Equipment Specification For Combined Cycle Power Plant Performance Monitoring No. 510A3061-R578"*. GE International Company: Schenectady, NY.
- [12] P. Ali Hasimi. 2014. *"Modul Contoh Penyelesaian Soal Termodinamika (Analisa Siklus Pembangkit Daya)"*. Januari 2014.
- [13] F. Burlian dan A. Ghafara. 2013. *"Perancangan Ulang heat Recovery stem Generator dengan system dual pressure melalui pemanfaatan gas buang"*. Jurnal Rekayasa Mesin. Vol. 13. No. 1. Maret 2013

## Biodata



Nama : Ricky Satria Nugraha  
TTL : Jakarta, 02 Oktober 2001  
Agama : Islam  
Alamat : Baloi Harapan II Blok A No.21 Bengkong Indah, Bengkong  
Email : Rickysatria266@gmail.com  
Riwayat Pendidikan : SMA / SMK : SMA Negeri 8 Batam  
SMP : SMP Harmoni Batam

# Lampiran

## Lampiran 1. Saturation (pressure)

P (bar)	t (°C)	$p_h$	$P_g$	$h_l$	$h_g$	r	$S_l$	$S_g$	$\phi$	$(v_l \times 10^3)$	$v_g$ ( $\times 10^3$ )
0.0061173	0.010	999.78	0.004855	0.00	2500.5	2500.5	0	9.1541	9.1541	1.00022	205990.
0.010	6.970	999.89	0.007740	29.27	2513.3	2484.1	0.10581	8.9737	8.8678	1.00011	129190.
0.025	21.080	997.96	0.018433	88.36	2539.1	2450.8	0.31160	8.6411	8.3295	1.00205	54249.
0.050	32.881	994.70	0.035472	137.67	2560.5	2422.9	0.47594	8.3930	7.9171	1.00533	28191.
0.075	40.299	992.05	0.051982	168.74	2573.9	2405.1	0.57625	8.2494	7.6732	1.00801	19237.
0.100	45.817	989.82	0.06815	191.83	2583.8	2391.9	0.64926	8.1482	7.4990	1.01028	14674.
0.15	53.983	986.14	0.09977	225.95	2598.2	2372.3	0.75486	8.0066	7.2517	1.01405	10023.
0.20	60.073	983.13	0.13072	251.46	2608.9	2357.5	0.83211	7.9068	7.0747	1.01716	7650.
0.25	64.980	980.54	0.16117	271.99	2617.4	2345.5	0.89326	7.8298	6.9366	1.01985	6204.8
0.50	81.339	970.96	0.30856	340.54	2645.3	2304.8	1.09117	7.5928	6.5017	1.02991	3240.9
0.75	91.783	964.13	0.45095	384.43	2662.5	2278.1	1.21309	7.4557	6.2436	1.03721	2217.5
1.0	99.632	958.66	0.5902	417.51	2675.1	2257.6	1.30273	7.3589	6.0562	1.04313	1694.3
1.5	111.378	949.94	0.8624	467.18	2693.4	2226.2	1.43376	7.2232	5.7894	1.05270	1159.5
2.0	120.241	942.96	1.1289	504.80	2706.5	2201.7	1.53055	7.1272	5.5968	1.06049	885.9
2.5	127.443	937.04	1.3912	535.49	2716.8	2181.4	1.60753	7.0528	5.4453	1.06719	718.8
3.0	133.555	931.84	1.6505	561.61	2725.3	2163.7	1.67211	6.9921	5.3200	1.07315	605.9
3.5	138.891	927.17	1.9074	584.48	2732.4	2147.9	1.72785	6.9407	5.2129	1.07855	524.27
4.0	143.643	922.91	2.1624	604.90	2738.5	2133.6	1.77700	6.8961	5.1191	1.08353	462.46
5.0	151.866	915.31	2.6677	640.38	2748.6	2108.2	1.86104	6.8214	4.9604	1.09253	374.86
6.0	158.863	908.61	3.1683	670.71	2756.7	2086.0	1.93155	6.7601	4.8285	1.10058	315.63
7.0	164.983	902.58	3.6655	697.35	2763.3	2066.0	1.99254	6.7079	4.7154	1.10794	272.81
8.0	170.444	897.05	4.1603	721.23	2768.9	2047.7	2.04644	6.6625	4.6161	1.11476	240.37
9.0	175.388	891.94	4.6531	742.93	2773.6	2030.7	2.09484	6.6222	4.5274	1.12116	214.91
10.0	179.815	887.15	5.1444	762.48	2777.7	2014.8	2.13859	6.5859	4.4471	1.12720	191.88
12.5	189.848	876.32	6.369	806.92	2785.7	1978.8	2.23439	6.5083	4.2739	1.14114	157.01
15.0	198.327	866.69	7.592	844.86	2791.5	1946.6	2.31496	6.4438	4.1288	1.15382	131.72
17.5	205.764	857.93	8.815	878.42	2795.7	1917.3	2.38498	6.3884	4.0034	1.16559	113.44
20.0	212.417	849.85	10.041	908.69	2798.7	1890.0	2.44714	6.3396	3.8924	1.17567	99.59
22.5	218.452	842.30	11.272	936.38	2800.8	1864.4	2.50320	6.2958	3.7926	1.18422	88.72
25.0	223.989	835.19	12.508	961.98	2802.2	1840.2	2.55439	6.2560	3.7016	1.19173	79.95
27.5	229.114	828.44	13.751	985.86	2803.0	1817.1	2.60158	6.2195	3.6179	1.20709	72.72
30.0	233.892	821.99	15.001	1008.30	2803.3	1795.0	2.64544	6.1855	3.5401	1.21556	66.66
35.0	242.595	809.84	17.527	1049.64	2802.6	1752.9	2.72508	6.1240	3.3989	1.23481	57.05
40.0	250.440	798.40	20.992	1087.24	2801.6	1713.4	2.79623	6.0689	3.277	1.25237	49.73
45.0	257.474	787.75	22.700	1121.90	2799.6	1675.7	2.86080	6.0188	3.1580	1.26943	44.003
50.0	263.977	777.51	25.355	1154.22	2793.7	1639.5	2.92013	5.9725	3.0524	1.28515	39.440
55.0	270.001	767.68	28.062	1184.60	2789.1	1604.5	2.97518	5.9294	2.9542	1.30263	35.636
60.0	275.621	758.16	30.824	1213.37	2783.9	1570.5	3.02667	5.8887	2.8620	1.31898	32.442
65.0	280.893	748.92	33.646	1240.78	2778.1	1537.3	3.07517	5.8500	2.7748	1.33525	29.271
70.0	285.864	739.90	36.533	1267.02	2771.8	1504.8	3.12111	5.8130	2.6919	1.35153	27.373
75.0	290.570	731.07	39.488	1292.25	2765.0	1472.8	3.16485	5.7775	2.6126	1.36786	25.324
80.0	295.042	722.38	42.516	1316.61	2757.8	1441.2	3.20668	5.7431	2.5365	1.38430	23.520
85.0	299.305	713.82	45.623	1340.21	2750.1	1409.9	3.24683	5.7098	2.4629	1.40091	21.919
90.0	303.379	705.35	48.814	1363.15	2742.0	1378.8	3.28553	5.6772	2.3917	1.41773	20.486
95.0	307.282	696.96	52.10	1385.49	2733.5	1348.0	3.32292	5.6453	2.3224	1.43481	19.195
100.0	311.031	688.61	55.47	1407.33	2724.5	1317.2	3.35918	5.6140	2.2548	1.45220	18.026
105.0	314.637	680.29	58.96	1428.72	2715.2	1286.4	3.39444	5.5831	2.1887	1.46995	16.962
110.0	318.112	671.99	62.55	1449.73	2705.4	1255.7	3.42882	5.5526	2.1238	1.48812	15.987
115.0	321.466	663.67	66.27	1470.40	2695.2	1224.8	3.46242	5.5223	2.0599	1.50677	15.091
120.0	324.709	655.33	70.11	1490.79	2684.6	1193.8	3.49534	5.4922	1.9968	1.52596	14.263
125.0	327.847	646.93	74.10	1510.95	2673.4	1162.5	3.52769	5.4621	1.9344	1.54576	13.495
130.0	330.888	638.5	78.25	1530.9	2661.9	1130.9	3.5595	5.4319	1.8724	1.5663	12.780
135.0	333.837	629.9	82.56	1550.7	2649.8	1099.0	3.5910	5.4017	1.8107	1.5875	12.112
140.0	336.701	621.2	87.06	1570.5	2637.1	1066.7	3.6221	5.3712	1.7491	1.6097	11.486
145.0	339.485	612.49	91.77	1590.2	2623.9	1033.8	3.6523	5.3404	1.6871	1.63287	10.896
150.0	342.192	603.4	96.71	1609.9	2610.1	1000.2	3.6827	5.3093	1.6255	1.6571	10.340
155.0	344.827	594.3	101.91	1629.6	2595.6	965.9	3.7144	5.2775	1.5631	1.6828	9.812
160.0	347.390	585.3	107.40	1649.5	2580.3	930.8	3.7452	5.2451	1.5001	1.7099	9.311
165.0	349.896	575.1	113.23	1669.6	2564.2	894.6	3.7761	5.2119	1.4358	1.7388	8.832
170.0	352.335	565.0	119.43	1689.9	2547.1	857.2	3.8073	5.1777	1.3704	1.7698	8.373
175.0	354.715	554.5	126.09	1710.7	2529.0	818.3	3.8390	5.1422	1.3032	1.8033	7.931
180.0	357.038	543.6	133.27	1731.9	2509.6	777.6	3.8713	5.1053	1.2339	1.8398	7.504
185.0	359.306	531.9	141.10	1753.9	2488.7	734.8	3.9046	5.0664	1.1618	1.8799	7.087
190.0	361.522	519.5	149.72	1776.7	2466.0	689.3	3.9391	5.0252	1.0860	1.9248	6.679
195.0	363.686	506.1	159.35	1800.8	2441.1	640.3	3.9754	4.9809	1.0054	1.9759	6.275
200.0	365.800	491.3	170.36	1826.5	2413.2	586.7	4.0142	4.9323	0.9181	2.0353	5.870
205.0	367.865	474.6	183.32	1854.8	2381.0	526.2	4.0568	4.8776	0.8208	2.1070	5.455
210.0	369.881	454.8	199.46	1887.1	2342.0	454.8	4.1055	4.8128	0.7072	2.1988	5.014
212.5	370.871	442.9	209.55	1906.0	2318.2	412.2	4.1340	4.7739	0.6399	2.2578	4.772
215.0	371.848	428.5	222.08	1928.2	2289.1	361.0	4.1675	4.7270	0.5595	2.3335	4.503
217.5	372.813	409.2	239.6	1957.0	2249.4	292.3	4.2113	4.6637	0.4525	2.444	4.173
220.55	373.976	322		2086		0	4.409		0		3.106

Sumber : <https://thermopedia.com/content/1150/>

# Lampiran 2. Density Water

DENSITIES OF PURE SUBSTANCES 2-91

## DENSITIES OF PURE SUBSTANCES

### UNITS CONVERSIONS

For this subsection, the following units conversions are applicable:

$$^{\circ}\text{F} = \% \text{ } ^{\circ}\text{C} + 32$$

To convert kilograms per cubic meter to pounds per cubic foot, multiply by 0.06243.

**TABLE 2-28 Density (kg/m<sup>3</sup>) of Water from 0 to 100°C (Concluded)**

t, °C	ρ, kg/m <sup>3</sup>									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
50	988.037	987.992	987.946	987.901	987.844	987.810	987.764	987.719	987.673	987.627
51	987.581	987.536	987.490	987.444	987.398	987.351	987.305	987.259	987.213	987.166
52	987.120	987.073	987.027	986.980	986.933	986.886	986.840	986.793	986.746	986.699
53	986.652	986.604	986.557	986.510	986.463	986.415	986.368	986.320	986.272	986.225
54	986.177	986.129	986.081	986.033	985.985	985.937	985.889	985.841	985.793	985.745
55	985.696	985.648	985.599	985.551	985.502	985.454	985.405	985.356	985.307	985.258
56	985.219	985.169	985.119	985.069	985.018	984.963	984.914	984.865	984.815	984.766
57	984.716	984.666	984.617	984.567	984.517	984.467	984.417	984.367	984.317	984.267
58	984.212	984.161	984.110	984.059	984.008	983.957	983.906	983.854	983.803	983.752
59	983.200	983.149	983.097	983.046	982.994	982.943	982.891	982.839	982.787	982.735
60	982.683	982.631	982.579	982.527	982.475	982.422	982.370	982.318	982.265	982.213
61	982.160	982.108	982.055	982.002	981.949	981.897	981.844	981.791	981.738	981.685
62	981.631	981.578	981.525	981.472	981.418	981.365	981.311	981.258	981.204	981.151
63	981.097	981.043	980.989	980.935	980.881	980.827	980.773	980.719	980.665	980.611
64	980.557	980.502	980.443	980.383	980.339	980.284	980.230	980.175	980.120	980.065
65	980.011	979.956	979.901	979.846	979.791	979.736	979.680	979.625	979.570	979.515
66	979.459	979.403	979.348	979.293	979.237	979.181	979.126	979.070	979.014	978.958
67	979.302	979.246	979.190	979.134	979.078	979.021	978.965	978.909	978.852	978.796
68	979.239	979.183	979.127	979.070	979.013	978.956	978.899	978.842	978.785	978.728
69	979.177	979.120	979.063	979.006	978.948	978.891	978.834	978.776	978.719	978.661
70	979.115	979.057	979.000	978.942	978.884	978.826	978.768	978.710	978.652	978.594
71	979.053	978.995	978.937	978.879	978.821	978.763	978.705	978.647	978.589	978.531
72	978.991	978.933	978.875	978.817	978.759	978.701	978.643	978.585	978.527	978.469
73	978.929	978.871	978.813	978.755	978.697	978.639	978.581	978.523	978.465	978.407
74	978.867	978.809	978.751	978.693	978.635	978.577	978.519	978.461	978.403	978.345
75	978.805	978.747	978.689	978.631	978.573	978.515	978.457	978.399	978.341	978.283
76	978.743	978.685	978.627	978.569	978.511	978.453	978.395	978.337	978.279	978.221
77	978.681	978.623	978.565	978.507	978.449	978.391	978.333	978.275	978.217	978.159
78	978.619	978.561	978.503	978.445	978.387	978.329	978.271	978.213	978.155	978.097
79	978.557	978.499	978.441	978.383	978.325	978.267	978.209	978.151	978.093	978.035
80	978.495	978.437	978.379	978.321	978.263	978.205	978.147	978.089	978.031	977.973
81	978.433	978.375	978.317	978.259	978.201	978.143	978.085	978.027	977.969	977.911
82	978.371	978.313	978.255	978.197	978.139	978.081	978.023	977.965	977.907	977.849
83	978.309	978.251	978.193	978.135	978.077	978.019	977.961	977.903	977.845	977.787
84	978.247	978.189	978.131	978.073	978.015	977.957	977.899	977.841	977.783	977.725
85	978.185	978.127	978.069	978.011	977.953	977.895	977.837	977.779	977.721	977.663
86	978.123	978.065	978.007	977.949	977.891	977.833	977.775	977.717	977.659	977.601
87	978.061	978.003	977.945	977.887	977.829	977.771	977.713	977.655	977.597	977.539
88	978.000	977.942	977.884	977.826	977.768	977.710	977.652	977.594	977.536	977.478
89	977.938	977.880	977.822	977.764	977.706	977.648	977.590	977.532	977.474	977.416
90	977.876	977.818	977.760	977.702	977.644	977.586	977.528	977.470	977.412	977.354
91	977.814	977.756	977.698	977.640	977.582	977.524	977.466	977.408	977.350	977.292
92	977.752	977.694	977.636	977.578	977.520	977.462	977.404	977.346	977.288	977.230
93	977.690	977.632	977.574	977.516	977.458	977.400	977.342	977.284	977.226	977.168
94	977.628	977.570	977.512	977.454	977.396	977.338	977.280	977.222	977.164	977.106
95	977.566	977.508	977.450	977.392	977.334	977.276	977.218	977.160	977.102	977.044
96	977.504	977.446	977.388	977.330	977.272	977.214	977.156	977.098	977.040	976.982
97	977.442	977.384	977.326	977.268	977.210	977.152	977.094	977.036	976.978	976.920
98	977.380	977.322	977.264	977.206	977.148	977.090	977.032	976.974	976.916	976.858
99	977.318	977.260	977.202	977.144	977.086	977.028	976.970	976.912	976.854	976.796
100	977.256	977.198	977.140	977.082	977.024	976.966	976.908	976.850	976.792	976.734

Sumber : <https://www.scribd.com/document/482530570/perry-hal-132-133-densitas-air>

### Lampiran 3 .Compressed water and superheated steam

t (°C)	v ( $\times 10^3$ )	p	h	u	s
130	1.06952	935.00	546.56	546.03	1.63442
135	1.07448	930.69	567.92	567.38	1.68707
140	1.07961	926.26	589.33	588.79	1.73922
145	1.08493	921.72	610.80	610.26	1.79087
150	1.09043	917.07	632.33	631.79	1.84205
155	378.24	2.6438	2755.8	2566.7	6.8383
160	383.58	2.6070	2767.2	2575.4	6.8648
165	388.87	2.5715	2778.5	2584.1	6.8907
170	394.12	2.5373	2789.7	2592.6	6.9160
175	399.33	2.5042	2800.7	2601.1	6.9408
180	404.50	2.4722	2811.7	2609.5	6.9652
185	409.64	2.4412	2822.6	2617.8	6.9891
190	414.74	2.4111	2833.5	2626.1	7.0126
195	419.82	2.3820	2844.2	2634.3	7.0358
200	424.87	2.3537	2854.9	2642.5	7.0585
205	429.90	2.3261	2865.6	2650.7	7.0810
210	434.90	2.2994	2876.2	2658.8	7.1031
215	439.89	2.2733	2886.8	2666.9	7.1249
220	444.85	2.2479	2897.4	2674.9	7.1463
225	449.80	2.2232	2907.9	2683.0	7.1676
230	454.73	2.1991	2918.4	2691.0	7.1885
235	459.65	2.1756	2928.8	2699.0	7.2092
240	464.55	2.1526	2939.3	2707.0	7.2297
245	469.44	2.1302	2949.7	2715.0	7.2499
250	474.32	2.1083	2960.1	2723.0	7.2699
255	479.18	2.0869	2970.5	2730.9	7.2897
260	484.04	2.0660	2980.9	2738.9	7.3092
265	488.88	2.0455	2991.3	2746.8	7.3286
270	493.72	2.0255	3001.6	2754.8	7.3478
275	498.54	2.0059	3012.0	2762.7	7.3668
280	503.36	1.9867	3022.4	2770.7	7.3856
285	508.17	1.9679	3032.7	2778.6	7.4042
290	512.97	1.9494	3043.1	2786.6	7.4227
295	517.76	1.9314	3053.4	2794.5	7.4410
300	522.5	1.9137	3063.7	2802.5	7.4591
305	527.3	1.8963	3074.1	2810.4	7.4771
310	532.1	1.8793	3084.4	2818.4	7.4949
315	536.9	1.8626	3094.8	2826.4	7.5126
320	541.6	1.8463	3105.2	2834.3	7.5301
325	546.4	1.8302	3115.5	2842.3	7.5475
330	551.1	1.8144	3125.9	2850.3	7.5647
335	555.9	1.7989	3136.2	2858.3	7.5819
340	560.6	1.7837	3146.6	2866.3	7.5989
345	565.4	1.7687	3157.0	2874.3	7.6157
350	570.1	1.7540	3167.4	2882.3	7.6325
355	574.8	1.7396	3177.8	2890.4	7.6491
360	579.6	1.7254	3188.2	2898.4	7.6656
365	584.3	1.7114	3198.6	2906.4	7.6819
370	589.0	1.6977	3209.0	2914.5	7.6982
375	593.7	1.6842	3219.4	2922.6	7.7144
380	598.5	1.6710	3229.9	2930.7	7.7304
385	603.2	1.6579	3240.3	2938.7	7.7463

Sumber : <https://themopedia.com/content/1150/>

#### Lampiran 4. Compressed water and superheated steam

t (°C)	$v$ ( $\times 10^3$ )	$p$	$h$	$u$	$s$
390	25.679	38.942	3064.5	2807.7	6.1641
395	26.047	38.392	3080.5	2820.0	6.1880
400	26.408	37.867	3096.1	2832.0	6.2114
410	27.113	36.883	3126.6	2855.5	6.2563
420	27.797	35.976	3156.2	2878.3	6.2994
430	28.463	35.133	3185.1	2900.5	6.3408
440	29.114	34.347	3213.4	2922.3	6.3807
450	29.752	33.611	3241.1	2943.6	6.4194
460	30.378	32.919	3268.4	2964.6	6.4568
470	30.993	32.266	3295.3	2985.4	6.4932
480	31.598	31.647	3321.8	3005.8	6.5287
490	32.195	31.061	3348.0	3026.1	6.5633
500	32.784	30.503	3374.0	3046.2	6.5971
520	33.940	29.463	3425.3	3085.9	6.6625
540	35.073	28.512	3475.8	3125.1	6.7255
560	36.186	27.635	3525.8	3164.0	6.7862
580	37.281	26.824	3575.4	3202.6	6.8451
600	38.361	26.068	3624.7	3241.1	6.9022
620	39.427	25.363	3673.8	3279.5	6.9577
640	40.482	24.702	3722.7	3317.9	7.0119
660	41.527	24.081	3771.5	3356.2	7.0648
680	42.562	23.495	3820.3	3394.6	7.1165
700	43.590	22.941	3869.0	3433.1	7.1671
720	44.610	22.417	3917.7	3471.6	7.2167
740	45.623	21.919	3966.5	3510.3	7.2653
760	46.631	21.445	4015.4	3549.1	7.3131
780	47.633	20.994	4064.4	3588.1	7.3600
800	48.630	20.564	4113.5	3627.2	7.4062
850	51.110	19.568	4236.7	3725.7	7.5184
900	53.555	18.673	4360.9	3825.3	7.6266
950	55.99	17.861	4486.1	3926.3	7.7311
1000	58.40	17.122	4612.5	4028.5	7.8324
1100	63.20	15.822	4869.0	4236.9	8.0263
1200	67.96	14.714	5130.3	4450.6	8.2100
1300	72.70	13.755	5396.4	4669.4	8.3847
1400	77.41	12.918	5667.1	4893.0	8.5516
1500	82.11	12.178	5942.2	5121.1	8.7112
1600	86.80	11.521	6221.3	5353.3	8.8644
1700	91.48	10.932	6504.2	5589.5	9.0115
1800	96.15	10.401	6790.6	5829.2	9.1531
1900	100.81	9.920	7080.3	6072.3	9.2895
2000	105.46	9.482	7373.1	6318.4	9.4212

Sumber : <https://themopedia.com/content/1150/>

## Lampiran 5. Compressed water and superheated steam

t (°C)	v ( $\times 10^3$ )	p	h	u	s
130	1.06952	935.00	546.56	546.03	1.63442
135	1.07448	930.69	567.92	567.38	1.68707
140	1.07961	926.26	589.33	588.79	1.73922
145	1.08493	921.72	610.80	610.26	1.79087
150	1.09043	917.07	632.33	631.79	1.84205
155	378.24	2.6438	2755.8	2566.7	6.8383
160	383.58	2.6070	2767.2	2575.4	6.8648
165	388.87	2.5715	2778.5	2584.1	6.8907
170	394.12	2.5373	2789.7	2592.6	6.9160
175	399.33	2.5042	2800.7	2601.1	6.9408
180	404.50	2.4722	2811.7	2609.5	6.9652
185	409.64	2.4412	2822.6	2617.8	6.9891
190	414.74	2.4111	2833.5	2626.1	7.0126
195	419.82	2.3820	2844.2	2634.3	7.0358
200	424.87	2.3537	2854.9	2642.5	7.0585
205	429.90	2.3261	2865.6	2650.7	7.0810
210	434.90	2.2994	2876.2	2658.8	7.1031
215	439.89	2.2733	2886.8	2666.9	7.1249
220	444.85	2.2479	2897.4	2674.9	7.1463
225	449.80	2.2232	2907.9	2683.0	7.1676
230	454.73	2.1991	2918.4	2691.0	7.1885
235	459.65	2.1756	2928.8	2699.0	7.2092
240	464.55	2.1526	2939.3	2707.0	7.2297
245	469.44	2.1302	2949.7	2715.0	7.2499
250	474.32	2.1083	2960.1	2723.0	7.2699
255	479.18	2.0869	2970.5	2730.9	7.2897
260	484.04	2.0660	2980.9	2738.9	7.3092
265	488.88	2.0455	2991.3	2746.8	7.3286
270	493.72	2.0255	3001.6	2754.8	7.3478
275	498.54	2.0059	3012.0	2762.7	7.3668
280	503.36	1.9867	3022.4	2770.7	7.3856
285	508.17	1.9679	3032.7	2778.6	7.4042
290	512.97	1.9494	3043.1	2786.6	7.4227
295	517.76	1.9314	3053.4	2794.5	7.4410
300	522.5	1.9137	3063.7	2802.5	7.4591
305	527.3	1.8963	3074.1	2810.4	7.4771
310	532.1	1.8793	3084.4	2818.4	7.4949
315	536.9	1.8626	3094.8	2826.4	7.5126
320	541.6	1.8463	3105.2	2834.3	7.5301
325	546.4	1.8302	3115.5	2842.3	7.5475
330	551.1	1.8144	3125.9	2850.3	7.5647
335	555.9	1.7989	3136.2	2858.3	7.5819
340	560.6	1.7837	3146.6	2866.3	7.5989
345	565.4	1.7687	3157.0	2874.3	7.6157
350	570.1	1.7540	3167.4	2882.3	7.6325
355	574.8	1.7396	3177.8	2890.4	7.6491
360	579.6	1.7254	3188.2	2898.4	7.6656
365	584.3	1.7114	3198.6	2906.4	7.6819
370	589.0	1.6977	3209.0	2914.5	7.6982
375	593.7	1.6842	3219.4	2922.6	7.7144
380	598.5	1.6710	3229.9	2930.7	7.7304
385	603.2	1.6579	3240.3	2938.7	7.7463

Sumber : <https://themopedia.com/content/1150/>

## Lampiran 6. Compressed water and superheated steam

t (°C)	v ( $\times 10^3$ )	$\rho$	h	u	s
260	1.27513	784.23	1134.33	1127.95	2.88298
265	39.631	25.233	2798.0	2599.9	5.9805
270	40.533	24.671	2818.2	2615.6	6.0179
275	41.399	24.155	2837.5	2630.5	6.0532
280	42.230	23.680	2855.9	2644.8	6.0867
285	43.033	23.238	2873.7	2658.5	6.1186
290	43.812	22.825	2890.8	2671.7	6.1491
295	44.567	22.438	2907.4	2684.5	6.1785
300	45.304	22.073	2923.5	2697.0	6.2067
305	46.021	21.729	2939.2	2709.1	6.2340
310	46.725	21.402	2954.5	2720.9	6.2604
315	47.414	21.091	2969.5	2732.5	6.2860
320	48.091	20.794	2984.3	2743.8	6.3109
325	48.754	20.511	2998.7	2754.9	6.3352
330	49.410	20.239	3012.9	2765.9	6.3588
335	50.053	19.979	3026.9	2776.6	6.3819
340	50.689	19.728	3040.7	2787.2	6.4045
345	51.316	19.487	3054.3	2797.7	6.4266
350	51.93	19.255	3067.7	2808.0	6.4482
355	52.55	19.031	3081.0	2818.2	6.4695
360	53.15	18.814	3094.1	2828.4	6.4903
365	53.75	18.604	3107.2	2838.4	6.5108
370	54.35	18.401	3120.1	2848.3	6.5309
375	54.93	18.203	3132.9	2858.2	6.5507
380	55.52	18.012	3145.5	2868.0	6.5703
385	56.10	17.826	3158.2	2877.7	6.5895
390	56.67	17.646	3170.7	2887.3	6.6084
395	57.24	17.470	3183.1	2896.9	6.6271
400	57.81	17.299	3195.5	2906.5	6.6456
410	58.93	16.969	3220.1	2925.4	6.6818
420	60.04	16.656	3244.4	2944.2	6.7172
430	61.14	16.357	3268.5	2962.8	6.7517
440	62.22	16.072	3292.5	2981.4	6.7856
450	63.30	15.798	3316.3	2999.8	6.8187
460	64.37	15.536	3340.0	3018.2	6.8513
470	65.42	15.285	3363.6	3036.5	6.8833
480	66.48	15.043	3387.1	3054.7	6.9147
490	67.52	14.810	3410.5	3072.9	6.9456
500	68.56	14.586	3433.9	3091.1	6.9760
520	70.62	14.160	3480.5	3127.4	7.0355
540	72.66	13.762	3527.0	3163.7	7.0934
560	74.68	13.390	3573.4	3200.0	7.1498
580	76.69	13.039	3619.8	3236.4	7.2048
600	78.69	12.709	3666.2	3272.8	7.2586
620	80.67	12.396	3712.7	3309.4	7.3112
640	82.64	12.101	3759.3	3346.1	7.3628
660	84.60	11.820	3805.9	3382.9	7.4133
680	86.56	11.553	3852.7	3419.9	7.4630
700	88.50	11.299	3899.7	3457.1	7.5117
720	90.44	11.056	3946.8	3494.5	7.5596
740	92.38	10.825	3994.0	3532.1	7.6067
760	94.31	10.604	4041.5	3570.0	7.6531

Sumber : <https://themopedia.com/content/1150/>

**Lampiran 7. Tabel Data Commissioning dan operasional PLTGU Bulan Juni dan Desember 2022**

ITEM	SATUAN	Commi ssioning	Operational				
			Desember 2022				
		01 Juni 2021	20	21	22	23	26
KWG	MW	45	45	45	45	45	45
$\dot{m}_G$	kg/s	7,49	9,45	8,64	8,81	8,67	9,65
LHV	kJ/kg	50005,79	50005,79	50005,79	50005,79	50005,79	50005,79
<b>HRSG</b>							
<b>High Pressure (HP) HRSG</b>							
$\dot{m}_{HP}$	kg/s	69,76	94,75	81,36	84,53	93,67	96,83
$P_{HP}$	Bar	75,64	71,9	72,4	73,4	53,7	52,07
$T_{HP}$	°C	530,4	525	528	530	515	517
<b>Low Pressure (LP) HRSG</b>							
$\dot{m}_{LP}$	kg/s	8,76	10,05	9,15	10,55	9,85	9,76
$P_{LP}$	Bar	6,49	6,06	6,14	6,1	5,59	5,43
$T_1$	°C	52	51	54	53	55	57
$T_{LP}$	°C	273.35	268.7	270.4	271.3	306	310

Lampiran 8. Tabel Data operasional PLTGU Bulan Agustus 2024

BLOCK											
URAIAN		GT (GAS TURBINE)			HP (HIGH PRESSURE)			LP (LOW PRESSURE)			CONDENSOR
TANGGAL	WAKTU	GT KW	MFG kg/s	LHV kJ/kg	PHP Bar	MHP kg/s	THP °c	PLP Bar	MLP kg/s	TLP °c	T1 °c
01 AGT 2024	1:00	29860	9.7	50005.7	71.5	55	531.00	5	3	274	47.4
	9:00	34860	9.7	50005.7	71.6	60	534.00	5.4	3.1	276	49.7
	17:00	30000	9.69	50005.7	71.5	56	531.00	5	2.9	274	49.2
2 AGT 2024	1:00	35000	11.59	50005.7	71.6	61.2	532.90	5.4	3.1	269.5	48.9
	9:00	40000	9.72	50005.7	71.4	66.4	532.00	4.9	2.9	269	50.2
	17:00	30000	10.46	50005.7	71.5	56.3	535.00	5	3	268	47.5
3 AGT 2024	1:00	29900	9.67	50005.7	71.5	55.6	535.60	4.96	2.95	268.9	48
	9:00	31100	9.74	50005.7	71.64	57.41	532.00	5.16	2.96	269	48.7
	17:00	20100	9.7	50005.7	71.7	50.11	532.00	5.7	3.3	269	48.74
4 AGT 2024	1:00	40000	10.51	50005.7	71.7	66.3	533.00	5.6	3.1	276	49.5
	9:00	30000	9.74	50005.7	71.5	56.7	531.00	5	3	275	47.4
	17:00	30000	10.51	50005.7	71.5	56.7	531.00	4.9	2.9	275	47.4
5 AGT 2024	1:00	30000	9.71	50005.7	71.5	57.1	533.00	5	2.9	275	48.2
	9:00	44500	10.45	50005.7	71	63.09	532.00	5.86	3.28	276	50.8
	17:00	30000	9.73	50005.7	71.8	55.5	530.30	6.2	3.5	276.5	48.3
6 AGT 2024	1:00	30000	9.68	50005.7	71.5	54.7	534.00	5	2.9	274	47.4
	9:00	40000	9.74	50005.7	71.5	60.8	530.00	5.1	2.9	275	49.5
	17:00	39900	115.8	50005.7	71.9	59.4	531.90	6.4	3.5	276.9	50.5
7 AGT 2024	1:00	34500	105.1	50005.7	71	53.77	531.00	5.66	3.28	276	49.4
	9:00	35000	97.4	50005.7	71.7	58.3	534.00	5.4	3	276	51.8
	17:00	45200	104.9	50005.7	71.9	64.37	532.40	6.3	3.5	276.9	49.5
8 AGT 2024	1:00	34900	105.2	50005.7	71.6	56.3	532.00	5.5	3.1	276	49
	9:00	40200	96.8	50005.7	71.5	61.7	531.00	5.1	2.9	275	50
	17:00	39800	115.8	50005.7	71.8	59.2	534.00	6.3	3.4	277	51.4
9 AGT 2024	1:00	35200	104.7	50005.7	71	57.82	534.00	5.93	3.33	275	49.7
	9:00	39900	97.3	50005.7	71.5	60.7	533.50	4.98	2.96	275.1	51
	17:00	37100	11.55	50005.7	71.7	58.7	534.00	5.9	3.2	275	51.3
10 AGT 2024	1:00	35000	10.47	50005.7	71.6	56.3	531.00	5.4	3.1	275	49
	9:00	35000	11.59	50005.7	71.7	57.7	532.90	5.7	3.3	275.9	50.5
	17:00	30000	9.7	50005.7	71.4	55.6	531.00	4.9	2.9	273	47.1
11 AGT 2024	1:00	29700	9.7	50005.7	71.5	53.72	531.00	4.9	2.9	274	47.7
	9:00	30000	9.7	50005.7	71.5	57.6	533.80	4.9	3	274.4	46.7
	17:00	30000	9.7	50005.7	71.52	56.69	532.00	4.95	2.97	274	47.9
12 AGT 2024	1:00	30000	9.7	50005.7	71.5	56.7	531.00	4.9	2.9	275	47.6
	9:00	44200	9.71	50005.7	71.7	63.8	532.00	6.1	3.3	276	51.6
	17:00	30200	9.68	50005.7	71.6	56.8	531.00	5.5	3.3	274	48.8
13 AGT 2024	1:00	30000	9.68	50005.7	71.5	55.6	533.00	5	3	274	47.5
	9:00	44700	9.71	50005.7	71.8	62.4	530.00	6.3	3.5	276	51.5
	17:00	29800	10.46	50005.7	71	53.72	535.00	5.89	3.33	275	49.2
14 AGT 2024	1:00	35000	10.46	50005.7	71.6	55.3	533.00	5.4	3.1	276	48.8
	9:00	35000	10.49	50005.7	71.6	57.3	533.00	5.3	3	276	49.7
	17:00	35000	10.44	50005.7	71.6	56.3	530.00	5.3	3.1	275	48.5
15 AGT 2024	1:00	35100	10.46	50005.7	71.6	56.3	530.90	5.4	3.1	275.7	48.6
	9:00	44600	10.49	50005.7	71.8	62.8	533.00	5.8	3.2	276	51.8
	17:00	35000	10.5	50005.7	71.8	58.4	531.00	6.1	3.5	275	49.7
16 AGT 2024	1:00	35000	10.46	50005.7	71.6	56.9	534.00	5.3	3	276	48.9
	9:00	35000	10.49	50005.7	71	56.77	532.00	5.6	3.27	275	50.2
	17:00	35000	10.5	50005.7	71.8	55.8	533.00	6	3.3	275	50

BLOCK											
URAIAN		GT (GAS TURBINE)			HP (HIGH PRESSURE)			LP (LOW PRESSURE)			CONDENSOR
TANGGAL	WAKTU	GT KW	MFG kg/s	LHV kJ/kg	PHP Bar	MHP kg/s	THP °C	PLP Bar	MLP kg/s	TLP °C	T1 °C
17 AGT 2024	1:00	34900	10.49	50005.79	71.6	54.3	533.00	5.3	3	276	48.9
	9:00	31800	9.71	50005.79	71.5	53.7	532.00	5.1	3	275	49.1
	17:00	32100	10.47	50005.79	71.7	56.7	532.20	5.6	3.2	276.5	48.5
18 AGT 2024	1:00	37000	12.69	50005.79	71.8	53.2	531.00	6.2	3.5	276	51.5
	9:00	41900	11.54	50005.79	71.7	60.8	530.00	6	3.3	276	51.1
	17:00	32100	9.69	50005.79	71.5	52.7	529.80	5	2.95	275.6	48.1
19 AGT 2024	1:00	30000	9.71	50005.79	71.5	53.5	531.00	5	3	275	47.6
	9:00	44500	10.49	50005.79	71.7	63.8	534.00	5.9	3.3	276	52.3
	17:00	40000	11.58	50005.79	71.7	59.9	523.70	6.1	3.4	275.3	51.4
20 AGT 2024	1:00	37000	10.48	50005.79	71	57.36	531.00	5.49	3.1	276	49.8
	9:00	40100	10.48	50005.79	71.7	61.9	533.00	5.8	3.3	277	50.6
	17:00	30000	10.46	50005.79	71.4	55.6	535.00	4.9	2.9	273	47.4
21 AGT 2024	1:00	30000	10.48	50005.79	71.5	53.3	531.00	5.2	3.1	275	48.1
	9:00	34900	9.71	50005.79	71.6	55.4	533.00	5.4	3.1	275.9	49.4
	17:00	40000	9.74	50005.79	71.6	60.2	533.00	5.6	3.1	275	49.6
22 AGT 2024	1:00	34900	10.48	50005.79	71.6	54.4	530.00	5.5	3.1	276	48.7
	9:00	30000	10.51	50005.79	71.5	56.4	534.00	5.2	3.1	275	48.7
	17:00	34800	9.68	50005.79	7.7	57.8	530.00	6	3.3	275	50.2
23 AGT 2024	1:00	30000	9.74	50005.79	71.5	55.8	530.00	4.95	2.9	275	48.8
	9:00	45000	9.74	50005.79	71.6	64.3	533.80	5.4	3.1	267.8	52.1
	17:00	30000	10.49	50005.79	71	57.41	531.00	6.13	3.48	275	49.3
24 AGT 2024	1:00	34900	10.46	50005.79	71.6	55.2	532.00	5.4	3.1	275	49.3
	9:00	35000	10.48	50005.79	71.5	56.3	530.00	5.3	3.1	274	48.1
	17:00	35100	9.7	50005.79	71.5	56.7	531.00	4.9	2.9	275	48.3
25 AGT 2024	1:00	35000	10.49	50005.79	71.6	56.3	531.00	5.5	2.9	269	48.8
	9:00	35000	9.67	50005.79	71.4	57.7	532.00	4.9	2.9	274	48.6
	17:00	35000	10.44	50005.79	71.64	56.34	529.00	5.36	3.08	275	49
26 AGT 2024	1:00	29800	10.51	50005.79	71.6	52.4	531.10	5.4	3.1	276.2	48.1
	9:00	34900	10.47	50005.79	71.6	54.8	528.00	5.6	3.2	276	49.6
	17:00	34900	10.41	50005.79	71.9	57.3	530.00	6.1	3.5	276	50
27 AGT 2024	1:00	34900	10.51	50005.79	71.6	55.3	533.20	5.4	3.1	276	49.6
	9:00	35000	10.47	50005.79	71.6	56.3	532.00	5.3	3.1	275	48.6
	17:00	34700	10.5	50005.79	71.8	54.3	530.00	6.3	3.5	276	51
28 AGT 2024	1:00	35000	10.46	50005.79	71.6	55.2	531.00	5.3	3	276	49.6
	9:00	35000	10.47	50005.79	71.64	56.35	531.00	5.4	3.11	275	49.8
	17:00	30000	10.47	50005.79	71.8	53.2	531.00	6.1	3.5	276	49
29 AGT 2024	1:00	30100	10.47	50005.79	71.5	52.2	530.00	5.1	3	275	48
	9:00	40000	10.48	50005.79	71.8	62.5	533.00	5.4	3.1	277	51.6
	17:00	34500	9.69	50005.79	71.9	56.3	532.90	6.4	3.5	277.1	49.9
30 AGT 2024	1:00	35000	10.48	50005.79	71.6	57.2	531.00	5.3	3	276	49
	9:00	40100	10.47	50005.79	71.6	61.3	533.00	5.3	3.1	275	51.2
	17:00	30100	9.7	50005.79	71.7	55.7	532.20	5.7	3.3	275.7	49.6
31 AGT 2024	1:00	35000	10.47	50005.79	71.7	58.7	530.00	5.6	3.3	275	49.6
	9:00	35000	10.49	50005.79	71.9	57.4	530.00	6.3	3.4	276	51.1
	17:00	35000	10.5	50005.79	71.7	57.7	534.10	5.7	3.3	275.7	49.7

Lampiran 9. Tabel Hasil Perhitungan Efisiensi HRSG dan LP saat *commissioning* dan setelah *commissioning* Bulan Juni dan Desember 2022

Tanggal	P <sub>1</sub> Bar	h <sub>1</sub> kJ/kg	h <sub>2</sub> kJ/kg	h <sub>LP</sub> kJ/kg	h <sub>HP</sub> kJ/kg
01 Juni 2021	0,1378	217,68	218,32	3008,56	3451,56
20 Des 2022	0,1317	213,50	214,10	2998,92	3437,92
21 Des 2022	0,1501	226,03	226,63	3002,43	3445,5
22 Des 2022	0,1440	221,85	222,46	3004,3	3450,55
23 Des 2022	0,1583	230,22	230,77	3076,16	3468,85
26 Des 2022	0,1747	238,60	239,13	3084,40	3473,51
WAKTU	Q <sub>out</sub> HRSG (MW)	Q <sub>in</sub> HRSG (MW)	Q <sub>out</sub> LP HRSG (MW)	η <sub>HRSG</sub> (%)	η <sub>LP HRSG</sub> (%)
01 Juni 2021	249,992	321,635	24,442	77,25	7,59
20 Des 2022	334,644	418,029	27,987	79,76	8,70
21 Des 2022	287,284	378,193	25,398	75,96	6,71
22 Des 2022	302,218	386,554	29,384	78,18	7,59
23 Des 2022	331,337	437,702	28,027	75,69	6,40
26 Des 2022	340,954	427,866	27,769	79,68	6,49

ITEM	<i>Comm iss ioning</i>		<i>Operational</i>			
	01 Juni 2021	20 Des 2022	21 Des 2022	22 Des 2022	23 Des 2022	26 Des 2023
Efisiensi HRSG (%)	77,25	79,76	75,96	78,18	75,69	79,68
Efisiensi LP HRSG (%)	7,59	8,7	6,71	7,59	6,40	6,49

**Lampiran 10. Tabel Hasil Perhitungan Efisiensi HRSG dan LP Buan  
Agustus 2024**

URAIAN		BLOCK									
TANGGAL	WAKTU	P1(kPa)	I1 (kJ/kg)	I2 (kJ/kg)	NP (kJ/kg)	NPP (kJ/kg)	QoutHRSG (MW)	Qin (MM)	ηHSG (%)	Qout LP (MW)	ηLP hrsng (%)
1 AGT 2024	1:00	11.20234	1984442	198.93841	3009.92	3453.075	187.4104572	445.7209774	42.0465872	8.432944768	1.891978456
	9:00	14.53304	2080543	208.58609	3014.08	3460.65	203.8208653	440.6364774	46.2560133	8.697031101	1.973742903
	17:00	13.53648	20596514	206.457363	3009.92	3453.075	189.9406292	445.0867992	42.6749633	8.130041643	1.826619359
2 AGT 2024	1:00	13.03266	204.7111	205.24502	3000.57	3457.8725	207.726309	533.445619	38.9404844	8.665507428	1.624400641
	9:00	15.79302	210.14344	210.62348	2999.54	3455.6	223.5542986	436.393221	51.2277204	8.0878579	1.853341786
	17:00	11.29801	19886204	199.35614	2997.48	3463.175	192.1473732	482.955934	39.7856844	8.394371558	1.738123704
3 AGT 2024	1:00	11.82434	2009512	201.44082	2999.334	3464.69	189.6904889	444.204877	42.7033672	8.253784863	1.858103168
	9:00	12.72856	20387604	204.38510	2999.54	3458.125	195.0708659	446.427244	43.6900039	8.27365849	1.853305012
	17:00	11.82434	2009512	201.51565	2999.54	3455.6	172.2956469	455.6459187	37.8134953	8.206443324	1.0726459584
4 AGT 2024	1:00	14.10774	2072186	207.77105	3014.08	3458.125	224.1980242	475.2459687	47.175155	8.699557727	1.830537931
	9:00	11.20234	1984442	198.93841	3012	3453.075	192.9487294	447.545834	43.112618	8.439184768	1.885658211
	17:00	11.20234	1984442	198.92830	3012	3453.075	192.680258	485.4149667	39.6914059	8.157907927	1.680604936
5 AGT 2024	1:00	12.06039	2017868	202.28033	3012	3458.125	194.0569173	446.070413	43.5036513	8.148187025	1.826659376
	9:00	17.82752	2126504	213.22573	3014.08	3455.6	213.7481944	467.719077	45.7001233	9.186801992	1.964170879
	17:00	12.18459	2022047	202.81942	3015.12	3451.3075	190.1341043	447.054022	42.530461	9.843052023	2.201758943
6 AGT 2024	1:00	11.20234	1984442	198.93841	3009.92	3460.65	186.5674705	444.594994	41.9634665	8.151846609	1.833544405
	9:00	14.10774	2072186	207.72046	3012	3450.55	205.2964466	437.376834	46.938116	8.13240166	1.859360173
	17:00	16.72265	21139693	212.02794	3015.952	3455.3475	202.4669155	565.358298	3.58121418	9.811374178	0.17358431
7 AGT 2024	1:00	13.90901	2068008	207.35947	3014.08	3453.075	183.7281672	513.2.84081	3.57946358	9.206043329	1.0726459584
	9:00	23.70362	2168287	217.35175	3014.08	3460.65	197.4744725	475.3.64104	4.1541730	8.390184737	0.176500176
	17:00	14.10774	2072186	207.84188	3015.952	3456.61	218.9515888	511.2.12384	4.2829875	9.828385394	0.192256403
8 AGT 2024	1:00	13.19386	205.1295	205.67258	3014.08	3455.6	191.6769762	513.7.35213	3.7310461	8.706062979	1.689465958
	9:00	15.25107	2093078	209.80856	3012	3453.075	208.2358939	471.8.84477	4.4128575	8.126335149	0.172210692
	17:00	20.8077	215.15744	215.77441	3016.16	3460.65	201.6179454	565.3.68466	3.66613354	9.521310978	0.168408095
9 AGT 2024	1:00	14.53304	2080543	208.11284	3012	3460.65	197.3986428	511.2.4567	3.86113089	9.33694424	0.182631263
	9:00	18.68759	2134861	213.9714	3012.208	3459.3875	205.2795331	474.3.74013	4.32737729	8.282780128	0.174604424
	17:00	20.21804	214.7396	215.31664	3012	3460.65	199.4504545	529.342903	37.6788753	8.949386728	1.690659629
10 AGT 2024	1:00	13.19386	205.1295	205.66247	3012	3453.075	191.5289716	478.363241	40.0383966	8.699466335	1.818627685
	9:00	16.72265	21139693	211.95708	3013.872	3457.8725	196.5356387	533.445619	36.8426756	9.24631927	1.73331928
	17:00	10.93201	19719074	197.67499	3007.84	3453.075	189.1497186	445.578608	42.450359	8.149478503	1.828965392
11 AGT 2024	1:00	11.49849	1996977	200.18153	3009.92	3453.075	182.8936785	445.883678	41.018249	8.148241551	1.827463613
	9:00	10.60621	1955194	196.00392	3010.752	3460.145	196.4587702	445.578608	44.090709	8.444244228	1.895118865
	17:00	11.71215	200.5338	201.02207	3009.92	3455.6	192.8444493	445.578608	43.2795579	8.342426831	1.872268263
12 AGT 2024	1:00	11.39668	1992799	199.76376	3012	3453.075	192.6182321	445.578608	43.228788	8.155485083	1.830313432
	9:00	22.13384	215.59931	216.58853	3014.08	3455.6	215.8806533	431.630433	50.0151609	9.231721833	2.138802346
	17:00	12.87768	204.42938	204.8374	3009.92	3453.075	193.7566803	444.391611	43.6004359	9.25677324	0.083001546
13 AGT 2024	1:00	11.29801	19886204	199.35614	3009.92	3458.125	189.61924	444.594994	42.649882	8.431691568	1.8964882
	9:00	21.44382	215.5752	216.19163	3014.08	3450.55	211.6165714	431.12198	49.085080	9.792609285	2.271424252
	17:00	13.53648	20596514	206.54740	3012	3463.175	184.288193	483.159314	38.142324	9.342157127	1.933556252
14 AGT 2024	1:00	12.87768	204.42938	204.82708	3014.08	3458.125	188.6160588	477.871434	39.4700424	8.708684038	1.822390588
	9:00	14.53304	2080543	208.57597	3014.08	3458.125	194.6156711	479.346885	40.6001769	8.41651207	1.755829204
	17:00	12.58499	2034582	203.98155	3012	3450.55	191.4866605	476.88782	40.153972	8.704857171	1.825346927
15 AGT 2024	1:00	12.58499	2034582	203.99167	3013.456	3452.8225	191.618515	477.769744	40.106875	8.709339415	1.821951546
	9:00	23.70362	2168287	217.39277	3014.08	3458.125	212.467416	469.584615	45.2458214	8.949400728	1.905812168
	17:00	14.53304	2080543	208.65693	3012	3453.075	199.2857158	479.838664	41.5318172	9.81170073	2.044791616
16 AGT 2024	1:00	13.03266	204.7111	205.24566	3014.08	3460.65	193.6596685	477.871434	40.525479	8.426536004	1.765347922
	9:00	15.79302	210.14344	210.69433	3012	3455.6	193.373564	479.346885	40.34105	9.160269518	1.91098803
	17:00	15.25107	2093078	209.89955	3012	3458.125	190.4990502	479.838664	39.700407	9.246931125	1.927091721

URAIAN		BLOCK									
TANGGAL	WAKTU	P1(KPa)	h1 (kj/kg)	h2 (kj/kg)	hLP (kj/kg)	hHP (kj/kg)	QoutHRSG (MW)	Qin (MW)	nhrsg (%)	Qout LP(MW)	nLP hrsg (%)
17 Agt 2024	1:00	13.03266	204.7117	205.234669	3014.08	3458.129	185.0584812	479.44854	38.598194	8.426536004	1.757547518
	9:00	13.36166	205.54736	206.049829	3012	3455.6	182.9186947	444.23999	41.175647	8.417850514	1.894888043
	17:00	12.44665	203.04038	203.594187	3015.12	3456.109	193.4142457	481.31225	40.18475	8.99688260	1.869240307
18 Agt 2024	1:00	21.44382	215.57528	216.181509	3014.08	3453.075	181.9953787	585.51058	31.083194	9.792644473	1.672496625
	9:00	19.16233	213.90396	214.492129	3014.08	3450.55	205.9909585	523.969974	39.313304	9.238639979	1.763200265
	17:00	11.94034	201.36906	201.862609	3013.248	3450.045	179.4727991	444.951309	40.517500	8.293586914	1.673473707
19 Agt 2024	1:00	11.39668	199.27991	199.773899	3012	3453.075	182.4882874	446.070413	40.91079	8.436678811	1.891333331
	9:00	29.26025	218.91792	219.486058	3014.08	3460.65	216.0084195	469.686309	45.98993	9.222126001	1.963472197
	17:00	20.8072	215.15745	215.754163	3012.624	3434.642	202.3207688	527.869311	38.327814	9.509357446	1.801460557
20 Agt 2024	1:00	14.76094	208.47217	209.012828	3014.08	3453.075	194.7751144	476.821248	40.84866	8.695708233	1.82368304
	9:00	17.06917	211.81481	212.384714	3016.16	3458.129	210.1637821	473.668858	44.369347	9.252458443	1.953360092
	17:00	11.20234	198.44429	198.928303	3007.84	3463.179	189.6379604	482.955934	39.266300	8.145843922	1.686664011
21 Agt 2024	1:00	11.94034	201.36906	201.88283	3012	3453.075	181.9999059	483.93954	37.60798	8.711363226	1.80003268
	9:00	13.90901	206.80085	207.333169	3013.872	3458.129	188.794138	441.087603	42.801959	8.700270388	1.972458605
	17:00	14.31554	207.63651	208.188701	3012	3458.129	204.3379802	432.37683	46.718976	8.691815022	1.987260035
22 Agt 2024	1:00	12.72856	203.87604	204.419496	3014.08	3450.55	185.299447	478.956738	38.68818	8.709947562	1.818524904
	9:00	12.72856	203.87604	204.389151	3012	3460.65	192.3567055	485.414969	39.627721	8.703593663	1.793021629
	17:00	15.79302	210.14349	210.734825	3012	3450.55	196.5054922	437.11387	44.689400	9.244117507	1.203215996
23 Agt 2024	1:00	12.87768	204.29387	204.781564	3012	3450.55	189.2548122	447.545834	42.28724	8.140933463	1.81901617
	9:00	26.88348	218.08226	218.60629	2997.068	3460.145	217.0444393	432.292334	50.20792	8.613243671	1.99245811
	17:00	13.71877	206.38302	206.989364	3012	3453.075	196.1192134	484.43135	40.48447	9.761437014	2.015029976
24 Agt 2024	1:00	13.71877	206.38302	206.915503	3012	3455.6	188.0231461	477.973124	39.337598	8.695761993	1.819299335
	9:00	11.94034	201.36906	201.892943	3009.92	3450.55	191.6042762	478.855048	40.013001	8.704883878	1.817853631
	17:00	12.18459	202.20472	202.687949	3012	3453.075	192.4439507	440.392411	43.69828	8.174004948	1.849942153
25 Agt 2024	1:00	12.87768	204.29387	204.8372	2999.54	3453.075	190.9804263	479.34685	39.841802	8.10463812	1.690766933
	9:00	12.58499	203.45821	203.941099	3009.92	3455.6	195.7580574	431.018668	44.589914	8.137338812	1.853529037
	17:00	13.19386	205.12953	205.658428	3012	3448.029	191.3184648	476.8878	40.118127	8.64353204	1.812487483
26 Agt 2024	1:00	11.94034	201.36906	201.903059	3014.496	3453.327	179.093679	485.61834	36.87951	8.719038123	1.795450718
	9:00	14.31554	207.63651	208.188701	3014.08	3445.5	186.3835114	478.46493	38.95447	8.97885215	1.876595666
	17:00	15.25107	209.30783	209.90978	3014.08	3450.55	195.5032804	475.51408	41.11408	9.81459577	2.063996838
27 Agt 2024	1:00	14.31554	207.63651	208.168462	3014.08	3458.63	188.4488488	480.432159	39.22481	8.69832576	1.810521133
	9:00	12.58499	203.45821	203.981558	3012	3455.6	191.7709755	478.36324	40.08898	8.709485717	1.81971699
	17:00	18.68756	213.48613	214.10513	3014.08	3450.55	185.5388685	480.14373	38.64239	9.79991204	2.041037172
28 Agt 2024	1:00	14.31554	207.63651	208.15834	3014.08	3453.075	187.5371644	477.87143	39.24427	8.41776497	1.761512484
	9:00	14.76094	208.47217	209.00372	3012	3453.075	191.5207351	478.36324	40.036674	8.71731843	1.822321968
	17:00	13.19386	205.12953	205.733288	3014.08	3453.075	182.5877926	483.44774	37.767844	8.82921349	2.03314912
29 Agt 2024	1:00	11.82434	200.95123	201.454983	3012	3450.55	178.034395	483.34605	36.83373	8.431635052	1.744430317
	9:00	22.13386	215.99311	216.517639	3016.16	3458.129	211.2793516	473.77054	44.59520	8.67889133	1.831876499
	17:00	15	208.89	209.522539	3016.368	3457.872	192.7060619	440.51074	43.74602	8.92359511	2.23012926
30 Agt 2024	1:00	13.19386	205.12953	205.652356	3014.08	3453.075	194.1778582	478.85504	40.55046	8.42528293	1.759464157
	9:00	19.67122	214.32179	214.838584	3012	3458.129	207.4846577	473.17705	43.84926	8.67120038	1.832548804
	17:00	14.31554	207.63651	208.19882	3013.456	3456.109	190.1657229	445.476914	42.68810	9.25734869	2.078075957
31 Agt 2024	1:00	14.31554	207.63651	208.188701	3012	3450.55	199.5791855	478.36324	41.72182	9.25257728	1.934215779
	9:00	19.16233	213.90396	214.522508	3014.08	3450.55	195.2664735	479.34685	40.73593	9.518495474	1.9857219
	17:00	14.53304	208.05434	208.616458	3013.456	3460.902	196.9128753	479.83866	41.037309	9.25597049	1.928975556