

**EVALUASI EFISIENSI *STEAM TURBINE GENERATOR*  
051G103 DI *UTILITIES* 05 PT. KILANG PERTAMINA  
INTERNASIONAL *REFINERY UNIT IV* CILACAP**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT  
MEMPEROLEH GELAR S1 PADA PRODI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS  
TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG



**DISUSUN OLEH :**

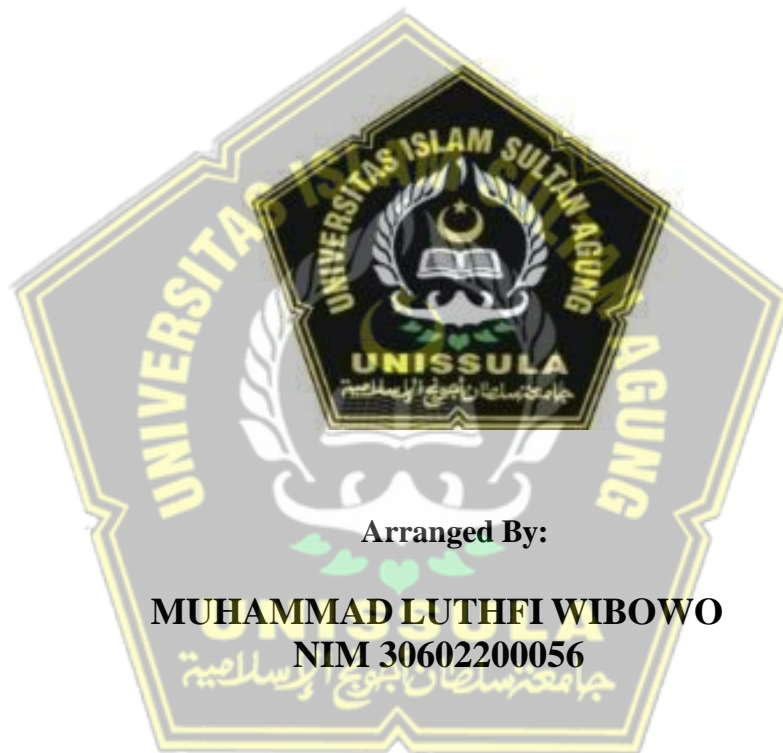
**MUHAMMAD LUTHFI WIBOWO  
NIM 30602200056**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG  
OKTOBER 2025**

## ***FINAL PROJECT***

# ***EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF STEAM TURBINE GENERATOR 051G103 AT UTILITIES 05 PT. KILANG PERTAMINA INTERNATIONAL REFINERY UNIT IV CILACAP***

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1)  
at Departement of Industrial Engineering, Faculty of Industrial  
Technology, Universitas Islam Sultan Agung*



**Arranged By:**

**MUHAMMAD LUTHEI WIBOWO**  
**NIM 30602200056**

**MAJORING OF ELECTICAL ENGINEERING  
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG  
OKTOBER 2025**

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul **“EVALUASI EFISIENSI STEAM TURBINE GENERATOR 051G103 DI UTILITIES 05 PT. KILANG, PERTAMINA INTERNASIONAL REFINERY UNIT IV CILACAP”** ini disusun oleh:

Nama : Muhammad Luthfi Wibowo

NIM 30602200056


Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Kamis

Tanggal : 11 September 2025

Pembimbing I

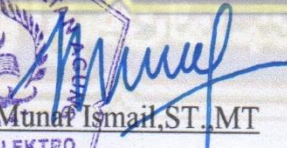
  
Dr. Gunawan, S.T., M.T

NIDN. 0607117101

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro



  
Munaf Ismail, ST., MT

TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNISULA

NIDN. 0613127302



## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**EVALUASI EFISIENSI STEAM TURBINE GENERATOR 051G103 DI UTILITIES 05 PT. KILANG PERTAMINA INTERNASIONAL REFINERY UNIT IV CILACAP**” ini telah dipertahankan didepan dosen penguji sidang Tugas Akhir pada :

Hari : Senin

Tanggal : 13 Oktober 2025

### TIM PENGUJI

Penguji II

Penguji III

Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.  
NIDN. 0607018501

Dr. Gunawan, S.T., M.T  
NIDN. 0607117101

Ketua Penguji

Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo, M.T.

NIDN.0619076401



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini adalah :

Nama : Muhammad Luthfi Wibowo  
NIM : 30602200056  
Judul Tugas Akhir : EVALUASI EFISIENSI *STEAM TURBINE*  
*GENERATOR 051G103 DI UTILITIES 05 PT.*  
*KILANG PERTAMINA INTERNASIONAL*  
*REFINERY UNIT IV CILACAP*

Dengan bahwa ini saya menyatakan bahwa judul da isi Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (SI) Teknik Elektro tersebut adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan oleh siapapun baik keseluruhan maupun sebagian, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka, dan apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa judul Tugas Akhir tersebut pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 13 Oktober 2025

Yang menyatakan,



The image shows a handwritten signature in black ink over a yellow 1000 Rupiah postage stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'METERAI TEMPEL' and '413BAANX061218813'.

Muhammad Luthfi Wibowo

## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Luthfi Wibowo

NIM : 30602200056

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul : **EVALUASI EFISIENSI STEAM TURBINE GENERATOR 051G103 DI UTILITIES 05 PT. KILANG PERTAMINA INTERNASIONAL REFINERY UNIT IV CILACAP**

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan diinternet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiatisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan agung.



Semarang, 13 Oktober 2025

Yang menyatakan,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Luthfi', is written over a horizontal line.

Muhammad Luthfi Wibowo

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Pertama,

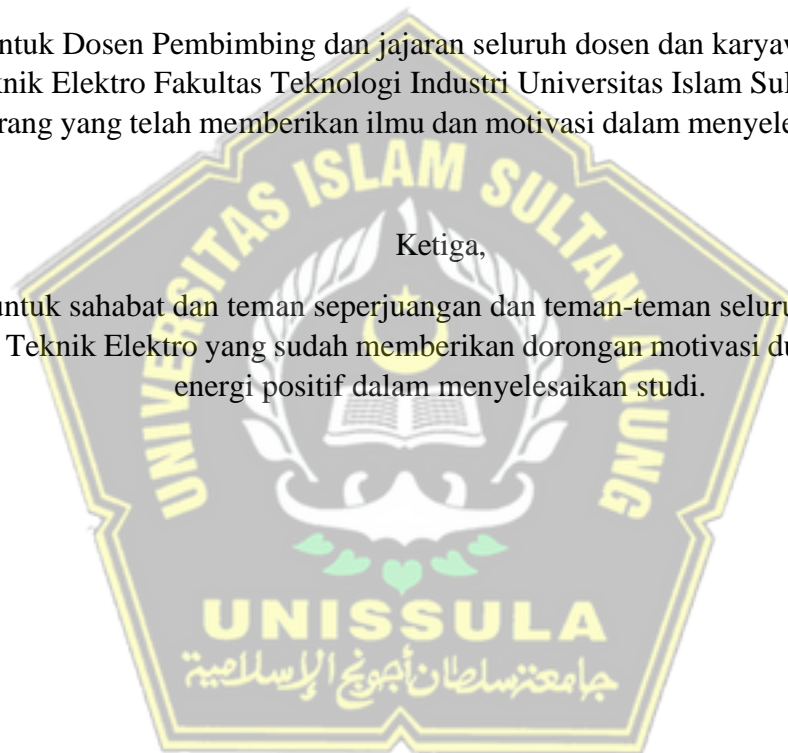
Teruntuk orang tua saya terimakasih untuk motivasi, nasihat serta doa.  
Terimakasih banyak untuk pemberian semangat sehingga saya bisa menuntaskan program studi ini.

Kedua,

Teruntuk Dosen Pembimbing dan jajaran seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan ilmu dan motivasi dalam menyelesaikan studi.

Ketiga,

Teruntuk sahabat dan teman seperjuangan dan teman-teman seluruh angkatan 2022 Teknik Elektro yang sudah memberikan dorongan motivasi dukungan dan energi positif dalam menyelesaikan studi.





## HALAMAN MOTTO

### MOTTO :

Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan

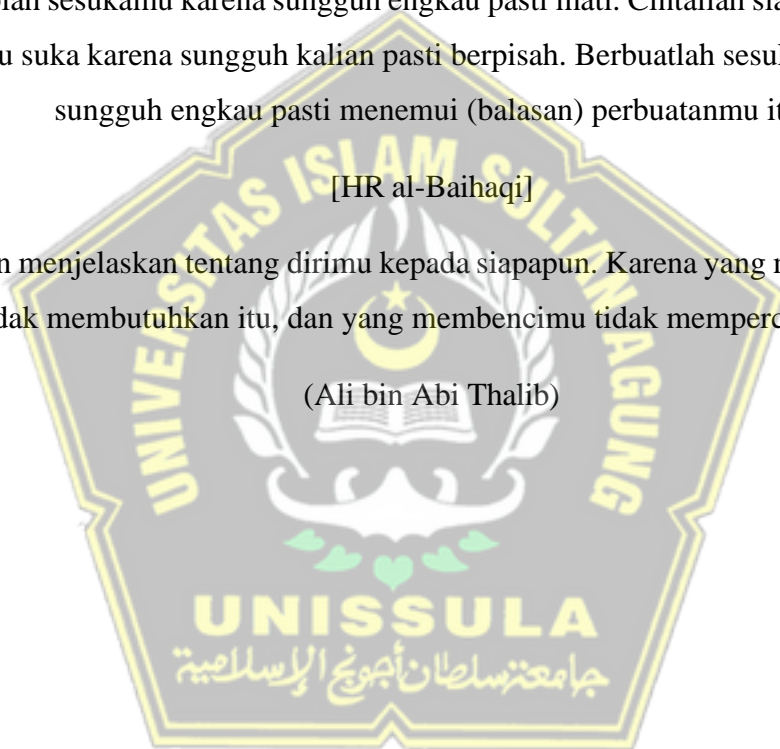
(Qs. Al-Insyirah : 5-6)

Hiduplah sesukamu karena sungguh engkau pasti mati. Cintailah siapa pun yang engkau suka karena sungguh kalian pasti berpisah. Berbuatlah sesukamu karena sungguh engkau pasti menemui (balasan) perbuatanmu itu.

[HR al-Baihaqi]

Jangan menjelaskan tentang dirimu kepada siapapun. Karena yang menyukaimu tidak membutuhkan itu, dan yang membencimu tidak mempercayai itu.

(Ali bin Abi Thalib)





## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Alhamdulillah rabbil 'Alamin segala puji dan puja syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan rahmatnya sehingga kita diberikan kemudahan dan kesempatan untuk menyelesaikan penelitian dan laporan Tugas Akhir saya dengan lancar dan baik. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada nabi besar kita, Nabi Muhammad SAW, utusan Allah SWT yang membawa cahaya petunjuk kepada semua umat manusia dan semoga kita kelak menerima syafaat beliau. Aamiin Ya rabbal'alamin.

Penyusunan laporan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat mahasiswa/i Jurusan Teknik Elektro Fakultas teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang untuk mendapatkan gelar Sarjana. Dalam proses penulisan Tugas Akhir ini tentunya telah diusahakan semaksimal mungkin, dan tentunya banyak pihak yang memberikan bantuan baik moril maupun materil. Untuk itu penulis menyampaikan ucapan banyak terimakasih setulus hati kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, SH., MH. selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Dr. Ir. Hj. Novi Marlyana, ST., MT. sebagai Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Munaf Ismail, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Bapak Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT., IPM. selaku dosen wali Teknik Elektro kelas mitra 2022 yang telah memberikan arahan selama menempuh studi.
5. Bapak Dr. Gunawan, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, arahan, dukungan, serta dengan sabar membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen, Tenaga Pendidik dan karyawan Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan, dan dukungan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Orang tua saya beserta segenap keluarga yang saya cintai, yang telah memberikan dukungan baik materil maupun non materil serta senantiasa memberikan doa, semangat, perhatian, kesabaran, dan kasih sayang yang tiada hentinya kepada penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
8. PT Kilang Pertamina International yang telah memberikan kesempatan penulis untuk menimba ilmu, mengambil data penelitian sekaligus mencari rejeki
9. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro kelas mitra 2022 baik yang lintas D-III polines ataupun yang langsung atas segala bantuan dan dukungannya kepada penulis.

Penulis juga menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini mempuyai banyak sekali kekurangan, baik dari segi materi maupun penyajiannya. Penulis mohon maaf dan mohon kritik beserta saran yang membangun dari berbagai disiplin ilmu agar laporan ini dapat lebih baik dan kompleks di masa yang akan datang. Akhir kata, penulis berharap semoga laporan ini membawa manfaat bagi para pembaca khususnya penulis, dan dapat menambah wawasan.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullah Wabarakatuh

Semarang, 13 Oktober 2025

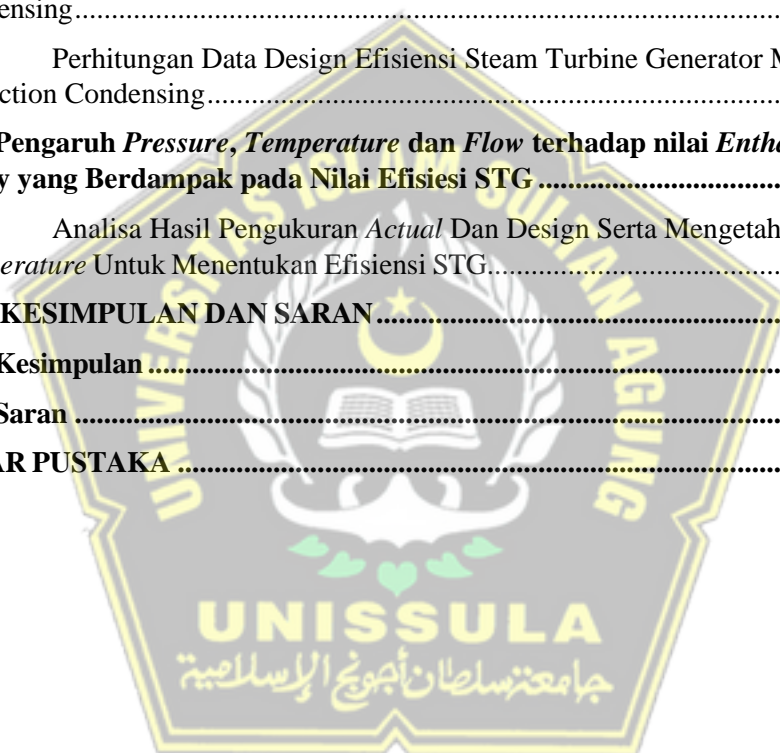
Muhammad Luthfi Wibowo



## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING .....                 | ii   |
| LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....                     | iii  |
| SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....        | iv   |
| PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH..... | v    |
| HALAMAN PERSEMBAHAN .....                          | vi   |
| HALAMAN MOTTO.....                                 | vii  |
| KATA PENGANTAR .....                               | viii |
| DAFTAR ISI .....                                   | x    |
| DAFTAR GAMBAR .....                                | xii  |
| Daftar Tabel.....                                  | xiii |
| ABSTRAK .....                                      | xiv  |
| ABSTRACT .....                                     | xv   |
| BAB I PENDAHULUAN .....                            | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....                           | 1    |
| 1.2 Perumusan Masalah.....                         | 3    |
| 1.3 Pembatasan Masalah .....                       | 3    |
| 1.4 Tujuan Penelitian .....                        | 4    |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....                       | 4    |
| 1.6 Sistematika Penulisan Penelitian.....          | 5    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....    | 6    |
| 2.1 Tinjauan Pustaka .....                         | 6    |
| 2.2 Landasan Teori.....                            | 7    |
| 2.2 Komponen – komponen dalam sistem STG .....     | 9    |
| 2.3.1 Boiler.....                                  | 9    |
| 2.3.2 Turbin Uap.....                              | 13   |
| 2.3.3 Condensor.....                               | 16   |
| 2.3.4 Boiler feed pump .....                       | 16   |
| 2.3.5 Generator .....                              | 17   |
| 2.3 Siklus Rankine.....                            | 19   |
| BAB III METODE PENELITIAN.....                     | 24   |
| 3.1 Model Penelitian.....                          | 24   |
| 3.2 Objek Penelitian .....                         | 25   |
| 3.3 Data Penelitian.....                           | 26   |

|  |  |           |
|--|--|-----------|
| <b>3.4</b>                               | <b>Diagram alur Penelitian.....</b>  | <b>28</b> |
| <b>3.5</b>                               | <b>Tahapan Penelitian.....</b>   | <b>29</b> |
| 3.5.1                                    | Pemilihan atau Pendekatan untuk Pemecahan Masalah .....  | 29        |
| 3.5.2                                    | Metode Pengambilan Data.....   | 30        |
| <b>3.6</b>                               | <b>Diagram Alir .....</b>  | <b>31</b> |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b> |  | <b>32</b> |
| <b>4.1</b>                               | <b>Hasil pengamatan STG sebelum dilakukan perbaikan.....</b>   | <b>32</b> |
| <b>4.2</b>                               | <b>Hasil pengamatan STG setelah dilakukan perbaikan .....</b>  | <b>33</b> |
| <b>4.3</b>                               | <b>Efisiensi Steam Turbine Generator terhadap Data <i>Design</i>.....</b>  | <b>33</b> |
| 4.3.1                                    | Perhitungan Data Aktual Efisiensi Steam Turbine Generator Mode Extraction Condensing.....  | 34        |
| 4.3.2                                    | Perhitungan Data Design Efisiensi Steam Turbine Generator Mode Extraction Condensing.....  | 41        |
| <b>4.4</b>                               | <b>Pengaruh <i>Pressure, Temperature</i> dan <i>Flow</i> terhadap nilai <i>Enthalpy</i> dan <i>Entropy</i> yang Berdampak pada Nilai Efisiensi STG .....</b> | <b>41</b> |
| 4.4.1                                    | Analisa Hasil Pengukuran <i>Actual</i> Dan <i>Design</i> Serta Mengetahui <i>Pressure, Temperature</i> Untuk Menentukan Efisiensi STG.....                   | 43        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>   |  | <b>46</b> |
| <b>5.1</b>                               | <b>Kesimpulan .....</b>  | <b>46</b> |
| <b>5.2</b>                               | <b>Saran .....</b>   | <b>47</b> |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>              |  | <b>47</b> |





## DAFTAR GAMBAR

|  |        |
|--|--------|
| Gambar 2. 1 Ketel Uap .....  | 11     |
| Gambar 2. 2 Bagian Ketel Uap.....  | 12     |
| Gambar 2. 3 Keterangan Gambar Ketel uap.....   | 12     |
| Gambar 2. 4 Turbin reaksi dan Turbin Impulse .....   | 14     |
| Gambar 2. 5 Skema Sistim Turbin Uap Sederhana .....  | 15     |
| Gambar 2. 6 Condensing and Non-Condensing Turbine Arrangements as to use<br>and Operating Conditions ..... | 15     |
| Gambar 2. 7 jenis condenser .....  | 16     |
| Gambar 2. 8 macam macam motor listrik .....  | 17     |
| Gambar 2. 9 Ekspansi Nyata dan Isentropik pada Turbin T-s .....  | 19     |
| Gambar 2. 10 Skema Turbin Generator .....  | 21     |
| <br>Gambar 3. 1 <i>flow</i> diagram STG.....   | <br>24 |
| Gambar 3. 3 Lokasi PT. Kilang Pertamina Internasional RU IV Cilacap tampak<br>foto satelit.....            | <br>25 |
| Gambar 3. 4 diagram alur penelitian .....  | 28     |
| Gambar 3. 5 Diagram Alir Penelitian.....   | 31     |

## Daftar Tabel

|   |    |
|---|----|
| Tabel 3. 1 Data Operasi Aktual 051G103 sebelum dilakukan perbaikan mode extraction condensing.....  | 26 |
| Tabel 3. 2 Data Operasi Aktual setelah perbaikan 051G103 dengan Mode Extraction Condensing .....  | 26 |
| Tabel 3. 3 Data Operasi Aktual kapasitas daya output dan efisiensi 051G103 dengan Mode Full Condensing .....                                  | 27 |
| Tabel 3. 4 Data <i>variable</i> pembanding terhadap nilai <i>Enthalpy</i> dan <i>Entropy</i> yang Berdampak pada Nilai Efisiensi STG.....     | 27 |
| <br>Tabel 4. 1 Data Operasi Aktual 051G103 dengan Mode Extraction Condensing  | 33 |
| Tabel 4. 2 Data Operasi design 051G103 dengan Mode Extraction Condensing.   | 33 |
| Tabel 4. 3 Data perhitungan Operasi Aktual bulan juli 2024 untuk STG 051G103 dengan Mode Extraction Condensing .....                          | 40 |
| Tabel 4. 4 Data perhitungan Operasi Aktual pembanding bulan agustus 2024 untuk STG 051G103 dengan Mode Extraction Condensing.....             | 41 |
| Tabel 4. 5 Data perhitungan Operasi <i>design</i> untuk STG 051G103 dengan Mode Extraction Condensing .....                                   | 41 |
| Tabel 4. 6 Data sebelum dilakukannya perbaikan terhadap nilai <i>Enthalpy</i> dan <i>Entropy</i> yang Berdampak pada Nilai Efisiensi STG..... | 42 |
| Tabel 4. 7 Data setelah dilakukannya perbaikan terhadap nilai <i>Enthalpy</i> dan <i>Entropy</i> yang Berdampak pada Nilai Efisiensi STG..... | 43 |



## ABSTRAK

PT. Kilang Pertamina Internasional RU IV Cilacap mengoperasikan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) untuk memasok energi pada unit pengolahan kilang dan petrokimia. Bagian Utilities 05 bertanggung jawab atas penyediaan energi listrik sebesar 60 MW guna mendukung operasi kilang. Untuk menjaga kesinambungan dan kapasitas produksi, suplai energi listrik harus memadai dan bebas dari gangguan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara parameter kualitas steam (tekanan, suhu, dan laju aliran) terhadap efisiensi Steam Turbine Generator (STG) menggunakan pendekatan perhitungan matematis berbasis data aktual dan interpolasi steam tabel. Data berupa tekanan (*pressure*), suhu (*temperature*), dan laju aliran (*flow*) dikumpulkan melalui pengamatan langsung pada *Distributed Control System* (DCS) setiap 3 hari selama satu bulan dalam penelitian ini pada bulan Juli - Oktober 2024. Pengolahan data *enthalpy* dan *entropy* menggunakan pendekatan interpolasi steam tabel untuk mendapatkan hasil perhitungan yang merepresentasikan nilai kualitas *steam*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi STG berdasarkan data desain adalah 77,55%, sedangkan data aktual pada bulan Agustus 2024 menunjukkan efisiensi sebesar 55,79%, mengalami penurunan sebesar 21,76% akibat fluktuasi tekanan, suhu, dan laju aliran steam yang berdampak pada perubahan nilai *enthalpy* dan *entropy* turbin. Sementara itu, pada bulan Juli 2024, efisiensi tercatat sebesar 53,45%, mengalami penurunan sebesar 24,1%. Penurunan efisiensi ini terjadi akibat fluktuasi tekanan, suhu, dan aliran steam, yang menyebabkan perubahan nilai entalpi dan entropi serta ketidaksesuaian dengan spesifikasi desain turbin. Faktor utama penyebab penurunan efisiensi adalah ketidaksesuaian tekanan dan suhu terhadap nilai desain, penurunan laju aliran *steam*, serta distribusi energi yang tidak optimal dalam sistem STG, yang mengakibatkan daya keluaran turbin tidak mencapai performa yang diharapkan.

**Kata Kunci :** Efisiensi, Steam Turbine Generator, *Enthalpy*, *Entropy*, *Extraction* *Condensing*

## **ABSTRACT**

*PT. Kilang Pertamina Internasional RU IV Cilacap operates a Steam Power Plant (PLTU) to supply energy to the refinery and petrochemical processing units. Utilities 05 is responsible for providing electrical energy with a capacity of 60 MW to support refinery operations. To ensure continuity and production capacity, the supply of electrical energy must be adequate and free from potential disruptions. This study aims to analyze the relationship between steam quality parameters (pressure, temperature, and flow rate) and the efficiency of the Steam Turbine Generator (STG) using a mathematical calculation approach based on actual data and steam tabel interpolation. Data was collected from the Distributed Control System (DCS) every 3 days for one month in this study in July-October 2024. The obtained data was then processed using steam tabel interpolation to calculate enthalpy and entropy values that determine steam quality and STG efficiency. The analysis of steam quality resulted in efficiency values for the 051G103 turbine. Actual operational data over a two-month period were used as comparative data to enhance accuracy between design and actual data. The efficiency value based on the design data for the extraction condensing steam turbine 051G103 was 77.55%, while the actual efficiency of the turbine in August 2024 was 55.79%, showing a decrease of 21.76%. In July, the actual efficiency was 53.45%, experiencing a decrease of 24.1% due to fluctuations in pressure, temperature, and steam flow, affecting enthalpy and entropy values in the turbine. The primary factors causing efficiency loss include deviations in pressure and temperature from the design values, a decrease in steam flow rate, and suboptimal energy distribution in the STG system, leading to the turbine's power output not reaching its expected performance.*

**Keywords :** Efficiency, Steam Turbine Generator, entalpy, Entropy , Extraction Condensing

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Listrik merupakan sumber energi penting yang dibutuhkan oleh individu, dunia usaha, dan mesin. Untuk mencapai listrik diperlukan suatu sistem yang disebut pembangkit listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa), Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah beberapa di antara berbagai jenis listrik. Turbin adalah komponen utama pembangkit listrik tenaga uap [1].

Pembangkitan tenaga listrik melalui PLTU mampu menghasilkan listrik dengan memanfaatkan uap yang dihasilkan dari pemanasan air dalam *Boiler*. Proses pemanasan ini dapat berasal dari berbagai sumber bahan bakar, termasuk gas, bahan bakar cair (seperti residu dan solar), dan bahan bakar padat (seperti batu bara) [2]. Pendekatan serupa digunakan oleh PT Kilang Pertamina Internasional RU IV Cilacap, sebuah perusahaan minyak dan gas yang memanfaatkan pembangkitan tenaga uap. Perusahaan ini memanfaatkan hasil produksinya, khususnya *Heavy Fuel Oil* dan *Heavy Gas Oil* atau biasa disebut (HFO) dan (HGO), sebagai bahan bakar *Boiler* dalam proses pembangkitan tenaga uap.

Pembangkitan listrik dari PLTU yang berada di dalam kilang dimanfaatkan untuk unit pengolahan dan fasilitas petrokimia yang menampung jumlah pemroduksian terbesar, yaitu memberikan pasokan 34% kebutuhan BBM dalam satu negara atau 60% pasokan BBM di Pulau Jawa. Untuk dapat mengolah minyak bumi, gas bumi, dan material lainnya guna memenuhi kebutuhan bahan bakar minyak, pelumas, dan petrokimia sesuai dengan perkembangan pasar, maka pemenuhan sarana atau fasilitas yang diperlukan untuk mendukung operasional kilang memegang peranan penting dalam menjamin terpenuhinya kebutuhan pasar terhadap produk olahan seperti BBM, gas bumi cair, dan petrokimia. Dalam usaha untuk dapat memenuhi keperluan



energi secara terus menerus, khususnya kebutuhan tenaga listrik sebagai sumber energi utama untuk operasional kilang dan fasilitas penunjang lainnya.

PT Kilang Pertamina Internasional RU IV Cilacap memiliki unit yang bertugas dalam menyediakan energi listrik pembangkit listrik tenaga uap yang dikelola tersendiri, unit yang bertugas memasok kebutuhan area *Production 1* dan *production 2* adalah *Utilities 05*, 50 dan 500. *Utilities* mampu membangkitkan listrik dengan kapasitas pembangkitan 120MW dengan 9 unit pembangkitan dan untuk *Utilities 05* memiliki pembangkitan sejumlah 3 unit dengan kapasitas 60 MW yang memiliki fungsi untuk memenuhi kebutuhan listrik di sekitar plant. dan jenis pembangkit listrik yang digunakan *Utilities 05* adalah *Steam Turbine Generator* (STG) dengan tenaga penggerak *High Pressure Steam* (HP *Steam*) yang mana STG tersebut mampu beroperasi dengan *mode full condensing* dan *mode extraction condensing*. Listrik dihasilkan dari generator dengan menjadikan energi mekanik berubah ke energi listrik. Generator terhubung dengan poros turbin (*shaft*) dan kemudian poros turbin digerakkan oleh HP *steam* melalui sudu-sudu turbinnya. *Pressure* dan *temperature* dari HP *steam* yang menggerakkan turbin tidak selalu sama dan berpengaruh pada entalpi dan entropi. Perbedaan yang diamati menyebabkan terjadinya variasi efisiensi kinerja, dan penelitian yang dilakukan pada utilitas pembangkit listrik PT. Pertamina RU V Balikpapan menunjukkan bahwa fluktuasi nilai efisiensi merupakan akibat dari transformasi daya listrik yang diciptakan. Ketika daya yang diciptakan mendekati *Most Economic Rating*, nilai efisiensi yang dicapai meningkat [3].

*Utilities 05* menjadi unit vital bagi kelangsungan operasi kilang. Oleh karena itu perlu pengecekan berkala untuk mengetahui tingkat efisiensi dan kehandalan dalam proses produksinya. Pengecekan dilakukan disetiap akhir shift pagi dan akan di evaluasi selama 1 bulan. Hasil kajian menunjukkan bahwa tindakan pencegahan turbin uap di PLTU Rembang sudah efektif dan efisien dalam mengurangi berbagai permasalahan atau isu yang timbul pada komponen turbin uap. Selain itu, perawatan preventif juga berkontribusi dalam menekan biaya perawatan sekaligus menjamin keselamatan kerja [1].

Untuk menanggulangi kendala yang terjadi pada STG diperlukan perawatan preventif untuk *trouble* minor, jika sudah tidak dapat ditanggulangi maka perlu dilakukannya *Overhaul*. Overhaul STG dilakukan secara berkala setiap 5 tahun sekali dengan indikasi efisiensi STG turun lebih dari 20% dari nameplate ketika kurang dari itu hanya perlu perawatan preventif. Dari latar belakang yang dipaparkan diatas, untuk mengetahui kualitas STG yang optimal berdasarkan *pressure* dan *temperature* dari HP *steam* dan daya yang dihasilkan. penulis memutuskan untuk melakukan Evaluasi Efisiensi Steam Turbine Generator 051G103 Di Utilities 05 PT. Kilang Pertamina International Refinery Unit IV Cilacap.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijabarkan, maka terdapat perincian rumusan masalah yang akan dibahas dalam Tugas Akhir yaitu:

1. Bagaimana hasil pengamatan sebelum perbaikan pada STG 051G103 di Utilities 05 PT. Kilang Pertamina Internasional Refinery Unit IV Cilacap?
2. Bagaimana hasil pengamatan setelah perbaikan pada STG 051G103 di Utilities 05 PT. Kilang Pertamina Internasional Refinery Unit IV Cilacap?
3. Bagaimana efisiensi STG 051G103 di Utilities 05 PT. Kilang Pertamina Internasional Refinery Unit IV Cilacap?
4. Bagaimana pengaruh steam turbine terhadap efisiensi STG 051G103 di Utilities 05 PT. Kilang Pertamina Internasional Refinery Unit IV Cilacap?

## 1.3 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah ini dilaksanakan dengan alasan memberikan batasan-batasan yang akan dibahas selama penelitian kali ini, maka batasan dalam melaksanakan penelitian sebagai berikut:

1. Tempat kegiatan penelitian dilaksanakan di PT. Kilang Pertamina International Refinery Unit IV Cilacap. yang berlokasi di Jl. MT. Haryono No.77, Rawakeong, Lomanis, Kec. Cilacap Tengah, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah.
2. Penelitian ini hanya membahas mengenai *pressure* dan *temperature steam* mampu mempengaruhi kinerja, efisiensi serta keandalan *steam turbine*

*generator 051G103 di Utilities 05 PT. Kilang Pertamina International Refinery Unit IV Cilacap.*

3. Penelitian ini hanya membahas *steam* yang dihasilkan pada *Boiler* yang dialirkan menuju header *steam turbine generator 051G103 di Utilities 05 PT. Kilang Pertamina International Refinery Unit IV Cilacap.*
4. Penelitian dilakukan pengambilan data operasi actual pada bagian *Utilities 05 PT. Kilang Pertamina International Refinery Unit IV Cilacap* dengan tag number 051G103 pada *range 2 bulan.*

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan sang penulis dalam penelitian pengaruh *steam Boiler* terhadap *turbine generator 051G103 di Utilities 05 PT. Kilang Pertamina International Refinery Unit IV Cilacap.* Di tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisis hasil perhitungan data pengamatan *pressure, temperature* serta *flow* sebelum perbaikan STG 051G103 di Utilities 05 PT. Kilang Pertamina Internasional Refinery Unit IV Cilacap.
2. Menganalisis hasil perhitungan data pengamatan *pressure, temperature* serta *flow* setelah perbaikan STG 051G103 di Utilities 05 PT. Kilang Pertamina Internasional Refinery Unit IV Cilacap.
3. Menilai efisiensi STG 051G103 serta mengetahui apakah diperlukan dilakukannya *Overhaul* pada *steam turbine generator 051G103 di Utilities 05 PT. Kilang Pertamina International Refinery Unit IV Cilacap.*
4. Menganalisis pengaruh steam turbine terhadap efisiensi STG 051G103 di Utilities 05 PT. Kilang Pertamina Internasional Refinery Unit IV Cilacap

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari sang penulis pada penelitian tugas akhir ini yakni mampu melakukan perhitungan data *actual* dan melakukan analisa terhadap hasil perhitungan antara data hasil perhitungan dengan data *design* dengan mengetahui *pressure* dan *temperature steam* penelitian ini mampu mempengaruhi kinerja, efisiensi, keandalan serta apakah diperlukan



dilakukannya *Overhaul* pada *steam turbine generator* 051G103 di *Utilities* 05 PT. Kilang Pertamina International *Refinery Unit* IV Cilacap.

### **1.6 Sistematika Penulisan Penelitian**

Dalam penulisan sistematis, ini adalah ilustrasi berskala besar dengan lima bayi, yang masing-masing digambarkan sebagai berikut

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini berisi meliputi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan penelitian.

#### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

Bab ini berisikan meliputi tentang tinjauan pustaka dan landasan teori yang berisi tentang hasil penelitian yang dijadikan referensi oleh penulis untuk melakukan penelitian.

#### **BAB III : METODE PENELITIAN**

Bab ini berisi meliputi tentang metodologi penelitian, waktu penelitian, alat dan peralatan yang digunakan untuk penelitian sehingga nanti mendapatkan data/hasil dari penelitian tersebut.

#### **BAB IV : HASIL DAN ANALISIS**

Bab ini berisi meliputi hasil dari perhitungan data actual dan data desain, Pengaruh *pressure* dan *temperature* terhadap nilai *enthalpy* dan *entropy*, nilai efisiensi serta penurunan efisiensi STG di PT.KPI RU IV Cilacap

#### **BAB V : PENUTUP**

Bab ini berisi meliputi kesimpulan dan saran dari pembahasan mengenai Tugas Akhir sehingga dapat dikembangkan lebih lanjut untuk lebih sempurna lagi.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Ada beberapa penelitian terdahulu tentang PLTU dan *Steam Turbine Generator* yang telah dilakukan oleh peneliti, antara lain:

1. Penerapan perawatan preventif pada turbin uap di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Rembang efektif dan efisien dalam meminimalisir berbagai permasalahan yang mungkin timbul pada komponen turbin uap. Selain itu, pendekatan ini membantu menjaga keselamatan kerja dengan menurunkan biaya perawatan[1].
2. Pada unit UBB terdapat Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan kapasitas pembangkitan daya mencapai 32 MW (Net 25 MW). Salah satu peralatan utama dalam PLTU adalah *Boiler* yang digunakan untuk mengubah air menjadi uap bertekanan dengan cara pemanasan yang berasal dari pembakaran bahan bakar pada ruang bakar. Bahan bakar yang digunakan di unit UBB yaitu Batu bara. Untuk memenuhi kebutuhan listrik maupun Steam di PT Petrokimia Gresik[2].
3. Utilitas PT.Pertamina RU V Balikpapan Kinerja Steam Turbine Generator 1 dan Listrik 2. Hasil kajian awal yang dilakukan pada bulan Desember 2020 menunjukkan bahwa efisiensi Steam Turbine Generator 1 sebesar 59,073% untuk minggu pertama, 53,692% untuk minggu kedua, 60,449% untuk minggu ketiga, dan 61,509% untuk minggu keempat. Pada kajian selanjutnya yang dilakukan pada bulan Desember 2021 diperoleh hasil efisiensi sebagai berikut: 61,564% untuk minggu pertama, 65,074% untuk minggu kedua, 62,429% untuk minggu ketiga, dan 60,850% untuk minggu keempat. Variasi efisiensi ini disebabkan oleh perubahan listrik harian yang terjadi. Seiring dengan meningkatnya daya yang dievaluasi oleh Most Economic Rating, efisiensi terus meningkat[3].
4. Penerapan Dual Flue Gas Treatment untuk emisi dari Bubbling Fluidized Bed *Boiler* di PT. DDD melibatkan pelepasan gas buang secara terus-menerus selama pengoperasian *Boiler* uap. Pemerintah Indonesia telah menetapkan batas

yang diizinkan untuk berbagai indikator. Penerapan dual filtration untuk gas buang, memanfaatkan teknologi *Multi-Cyclone* dan *Wet Membrane*, telah menghasilkan pengurangan signifikan kandungan partikulat dalam gas buang, turun dari standar pemerintah sebesar 230 mg/m<sup>3</sup> ke kisaran 140-148 mg/m<sup>3</sup>[4].

5. Analisis Efisiensi Daya Turbin Generator Siemens ST-300 7 MW di PTPN XI (Unit) PG. Semboro. Hasil dari periode pengambilan sampel selama 10 hari menunjukkan efisiensi generator rata-rata sebesar 93,46%. Jika dibandingkan dengan efisiensi desain sebesar 96,23%, terlihat bahwa efisiensi Turbin Generator ST-300 7 MW mengalami penurunan sebesar 3%[5].

## 2.2 Landasan Teori

Listrik merupakan sumber energi penting yang dibutuhkan oleh individu, dunia usaha, dan mesin. Untuk menghasilkan listrik diperlukan suatu sistem yang disebut pembangkit listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa), Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah beberapa di antara berbagai jenis listrik. Di antara semua itu, PLTU tetap menjadi pembangkit listrik terbesar di Indonesia, dengan kapasitas terpasang sekitar 36,98 GW, atau sekitar 50% dari seluruh pembangkit listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan sistem alat yang dirancang untuk memproduksi energi listrik pemanfaatan panas dari bahan seperti batu bara, minyak, dan gas. PLTU yang menggunakan batubara sebagai bahan pemanfaatan panas sekarang ini paling canggih telah mencapai tingkat efisiensi termal 42-43% [6]. Proses ini mentransformasi energi termal menjadi listrik. PLTU atau pembangkit listrik tenaga uap mampu menghasilkan atau memproduksi energi listrik dengan memanfaatkan aliran uap yang dihasilkan melalui pemanasan air pada *Boiler* [7]. Komponen krusial yang mengubah energi uap menjadi energi listrik adalah turbin uap. Awalnya, energi termal dalam uap diubah menjadi energi kinetik (kecepatan) melalui nosel. Uap bertekanan tinggi tersebut kemudian diarahkan ke turbin bilah-bilah, sehingga memperkecil poros turbin. Selanjutnya, mekanisme ini dapat digunakan untuk menggerakkan generator, kompresor, pompa, dan perangkat



lainnya. Konversi energi termal menjadi energi kinetik terjadi di turbin nosel (bilah-bilah stasioner), sedangkan transformasi energi kinetik menjadi energi mekanik terjadi dalam bentuk putaran rotor di turbin bilah-bilah yang bergerak [3].

Prinsip kerja dari instalasi *steam turbine generator* secara keseluruhan adalah dimulai dari air yang di panaskan di *Boiler*. Uap yang dihasilkan dari pemanasan dan bertekanan maksimum yang disebut HP steam dipergunakan untuk menggerakkan poros turbin. HP steam yang telah digunakan untuk memutar turbin mengalami ekspansi, yaitu penurunan tekanan dan temperatur yang kemudian terekstraksi menjadi MP *steam extraction*. HP *steam* yang memutar turbin hingga sudu *stage* terakhir menjadi *exhaust HP steam* yang disebut LP (*low pressure*) steam kemudian disalurkan ke condenser untuk didinginkan menjadi kondensat. Kondensat tersebut dialirkan lagi menuju *Boiler* dengan bantuan pompa. Penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa steam turbine generator bekerja dengan sistem siklus tertutup.

Siklus Rankine menggambarkan proses operasi mesin pemanas uap yang biasa dijumpai di pembangkit listrik tenaga uap, tenaga diciptakan dengan menguapkan mengembunkan fluida kerja secara bergantian [7]. siklus ini merupakan siklus tertutup yang memanfaatkan perubahan fase dari berawal cair menjadi uap dan sebaliknya untuk menghasilkan energi mekanik yang digunakan untuk menghasilkan listrik.

Steam turbin dalam beroperasi mengikuti siklus Rankine, dimana siklus operasi turbin uap melibatkan proses berurutan yang memungkinkan turbin uap untuk mentransformasi energi panas dari uap berubah jadi energi mekanik yang bisa dipergunakan untuk penggerak rotor generator guna membangkitkan listrik [8].

## 2.3 Komponen – komponen dalam sistem STG

### 2.3.1 Boiler

*Boiler* / Ketel uap (furnace) adalah alat mesin konversi energi berupa bejana yang tertutup berasal dari sebuah baja yang diperuntukkan merubah panas dan tekan dengan media air yang diubah menjadi uap bertekanan [4]. Uap bertekanan yang dihasilkan dari sebuah ketel bisa diperuntukkan sebagai media pemanas atau fluida kerja untuk berbagai macam keperluan

di sektor industri seperti :

1. Sebagai fluida kerja

Sebagai penggerak mesin uap semisal mesin turbin dan torak. Untuk kebutuhan itu biasanya uap yang mempunyai tekanan maksimum.

2. Sebagai media Pemanas.

Sebagai pemanas cairan yang gampang membeku agar tetap dalam keadaan cair, seperti dalam tempat tampungan minyak berat, dalam pengaliran. Untuk hal ini biasanya uap yang mempunyai tekanan yang minimum.

3. Sebagai media bantu.

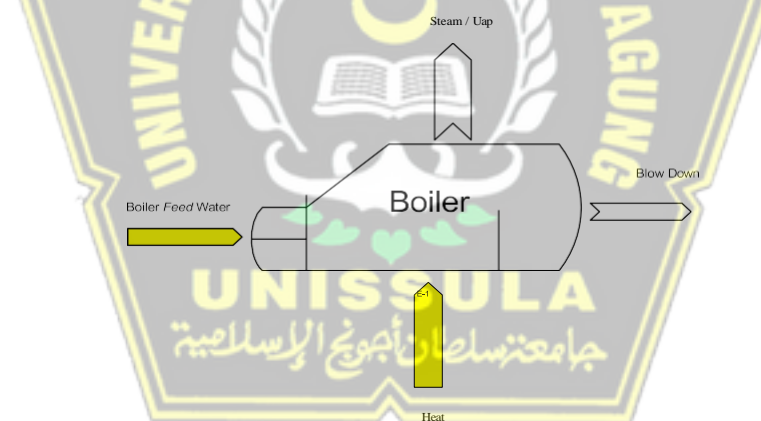
Membantu dalam proses fraksinasi, dalam pengeringan, untuk pembersihan dan lain sebagainya. Untuk keperluan ini biasanya menggunakan uap yang bertekanan sedang.

Ketel uap yang ideal pada umumnya harus meliputi persyaratan yang dibutuhkan dalam hal operasional, efisiensi ekonomi, dan standar keselamatan. Berikut ini adalah merupakan syarat umum yang harus dilengkapi:

1. Harus menghemat dalam penggunaan bahan bakar
2. Ketel harus cepat untuk menyesuaikan fluktuasi beban dalam keadaan naik atau turun
3. Konstruksinya seefektif agar tempat yang dibutuhkan kecil serta mudah pengoperasian.
4. Memiliki mekanisme kerja pembuangan lumpur yang baik.
5. Bahan material yang digunakan telah sesuai dengan standar yang berlaku.
6. Dilengkapi peralatan pengaman, dan harus memenuhi syarat-syarat yang berlaku dari Dinas Pengawasan Keselamatan.
7. Sirkulasi gas panas berasal dari hasil pembakaran harus baik, sehingga perpindahan panas dapat semaksimal mungkin.
8. Jumlah panas yang sirna karena radiasi harus diminimalkan, maka karena itu isolasi harus memiliki konduktivitas termal yang rendah

Prinsip pengoperasian ketel uap dapat diibaratkan seperti proses perebusan air dalam wadah terbuka. Jika diamati satu per satu air yang mendidih dalam wadah tersebut, air tersebut mencapai titik didih sekitar 100 °C pada tekanan atmosfer. Suhu tetap konstan pada 100 °C selama panas terus menerus disuplai selama proses perebusan. Fenomena ini terjadi akibat *pressure* di dalam wadah sama dengan tekanan di luar, keduanya sama-sama 1 atm (1,03 kg/cm<sup>2</sup>).

Sama halnya yang sudah dipaparkan sebelumnya, ketel uap adalah bejana besar berisi air yang dipanaskan sambil ditutup rapat. Desain ini memungkinkan panas yang disediakan oleh tungku, yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar, untuk menghasilkan uap di dalam ketel pada tekanan yang melebihi tekanan atmosfer. Jelas bahwa bahan yang digunakan untuk membangun ketel uap tidak dapat sembarangan, tidak seperti yang digunakan untuk bejana memasak air sederhana, yang tidak dapat menahan tekanan yang lebih besar dari tekanan atmosfer.



Gambar 2. 1 Ketel Uap

### Karakteristik Uap dan Air.

Titik didih diartikan sebagai proses perubahan udara dari fase cair ke fase gas yang disebut penguapan. Selama proses penguapan, suhu tetap konstan. Pada setiap tekanan tingkat, udara memiliki titik tertentu yang disebut suhu jenuh. Ciri-ciri udara dan uap adalah sebagai berikut:

1. *Wet Steam*:

Steam yang terdapat kandungan air

2. *Saturated Steam*:

Steam jenuh yang tidak ada kandungan butiran air

### 3. Superheated Steam:

Bila berada di posisi *saturated steam* panas lalu ditambahkan, maka hasil dari *temperatur steam* akan meningkat dan menjadi kering.

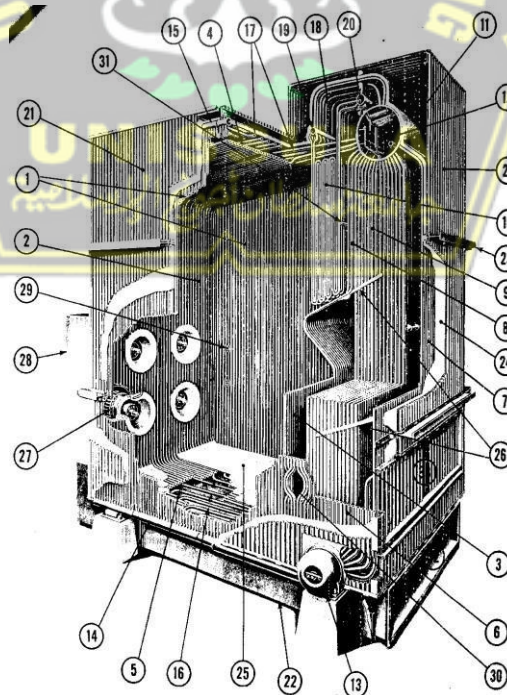
Klasifikasi *Boiler* menurut tekanan operasinya :

1. *Boiler* tekanan rendah : 8.3 – 16.5 kg/cm<sup>2</sup>.g
2. *Boiler* tekanan medium : 16.6 – 51.5 kg/cm<sup>2</sup>.g
3. *Boiler* tekanan tinggi : 51.6 – 144.5 kg/cm<sup>2</sup>.g
4. *Boiler* tekanan sangat tinggi : 144.6 – 227.3 kg/cm<sup>2</sup>.g

Ditinjau dari sistim udara pembakarannya (combustion air):

1. *Natural Draft*.
2. *Forced Draft*.
3. *Induced Draft*.
4. *Forced & Induced Draft*.

Bagian – bagian ketel yang terdapat dibagian dalam ketel uap ikut memastikan berjalannya operasi dan *performance*, misalnya saja: susunan pipa, *superheater* (pemanas lanjut), *mud drum* (drum tempat penampungan lumpur) dan lain sebagainya.

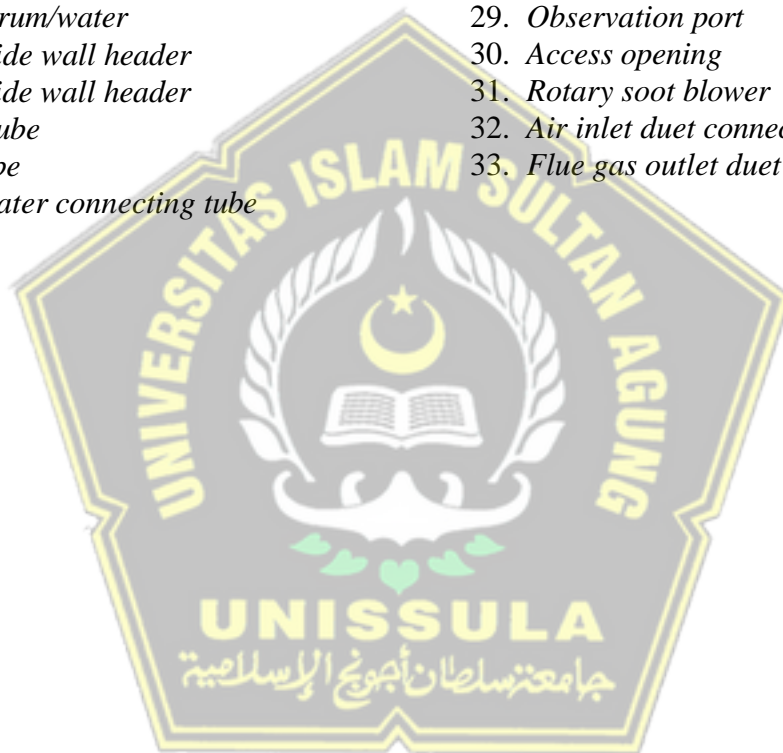


Gambar 2. 2 Bagian Ketel Uap [9]



## Deskripsi

- |   |  |
|---|--|
| 1. <i>Furnace side wall tube panel</i>  | 19. <i>Superheater inlet header</i>                    |
| 2. <i>Furnace front wall tube panel</i> | 20. <i>Superheater outlet header</i>                   |
| 3. <i>Furnace rear wall tube panel</i>  | 21. <i>Ribbed casing/ furnace and Boiler enclosure</i> |
| 4. <i>Furnace roof tube panel</i>       | 22. <i>Flat casing/air plenoum chamber enclosure</i>   |
| 5. <i>Furnace floor tube panel</i>      | 23. <i>Buck stay</i>                                   |
| 6. <i>Boiler side wall tube</i>         | 24. <i>Mineral wall blanked insulation</i>             |
| 7. <i>Boiler rear wall tube panel</i>   | 25. <i>Floor tile</i>                                  |
| 8. <i>Boiler screen tubes</i>           | 26. <i>Cross-flow gas buffel</i>                       |
| 9. <i>Boiler tube</i>                   | 27. <i>Type R burner</i>                               |
| 10. <i>Superheater element</i>          | 28. <i>Burner windbox</i>                              |
| 11. <i>Upper drum/steam</i>             | 29. <i>Observation port</i>                            |
| 12. <i>Drum internal</i>                | 30. <i>Access opening</i>                              |
| 13. <i>Lower drum/water</i>             | 31. <i>Rotary soot blower</i>                          |
| 14. <i>Lower side wall header</i>       | 32. <i>Air inlet duet connection</i>                   |
| 15. <i>Upper side wall header</i>       | 33. <i>Flue gas outlet duet connection</i>             |
| 16. <i>Supply tube</i>                  |  |
| 17. <i>Riser tube</i>                   |  |
| 18. <i>Superheater connecting tube</i>  |  |



### 2.3.2 Turbin Uap

Turbin uap merupakan suatu mesin dengan metode untuk mengubah energi yang terkandung didalam uap menjadi gerakan putar poros secara diam-diam, dengan uap yang dihasilkan dari kartel uap [10]. Uap yang dihasilkan dari proses pemanasan dalam *Boiler* atau tungku selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin dengan cara mengatur *nozzle* pada masukan turbin. Dengan mengendalikan kecepatan relatif melalui pengaturan *nozzle*, uap bertekanan tersebut menghantam bilah turbin, sehingga terjadi perputaran. Uap yang keluar dari *nozzle* ditujukan kearah bilah lengkung yang mengelilingi roda turbin. Saat uap mengalir di celah antara bilah turbin, uap tersebut diarahkan ulang mengikuti kelengkungan bilah turbin. Beberapa komponen yang menyusun mesin turbin, yang terpenting adalah rotor, yaitu peralatan yang terbuat dari poros dengan bilah yang dibongkar di sekelilingnya. Tumbukan aliran fluida menyebabkan rotor tidak berfungsi. Ada tiga jenis turbin berdasarkan aksinya, yaitu:

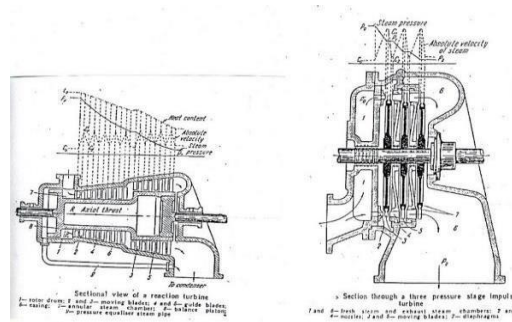
1. turbin implus

Perubahan enersi potensial uap ke enersi kecepatan terjadi hanya pada *noozle* atau celah yang dibentuk pada sudu tetap stator (Gambar 2.3).

2. turbin reaksi

Perubahan enersi potensial uap ke enersi kecepatan terjadi pada sudu tetap ( *guide* ) stator dan sudu jalan, dimana penurunan enersi potensial berlangsung secara merata (Gambar 2.3).

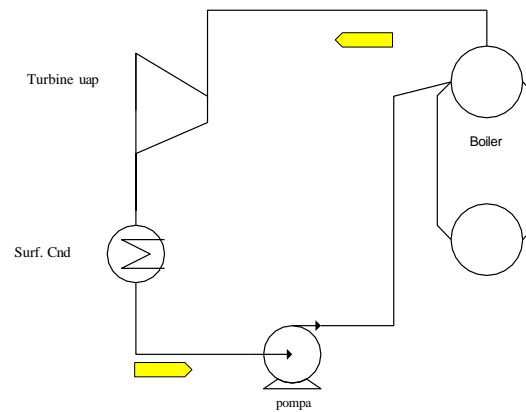
3. Turbin Kombinasi: Impuls dan reaksi [10].



Gambar 2. 3 Turbin reaksi dan Turbin Impulse [9]

Cara kerja turbin uap memerlukan sejumlah uap yang diproduksi oleh ketel uap (Departemen Utilitas) dalam kondisi uap tertentu. Akhirnya, uap dibawa ke *nozzle* dengan tujuan merubah energi potensial menjadi energi kinetik.

Uap yang dipancarkan dari nosel diarahkan ke bilah lengkung yang mengelilingi roda dan poros turbin, yang secara kolektif disebut sebagai bilah rotor atau bilah runner. Perubahan kecepatan uap saat mengenai bilah runner menghasilkan momentum, yang selanjutnya mendorong bilah, menyebabkan roda turbin berputar di sekitar porosnya. Segera setelah uap mengenai bilah runner, uap mengalir melalui celah di antara bilah dan diarahkan ulang sepanjang lengkungan bilah. Untuk memaksimalkan pemanfaatan energi kinetik uap, sangat penting bagi uap untuk keluar dari turbin pada kecepatan serendah mungkin. Untuk mencapai hal ini, beberapa baris bilah runner dipasang, memastikan bahwa arah dan kecepatan uap diubah sebelum memasuki tahap kedua bilah runner melalui bilah stasioner (alat pemandu) yang mempertahankan kecepatan dan tekanan yang konsisten. Selain itu, tujuan utama pemasangan beberapa baris atau tahap bilah runner adalah untuk mencegah kecepatan rotasi yang berlebihan, terutama pada turbin uap besar. Representasi skematis dari sistem turbin uap sederhana diilustrasikan dalam gambar ( gambar 2.4 )



Gambar 2. 4 Skema Sistim Turbin Uap Sederhana

Berdasarkan Proses Penyerapan panas (Heat Drop Steam).

1. Turbin Uap Kondensasi: Uap yang keluar dari turbin, tekanannya lebih kecil dari tekanan atmosfer ( $\pm 28$  mm Hg Vacuum).
2. Turbin uap tanpa kondensasi.
3. Turbin uap dengan pemanasan ulang ( regenerasi ).
4. Turbin uap dengan ekstraksi.
5. Turbin uap dengan tekanan campuran ( *mixed pressure* ), dimana uap berasal lebih dari satu ketel uap dengan tekanan yang berbeda. Gambar 2.5 menunjukkan sistem penyerapan panas dari uap dengan beberapa variasi proses.



Gambar 2. 5 Condensing and Non-Condensing Turbine Arrangements as to use and Operating Conditions [9]



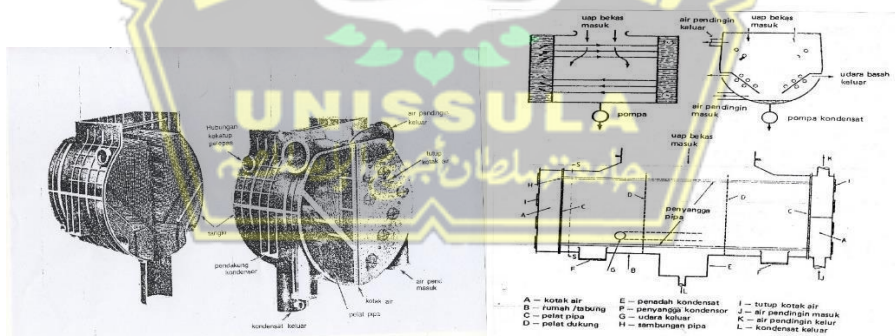
### 2.3.3 Condensor

Condensor adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mentransformasikan fase uap ke cair. Dimana dalam pembangkit listrik condensor dipasang pada sisi pembuangan uap bekas turbin uap, maksud penempatan ini terutama untuk menurunkan tekanan lawan uap bekas sehingga usaha yang dihasilkan turbin dari kuantitas uap yang tetap menjadi lebih besar. Atau dengan perkataan lain, efisiensi termisnya bertambah besar [7]. Didalam condensor uap bekas diembunkan menjadi air

/ *condensate*, sehingga timbul *vacuum* didalam condensor. Uap bekas diembunkan segera setelah masuk kedalam condensor.

Jadi dengan penempatan condensor pada suatu instalasi turbin uap terdapat beberapa keuntungan antara lain:

1. Usaha berguna yang dihasilkan turbin uap bertambah, karena tekanan lawan menjadi rendah.
2. Menghemat penggunaan air dari luar, karena itu sangat penting bagi *Boiler* yang sulit mendapatkan *air feed* / umpan yang baru.
3. Menghemat penggunaan bahan bakar, untuk menciptakan uap, karena temperatur air umpan melebihi temperatur normal.



Gambar 2. 6 jenis condenser [9]

### 2.3.4 Boiler feed pump

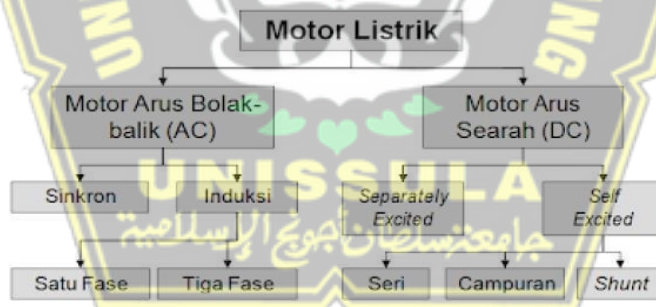
Komponen penting dari pembangkit listrik tenaga uap, pompa umpan *Boiler* merupakan salah satu komponen terpenting dari pompa sentrifugal di fasilitas yang disebutkan di atas. Fungsi utamanya adalah

untuk memindahkan udara dari kondensor ke *Boiler*. Secara umum, pompa umpan *Boiler* memindahkan udara ke generator uap untuk produksi uap, yang penting untuk konversi energi atau kebutuhan industri lainnya. Fungsi dari *Boiler Feed Pump Turbine* adalah mengatur dan pemasok air pada volume yang telah ditentukan dari tanki air menuju *Boiler* dengan spesifikasi yang terkhususkan.

### 2.3.5 Generator

Generator adalah bagian / komponen untuk menghasilkan energi listrik. Pada bagian rotor generator terhubung dengan poros turbin dan dapat bergerak secara bersama – sama. Pada bagian generator, kumparan stator menghasilkan arus listrik keluaran. Arus searah mengalir melalui *brush gear* yang terhubung dengan *slip ring* yang terpasang pada rotor, sehingga menciptakan medan magnet. Saat turbin uap berputar begitu juga dengan rotor generator, medan magnet yang tercipta akan memotong kumparan stator dan menghasilkan tegangan listrik.

Generator dapat dibedakan berdasarkan putaran medannya menjadi 2 yaitu generator sinkron dan generator asinkron.



Gambar 2. 7 macam macam motor listrik [11]

Generator sinkron adalah motor listrik AC yang mampu menghasilkan daya listrik AC dengan cara mengubah/mengonversikan daya mekanik. daya listrik didapat dengan proses induksi elektromagnetik yang menyatukan koil rotor dengan koil stator. Generator sinkron disebut sebagai generator sinkron dikarenakan rotor berputar dengan kecepatan yang sinkron atau biasa disebut juga sama dengan kecepatan medan putar magnet. Generator sinkron biasanya digunakan dalam pembangkitan listrik dalam jumlah yang besar dan beroperasi pada kecepatan maksimum yang terhubung dengan turbin gas / uap. Dalam generator sinkron, arus mengalir

Melalui kumparan rotor yang setelah itu menciptakan medan magnet rotor. Rotor dari generator digerakkan oleh penggerak primer, menciptakan medan magnet putar. Pada bagian stator generator, terdapat kumparan yang terlibat dalam proses pembangkitan energi listrik. Medan putar magnet dari rotor menghasilkan medan magnet yang mengelilingi kumparan stator secara terus – menerus, sehingga energi mekanik mampu dirubah menjadi energi listrik.

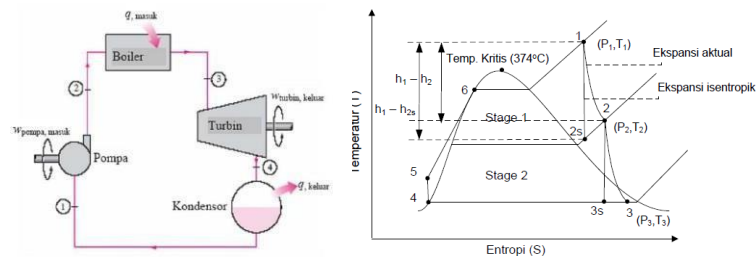
Prinsip kerja generator sinkron:

1. Kumparan medan dalam rotor disambungkan ke pusat eksitasi yang memasok arus DC ke kumparan medan. Arus searah yang bergerak lewat koil eksitasi menciptakan fluks magnet konstan dari waktu ke waktu.
2. Penggerak utama yang digabungkan ke rotor akan segera menyala dan rotor berotasi dengan kelajuan terukur.
3. Saat rotor berputar, medan magnet berputar yang dihasilkan dalam rotor diinduksi dalam lilitan angker, menghasilkan fluks magnet yang bervariasi terhadap waktu dalam kumparan angker stator.

Ketika fluks magnet disekitar kumparan berubah, gaya gerak listrik (GGL) induksi dihasilkan dalam kumparan. Sebuah alternator sinkron 3 fasa menggunakan 3 kumparan jangkar yang disusun dengan cara tertentu pada stator, susunan tersebut menghasilkan induksi yang sama pada 3 kumparan jangkar. Beda fasa  $120^\circ$  satu sama lainnya [11].

### 2.3 Siklus Rankine

Siklus Rankine dengan kogenerasi adalah siklus Rankine dimana panas sisa dari proses ekspansi dalam turbin digunakan untuk proses yang lain [5]. Siklus Rankine ideal diasumsikan bahwa sistem beroperasi dengan kondisi *steady* dan *reversible*, dimana tekanan dianggap konstan tanpa adanya kerugian akibat gesekan yang dapat menyebabkan penurunan tekanan (*pressure drop*) dan isolator pada turbin dianggap berfungsi secara optimal untuk mencegah adanya kalor yang keluar dari sistem. Oleh karena itu, seluruh losses diabaikan untuk mempermudah analisis. Operasi steam turbin dalam siklus Rankine ideal dapat dijelaskan melalui tahapan pada gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Ekspansi Nyata dan Isentropik pada Turbin T-s [8]

**Keterangan:**

- Proses 1 – 2 : Ekspansi aktual yang berlangsung pada turbin dari kondisi uap kering pada kondisi 1 hingga ekstraksi tekanan.
- Proses 1 - 2s : Ekspansi isentropik yang berlangsung dalam turbin dimulai dari kondisi uap kering pada kondisi 1 ke tekanan ekstraksi.
- Proses 2 – 3 : Ekspansi aktual yang berlangsung dalam turbin dimulai dari uap kering pada kondisi 2 ke tekanan kondenser.
- Proses 2s - 3s : Ekspansi isentropik yang berlangsung dalam turbin dari mulai kondisi uap kering pada kondisi 2s ke tekanan kondenser.
- Proses 3 – 4 : Pengeluaran panas dalam tekanan sama yang terjadi didalam kondenser.
- Proses 4 – 5 : Kompresi isentropik bekerja dalam pompa.
- Proses 5 – 1 : Perpindahan panas didalam tekanan konstan *Boiler* sampai ke turbin.

Salah satu pendekatan agar mencapai nilai efisiensi turbin adalah melalui perhitungan neraca massa dan energi. Perbandingan aliran massa yang keluar dan masuk dihasilkan oleh generator.

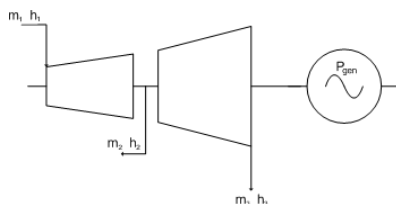
Efisiensi termodinamika dapat dicapai dengan meningkatkan suhu masukan siklus. Siklus ulang Rankine melibatkan dua turbin yang beroperasi secara berurutan. Turbin awal mendapat uap dari ketel uap pada tekanan tinggi. Sesudah melewati turbin pertama, uap diarahkan kembali ke ketel uap untuk melakukan pemanasan ulang sebelum akhirnya masuk ke dalam turbin kedua, yang beroperasi pada tekanan yang lebih rendah. Keuntungan dari pendekatan ini meliputi pencegahan kondensasi uap selama ekspansi, yang dapat menyebabkan kerusakan turbin, serta peningkatan efisiensi turbin [8].



*Entropy* dan *enthalpy* adalah dua konsep penting dalam termodinamika yang digunakan untuk memahami dan menganalisis proses fisika dan kimia dalam sistem tertutup. Daya yang dihasilkan turbin bisa dicari dengan kalkulasi *enthalpy* dan *entropy*, dimana daya aktual turbin sama dengan daya input generator. Efisiensi steam turbine generator berkaitan dengan *enthalpy* dan *entropy*. *Enthalpy* ( $h$ ) merupakan kumpulan panas yang diserap oleh air dari suhu  $0^{\circ}\text{C}$  sampai mencapai suhu atau kondisi panas tertentu. Dengan kata lain, *enthalpy* dalam suatu proses sering digunakan untuk mengukur perubahan. Panas dalam suatu reaksi pada tekanan yang konstan dan dilambangkan dengan “ $h$ ”. Setelah nilai *enthalpy* didapatkan, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan daya teoritis turbin ( $W_{ti}$ ).

Adapun *entropy* ( $s$ ) adalah suatu besaran termodinamika yang berfungsi untuk mengkalkulasi energi menggunakan satuan *temperature* yang tidak bisa digunakan untuk melakukan usaha atau energi panas yang tidak menjadi kerja. Dengan kata lain, *entropy* merupakan ukuran tingkat degradasi energi yang terjadi di suatu sistem yang dilambangkan dengan “ $s$ ”. Oleh karena itu, semakin tinggi nilai *entropy*, semakin rendah efisiensi suatu sistem.

Efisiensi turbin dapat ditentukan melalui berbagai metode, salah satunya melibatkan perhitungan neraca massa dan energi. Neraca ini menggambarkan hubungan antara uap yang masuk ke dalam dan keluar turbin pada kondisi tekanan dan suhu tertentu, beserta daya yang diciptakan. Gambaran neraca massa dan energi untuk generator turbin uap dapat diilustrasikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Pada sistem turbin dan generator, perhitungan efisiensi dapat melalui dengan nilai kerja ideal ( $W_{ideal}$ ) dan kerja aktual turbin ( $W_{aktual}$ ).



Gambar 2. 9 Skema Turbin Generator

Keterangan:

$m_1 = \text{Flow rate HPS (kg/s)}$ .

$h_1 = \text{Entalpi HPS (kJ/kg)}$ .

$m_2 = \text{Flow rate MPS (kg/s)}$ .

$h_{2s} = \text{Entalpi isentropik MPS (kJ/kg)}$ .

$m_3 = \text{Flow rate keluaran LP stage (kg/s)}$ .

$h_{3s} = \text{Entalpi isentropik keluaran LP stage (kJ/kg)}$ .

$P_{\text{gen}} = \text{Daya yang dihasilkan generator (MW)}$ .

Di mana merujuk pada kesetimbangan massa dan energi di atas, maka dalam perhitungan daya turbin bisa menggunakan rumus pada *mode extraction condensing* sebagai berikut:

1. Daya Ideal Turbine ( $W_{ti}$ ) mode *Extraction Condensing Turbine*

$$W_{ti} = m_1 \cdot h_1 - m_2 \cdot h_{2s} - m_3 \cdot h_{3s}$$

$$\text{Misal: } m_2 = m_1 - m_3$$

$$W_{ti} = m_1 \cdot h_1 - (m_1 - m_3) \cdot h_{2s} - m_3 \cdot h_{3s}$$

$$W_{ti} = m_1 \cdot h_1 - m_1 \cdot h_{2s} + m_3 \cdot h_{2s} - m_3 \cdot h_{3s}$$

$$W_{ti} = m_1(h_1 - h_{2s}) + m_3(h_{2s} - h_{3s}) \quad (2.1)$$

2. Daya Aktual Turbin ( $W_{ta}$ ) mode *Extraction Condensing Turbine*

$$W_{ta} = m_1(h_1 - h_2) + m_3(h_2 - h_3) \quad (2.2)$$

Secara umum, efisiensi dapat diartikan sebagai rasio output terhadap input dalam suatu proses tertentu. Hal ini sangat penting dalam termodinamika untuk menentukan efisiensi konversi energi. Daya input untuk generator berasal dari daya yang dihasilkan oleh turbin karena generator digunakan untuk menghasilkan output listrik. Untuk menghitung efisiensi generator turbin uap, persamaan khusus digunakan.

3. Efisiensi Aktual *Steam Turbine Generator* ( $\eta$  Aktual)

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{W_{ta}}{W_{ti}} \times 100\% \quad (2.3)$$

Adapun sebagai pendekatan dalam penghitungan *enthalpy* (h) dan *entropy* (s) yang dibutuhkan dalam menghitung daya turbin untuk mendapatkan nilai efisiensi, maka dapat digunakan steam tabel yang bersifat penuh dan superheated. Apabila data tekanan maupun suhu tidak tepat sesuai data yang terdapat pada steam tabel, maka perlu dilakukan penghitungan dengan interpolasi data melalui rumus berikut.

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (2.4)$$

Dimana:

$y_1$  = *Enthalpy* awal dari range nilai yang terdapat di steam tabel

$y_2$  = *Enthalpy* akhir dari range nilai yang terdapat di steam tabel

$x_1$  = Tekanan atau temperatur awal dari nilai yang terdapat di steam tabel

$x_2$  = Tekanan atau temperatur akhir dari nilai yang terdapat di steam tabel

$x$  = Tekanan atau temperatur yang akan dicari nilai *enthalpy*-nya (tidak ada di steam tabel)

$y$  = Hasil atau nilai yang dicari (tidak ada di steam tabel)

Untuk mendapatkan nilai parameter yang akan digunakan pada perhitungan daya turbin ( $W_{ti}$ ), Diperlukan perhitungan entalpi (h) dan entropi (s) dengan menggunakan *steam tabel*.

Keterangan:

$h_1$  : Entalpi uap masuk ke dalam turbin

$s_1$  : Entropi masuk ke dalam turbin

$s_1 = s_2$ : Entropi keluar sama dengan uap masuk turbin (isentropis/ideal)

$h_{g2}$  : Entalpi fase uap

$h_{f2}$  : Entalpi fase cair

$h_{fg2}$  : Entalpi perubahan fase

$s_{g1}$  : Entropi fase uap

$s_{f2}$  : Entropi fase cair

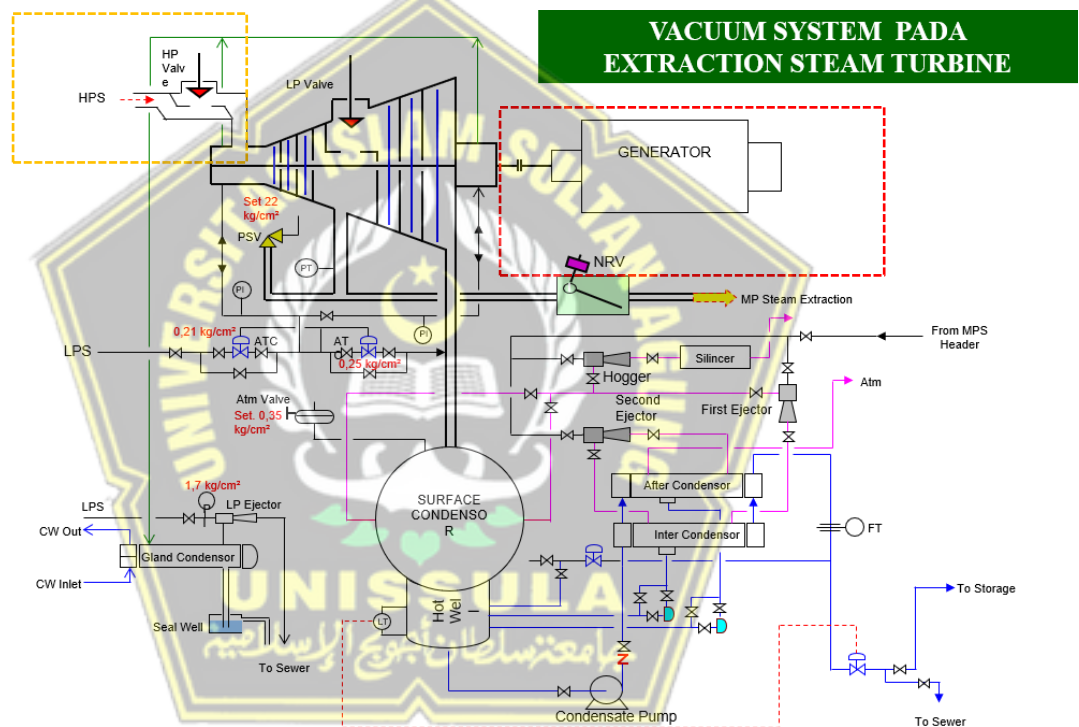
$s_{fg2}$  : Entropi perubahan fase

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Model Penelitian

Dengan tujuan agar memperoleh nilai efisiensi suatu steam turbine, maka ada beberapa point yang perlu diperhatikan dan dipersiapkan. Berdasarkan data operasi aktual yang telah diperoleh, nilai efisiensi steam turbine yang beroperasi dapat diperoleh menggunakan steam tabel sebagai alternatif pemecahan masalah untuk mencari nilai efisiensi steam turbine.



Gambar 3. 1 flow diagram STG

Model penelitian dibuat dengan diagram yang menggambarkan situasi obyek dengan input output yang dimonitor dan dimana *variable* lain sebagai faktor yg ikut mempengaruhi proses. Dalam penelitian kali ini obyek yang akan diteliti mengenai steam hasil pembakaran *Boiler* yang menjadi input (diberi tanda kotak orange) dari *Steam Turbine generator* (STG) dan STG akan menggerakkan poros generator dan nantinya akan menghasilkan energi listrik (diberi tanda kotak merah). Dan hal yang menjadi factor dalam mempengaruhi



proses yakni *variable pressure* dan *temperature* dari steam hasil pembakaran yang merupakan input dari turbin. *Variable pressure* dan *temperature* inilah yang memberikan dampak pada nilai *enthalpy* dan *entropy* sehingga adanya perbedaan nilai efisiensi *output* generator. *Variable pressure* dan *temperature* akan diambil datanya beserta data pendukung seperti *flow* steam dari *high pressure steam* serta sebagai output *steam* berupa *condensate* yang ada diambil datanya adalah *variable pressure* dan *flow* untuk mengetahui berapa output steam yang keluar dari STG. Dari hal ini nantinya akan diketahui berapa MW yang mampu dihasilkan dari generator yang terhubung dengan *steam turbine* serta dapat menentukan *Pressure* dan *temperature* yang tepat agar menghasilkan daya yang optimal dan masih efisien dari STG 051G103 di utilities 05.

### 3.2 Objek Penelitian

Objek penelitian ini dilaksanakan di PT. Kilang Pertamina Internasional RU IV Cilacap yang berlokasi di jalan Jl. Letjen Haryono MT. 77 Lomanis, Cilacap Jawa Tengah 53221. Berikut ini adalah lokasi PT. Kilang Pertamina Internasional RU IV Cilacap jika dilihat menggunakan maps dari foto satelit.



Gambar 3. 2 Lokasi PT. Kilang Pertamina Internasional RU IV Cilacap tampak foto satelit

### 3.3 Data Penelitian

Adapun hasil pengamatan data sebelum dilakukannya perbaikan (observasi data actual) beroperasi dengan *mode extraction condensing* pada 051G103 maka diperoleh data operasi actual setiap 3 hari sekali selama 1 bulan pada *range* waktu 1 Juli – 30 Juli 2024 sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Data Operasi Aktual 051G103 sebelum dilakukan perbaikan *mode extraction condensing*

| Tanggal | HP Steam                |        |              | MP Steam                |          |        |              | Condensate |     |              | Beban Generator |
|---------|-------------------------|--------|--------------|-------------------------|----------|--------|--------------|------------|-----|--------------|-----------------|
|         | Press                   | Temp   | Flow         | Press                   |          | Temp   | Flow         | Press      |     | Flow         |                 |
|         | Kg/cm <sup>2</sup> (p1) | C (t1) | Ton/jam (m1) | Kg/cm <sup>2</sup> (p2) | bar (p2) | C (t2) | Ton/jam (m2) | cmHg       | bar | Ton/jam (m3) | MW (Pgen)       |
|         |                         |        |              |                         |          |        |              |            |     |              |                 |
|         |                         |        |              |                         |          |        |              |            |     |              |                 |
|         |                         |        |              |                         |          |        |              |            |     |              |                 |
|         |                         |        |              |                         |          |        |              |            |     |              |                 |

Setelah mengetahui dan dilakukan pengambilan data mulai tanggal 1 Juli 2024 – 30 Juli 2024 yang dilakukan selama satu bulan. Untuk lebih mendapatkan nilai yang akurat maka akan dilakukannya data perbandingan yang akan dibandingkan dengan nilai yang sudah ada. Hal ini diperuntukkan mengetahui nilai penurunan atau stabilnya kinerja STG yang diteliti kali ini. Maka diambil data 1 bulan sebelumnya untuk membandingkan apakah terjadi penurunan efisiensi atau masih stabil dalam kinerja STG untuk menjadi pemasok energi listrik untuk *plant*.

Adapun hasil pengamatan data sesudah perbaikan (observasi data actual) beroperasi dengan *mode extraction condensing* pada 051G103 maka diperoleh data operasi actual setiap 3 hari sekali selama 1 bulan pada *range* waktu 31 Juli – 29 Agustus 2024 sebagai berikut.

Tabel 3. 2 Data Operasi Aktual setelah perbaikan 051G103 dengan *Mode Extraction Condensing*

| Tanggal | HP Steam                |        |              | MP Steam                |          |        |              | Condensate |     |              | Beban Generator |
|---------|-------------------------|--------|--------------|-------------------------|----------|--------|--------------|------------|-----|--------------|-----------------|
|         | Press                   | Temp   | Flow         | Press                   |          | Temp   | Flow         | Press      |     | Flow         |                 |
|         | Kg/cm <sup>2</sup> (p1) | C (t1) | Ton/jam (m1) | Kg/cm <sup>2</sup> (p2) | bar (p2) | C (t2) | Ton/jam (m2) | cmHg       | bar | Ton/jam (m3) | MW (Pgen)       |
|         |                         |        |              |                         |          |        |              |            |     |              |                 |
|         |                         |        |              |                         |          |        |              |            |     |              |                 |
|         |                         |        |              |                         |          |        |              |            |     |              |                 |
|         |                         |        |              |                         |          |        |              |            |     |              |                 |

Tabel 3.3 merupakan tabel yang digunakan pengamat untuk proses pengambilan data pada operasi *actual* pada STG 051G103.

Tabel 3. 3 form Data Operasi Aktual kapasitas daya output dan efisiensi 051G103

| Tanggal             | Flow HPS | Flow MPS | Daya Turbin Ideal (Wti) | Daya Turbin Aktual (Wta) | Efisiensi Turbin |
|---------------------|----------|----------|-------------------------|--------------------------|------------------|
|                     | ton/jam  | ton/jam  | MW                      | MW                       | %                |
|                     |          |          |                         |                          |                  |
|                     |          |          |                         |                          |                  |
|                     |          |          |                         |                          |                  |
|                     |          |          |                         |                          |                  |
|                     |          |          |                         |                          |                  |
|                     |          |          |                         |                          |                  |
|                     |          |          |                         |                          |                  |
|                     |          |          |                         |                          |                  |
| Rata-rata Efisiensi |          |          |                         |                          |                  |

Setelah didapati hasil perhitungan efisiensi STG 051G103 selanjutnya ditambahkan juga tabel pengaruh *pressure* dan *temperature* terhadap nilai *enthalpy* dan *entropy* yang berdampak pada nilai efisiensi STG dengan tabel sebagai berikut.

Tabel 3. 4 form Data variable pembanding terhadap nilai Enthalpy dan Entropy yang Berdampak pada Nilai Efisiensi STG

| Tanggal | Press       | Temp    | Flow         | Entalpy (h) | Entropy (s) | Efisiensi Turbin |
|---------|-------------|---------|--------------|-------------|-------------|------------------|
|         | Kg/cm2 (p1) | °C (t1) | Ton/jam (m1) | Joule       | J/K         | %                |
|         |             |         |              |             |             |                  |
|         |             |         |              |             |             |                  |
|         |             |         |              |             |             |                  |

### 3.4 Diagram alur Penelitian



Gambar 3. 3 diagram alur penelitian



### 3.5 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang akan dicapai adalah mengetahui nilai efisiensi *steam turbine generator* (051G103) terhadap kualitas *steam Boiler* pada unit Utilities 05 Refinery Unit IV Cilacap. Nilai efisiensi dihitung berdasarkan pengamatan dengan hasil berupa data operasi aktual pada *range* 2 bulan. Adapun sasaran tersebut dapat dicapai melalui beberapa rumusan sebagai berikut:

1. Mencari sumber informasi, seperti buku referensi maupun wawancara ahli.
2. Mencari data operasi aktual, meliputi *pressure*, *temperature*, dan *flow* steam inlet turbin yaitu (HPS) dan condensate pada 051G103.
3. Mencari steam tabel yang akan digunakan untuk menghitung *enthalpy* dan *entropy*
4. Mengolah data *enthalpy* dan *entropy* steam menggunakan metode interpolasi berdasarkan steam tabel.
5. Memasukan data yang diperlukan ke dalam rumus perhitungan efisiensi steam turbine.
6. Menganalisis, membandingkan, dan menyimpulkan hasil nilai efisiensi steam turbine 051G103 terhadap kualitas *steam Boiler*.

#### 3.5.1 Pemilihan atau Pendekatan untuk Pemecahan Masalah

Adapun nilai efisiensi *steam turbine* yang akan dicari, didasarkan dari segi efisiensi dalam pemanfaatan energi panas uap yang bersumber dari *high pressure steam* (HPS) yang digunakan untuk memutar poros turbin. Oleh karena itu, pemecahan masalah akan difokuskan pada efisiensi berdasarkan perbandingan jumlah kerja yang dilakukan turbin terhadap total energi panas (HPS) yang disuplai ke steam turbine.

Metode pemecahan masalah yang digunakan adalah dengan memakai metode perhitungan matematis berdasarkan data aktual dan data *enthalpy* serta *entropy* yang diperoleh melalui interpolasi data pada steam tabel. Oleh karena itu, melalui data operasi actual pada *range* 2 bulan yang ditampilkan, maka dapat dilakukan penghitungan efisiensi pada steam turbine generator 051G103 terhadap *steam Boiler*.

### 3.5.2 Metode Pengambilan Data

Penyusunan dan penulisan tugas akhir ini melibatkan beberapa cara penghimpunan data dan informasi. Adapun cara yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Metode Referensi

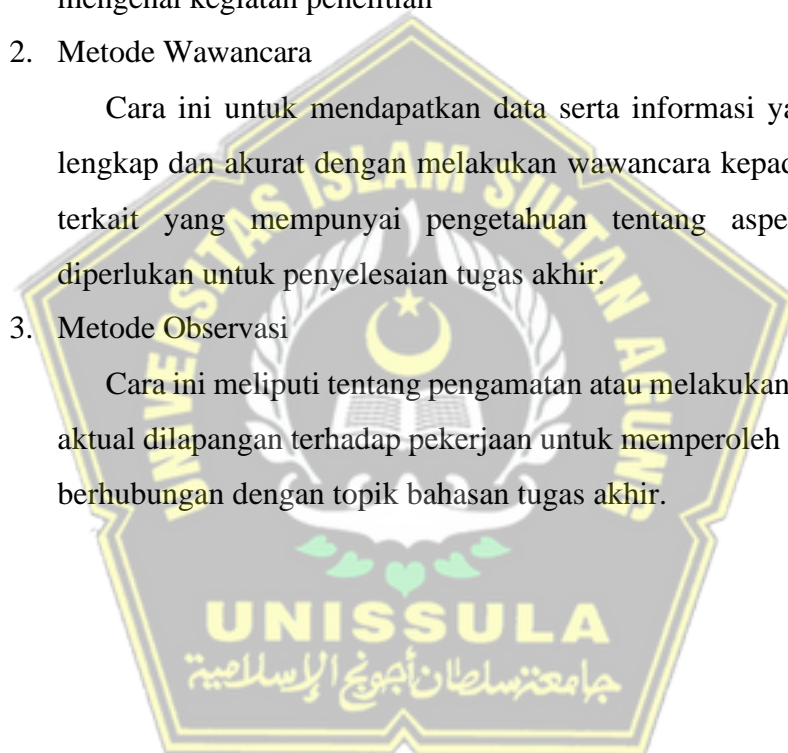
Metode ini digunakan untuk menemukan informasi terkait komponen dan prinsip kerja steam turbine generator dan *Boiler* dengan cara membaca buku referensi yang ada untuk memperoleh informasi mengenai kegiatan penelitian

2. Metode Wawancara

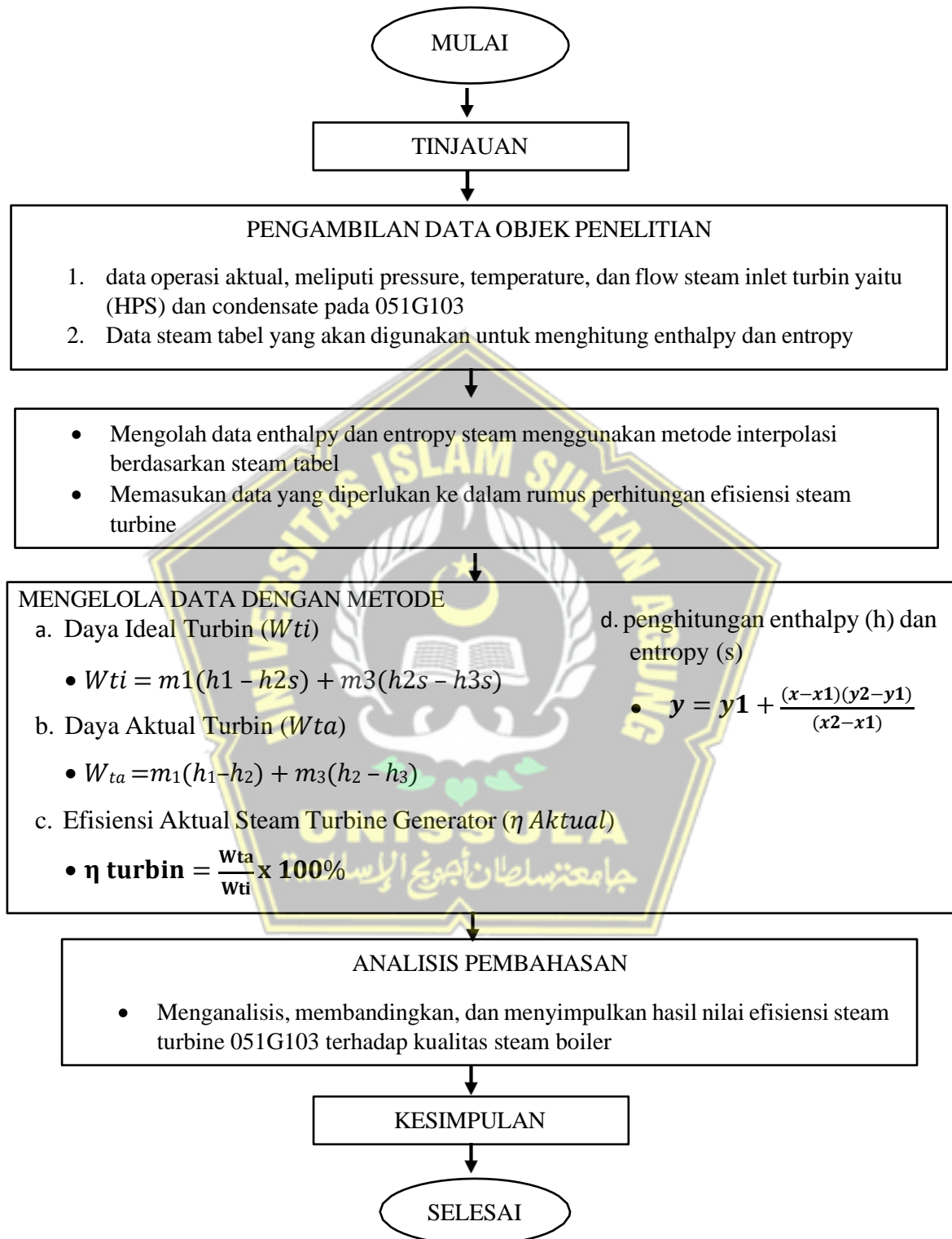
Cara ini untuk mendapatkan data serta informasi yang kompleks, lengkap dan akurat dengan melakukan wawancara kepada pihak-pihak terkait yang mempunyai pengetahuan tentang aspek-aspek yang diperlukan untuk penyelesaian tugas akhir.

3. Metode Observasi

Cara ini meliputi tentang pengamatan atau melakukan praktik secara aktual dilapangan terhadap pekerjaan untuk memperoleh data-data yang berhubungan dengan topik bahasan tugas akhir.



### 3.6 Diagram Alir



Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari nilai observasi atau penelitian yang dilaksanakan mengenai Pengaruh Kualitas Steam *Boiler* Terhadap Efisiensi Steam Turbine Generator 051G103 oleh penulis di bagian *utilities* 05 dalam kawasan PT. Kilang Pertamina Internasional RU IV Cilacap, didapatkan beberapa hasil penelitian dan nilai dari *enthalpy* dan *entropy* dalam pengujian efisiensi STG. Pengukuran tersebut berdasarkan pada model penelitian yang telah dibahas pada bab tiga, dengan mengambil data pada *local indicator* ataupun dari *DCS variable pressure* dan *temperature* yang diambil datanya beserta data pendukung seperti *flow steam* dari *high pressure steam* serta sebagai output *steam* yang berupa *condensate* yang juga akan diambil data *variable pressure dan flow* untuk mengetahui berapa output steam yang keluar dari STG. Dari hal ini nantinya akan diketahui daya yang dihasilkan oleh STG 051G103.

Pada bab empat ini membahas mengenai hasil dan analisis data hasil pengukuran efisiensi STG sebelum dilakukannya perbaikan dan sesudah dilakukannya perbaikan. Selanjutnya hasil data tersebut dibandingkan dengan data *design* dan berikutnya mampu mengetahui nilai optimal dari STG serta mengetahui apakah adanya penurunan efisiensi STG dalam range waktu 1 bulan, maka tabel hasil dari pemeriksaan yang diperoleh dari operasi actual sebagai berikut.

#### **4.1 Hasil pengamatan STG sebelum dilakukan perbaikan**

hasil pengamatan data lapangan pada bulan juli sebelum dilakukan perbaikan (observasi data actual) beroperasi dengan mode extraction condensing pada 051G103 maka diperoleh data operasi actual setiap 3 hari sekali selama 1 bulan pada range waktu 01 Juli – 30 Juli 2024 sebagai berikut.



Tabel 4. 1 Data Operasi Aktual pembeding bulan sebelumnya 051G103 dengan Mode Extraction Condensing

| NO | HARI, TANGGAL | HP STEAM              |             |           | MP STEAM              |             |           | CONDENSATE            |           |         | BEBAN GENERATOR (MW) |
|----|---------------|-----------------------|-------------|-----------|-----------------------|-------------|-----------|-----------------------|-----------|---------|----------------------|
|    |               | PRESSURE              | TEMPERATURE | FLOW      | PRESSURE              | TEMPERATURE | FLOW      | PRESSURE              | FLOW      | VACUUM  |                      |
|    |               | (kg/cm <sup>2</sup> ) | (°C)        | (ton/jam) | (kg/cm <sup>2</sup> ) | (°C)        | (ton/jam) | (kg/cm <sup>2</sup> ) | (ton/jam) | (cm/Hg) |                      |
| 1  | 3 Juli 2024   | 59.93                 | 462.29      | 98.48     | 18.43                 | 422.40      | 53.00     | 4.20                  | 30.02     | -69.23  | 9.67                 |
| 2  | 6 Juli 2024   | 60.00                 | 462.07      | 102.41    | 18.47                 | 418.67      | 56.14     | 4.27                  | 31.48     | -69.07  | 9.00                 |
| 3  | 9 Juli 2024   | 61.00                 | 461.00      | 101.11    | 18.43                 | 424.33      | 55.85     | 4.23                  | 30.36     | -68.57  | 9.33                 |
| 4  | 12 Juli 2024  | 61.00                 | 462.03      | 101.25    | 18.47                 | 424.33      | 55.42     | 4.27                  | 30.97     | -68.20  | 9.17                 |
| 5  | 15 Juli 2024  | 59.60                 | 460.62      | 99.37     | 18.40                 | 417.40      | 55.78     | 4.23                  | 28.29     | -67.47  | 9.00                 |
| 6  | 18 Juli 2024  | 60.80                 | 461.72      | 99.54     | 18.47                 | 422.53      | 54.44     | 4.20                  | 30.06     | -68.03  | 9.33                 |
| 7  | 21 Juli 2024  | 60.33                 | 461.73      | 102.05    | 18.47                 | 418.00      | 56.79     | 4.30                  | 30.48     | -67.77  | 8.83                 |
| 8  | 24 Juli 2024  | 59.93                 | 462.29      | 98.48     | 18.43                 | 422.40      | 53.00     | 4.20                  | 30.02     | -69.23  | 9.67                 |
| 9  | 27 Juli 2024  | 61.67                 | 462.33      | 100.46    | 18.47                 | 430.33      | 54.05     | 4.23                  | 31.46     | -68.63  | 9.17                 |
| 10 | 30 Juli 2024  | 60.67                 | 462.37      | 102.05    | 18.50                 | 424.67      | 55.57     | 4.27                  | 31.64     | -69.07  | 9.17                 |

Dari tabel 4.1 didapati vaccum pada condensate terendah terjadi pada tanggal 21 Juli 2024 yaitu -67.77 cm/Hg menghasilkan output daya 8.83 MW sedangkan untuk nilai vaccum tertinggi pada tanggal 3 Juli 2024 dengan -69.23 kg/cm<sup>2</sup> menghasilkan daya 9.67 MW. Dari data ini nilai vaccum pada condensate terlalu berpengaruh pada beban output STG. Nilai vaccum condensate pada akhirnya berpengaruh pada *flow* inlet STG nantinya akan berkurang sehingga berpengaruh terhadap beban yang dihasilkan generator.

#### 4.2 Hasil pengamatan STG setelah dilakukan perbaikan

Hasil pengamatan data lapangan setelah dilakukan perbaikan (observasi data actual) beroperasi dengan *mode extraction condensing* pada 051G103 maka diperoleh data operasi actual setiap 3 hari sekali selama 1 bulan pada *range* waktu 31 Juli – 29 Agustus 2024 sebagai berikut.

Tabel 4. 2 Data Operasi Aktual 051G103 dengan Mode Extraction Condensing

| NO | HARI, TANGGAL   | HP STEAM              |             |           | MP STEAM              |             |           | CONDENSATE            |           |         | BEBAN GENERATOR (MW) |
|----|-----------------|-----------------------|-------------|-----------|-----------------------|-------------|-----------|-----------------------|-----------|---------|----------------------|
|    |                 | PRESSURE              | TEMPERATURE | FLOW      | PRESSURE              | TEMPERATURE | FLOW      | PRESSURE              | FLOW      | VACUUM  |                      |
|    |                 | (kg/cm <sup>2</sup> ) | (°C)        | (ton/jam) | (kg/cm <sup>2</sup> ) | (°C)        | (ton/jam) | (kg/cm <sup>2</sup> ) | (ton/jam) | (cm/Hg) |                      |
| 1  | 2 Agustus 2024  | 62.82                 | 477.16      | 102.81    | 19.08                 | 436.68      | 56.17     | 4.34                  | 31.09     | -70.35  | 9.66                 |
| 2  | 5 Agustus 2024  | 62.44                 | 485.42      | 106.04    | 19.36                 | 439.46      | 58.12     | 4.52                  | 31.97     | -72.42  | 9.63                 |
| 3  | 8 Agustus 2024  | 64.05                 | 484.05      | 106.79    | 19.36                 | 445.20      | 58.98     | 4.45                  | 32.26     | -71.58  | 9.63                 |
| 4  | 11 Agustus 2024 | 62.15                 | 475.71      | 103.59    | 19.05                 | 431.85      | 58.19     | 4.34                  | 29.92     | -70.22  | 9.47                 |
| 5  | 14 Agustus 2024 | 59.80                 | 460.93      | 101.08    | 18.40                 | 419.20      | 56.75     | 4.30                  | 29.20     | -67.63  | 9.00                 |
| 6  | 17 Agustus 2024 | 61.26                 | 470.48      | 99.35     | 18.81                 | 427.98      | 52.94     | 4.20                  | 30.87     | -70.34  | 9.83                 |
| 7  | 20 Agustus 2024 | 63.14                 | 484.49      | 105.35    | 19.39                 | 438.76      | 58.61     | 4.45                  | 31.05     | -70.98  | 9.45                 |
| 8  | 23 Agustus 2024 | 61.89                 | 477.32      | 101.71    | 19.03                 | 436.26      | 54.73     | 4.34                  | 31.01     | -71.49  | 9.98                 |
| 9  | 26 Agustus 2024 | 59.98                 | 460.27      | 100.08    | 18.42                 | 416.82      | 55.68     | 4.22                  | 29.49     | -67.43  | 8.98                 |
| 10 | 29 Agustus 2024 | 59.39                 | 458.06      | 97.59     | 18.26                 | 418.59      | 52.52     | 4.16                  | 29.75     | -68.60  | 9.58                 |

Dari tabel 4.2 didapati vaccum pada condensate terendah terjadi pada tanggal 14 Agustus 2024 yaitu -67.63 cm/Hg menghasilkan output daya 9.00 MW sedangkan untuk nilai vaccum tertinggi pada tanggal 23 Agustus 2024 dengan -71.49 kg/cm<sup>2</sup> menghasilkan daya 9.98 MW. Dari data ini nilai vaccum pada condensate berlaku berpengaruh pada beban output STG. Nilai vaccum condensate pada akhirnya berpengaruh pada *flow* inlet STG nantinya akan berkurang sehingga berpengaruh terhadap beban yang dihasilkan generator.

#### 4.3 Efisiensi Steam Turbine Generator terhadap Data *Design*

Data yang dipergunakan untuk pengukuran perbandingan data actual dan data *design* didapat dari pengamatan data design dari manual book dan juga pengamatan lapangan yang diambil dari data DCS control room. Berikut tabel data design dari STG 051G103

Tabel 4. 3 Data Operasi design 051G103 dengan Mode Extraction Condensing

| Tanggal | HP Steam                   |           |                 | MP Steam                   |             |           |                 | Condensate |       |                 | Beban Generator |
|---------|----------------------------|-----------|-----------------|----------------------------|-------------|-----------|-----------------|------------|-------|-----------------|-----------------|
|         | Press                      | Temp      | Flow            | Press                      |             | Temp      | Flow            | Press      |       | Flow            |                 |
|         | Kg/cm <sup>2</sup><br>(p1) | C<br>(t1) | Ton/jam<br>(m1) | Kg/cm <sup>2</sup><br>(p2) | bar<br>(p2) | C<br>(t2) | Ton/jam<br>(m2) | cmHg       | bar   | Ton/jam<br>(m3) | MW<br>(Pgen)    |
| DESAIN  | 60                         | 460       | 160             | 19.5                       | 19.12       | 340       | 35              | -65.67     | 0.875 | 125             | 22              |

##### 4.3.1 Perhitungan Data Aktual Efisiensi Steam Turbine Generator Mode Extraction Condensing

Sebagai contoh akan dilakukan perhitungan efisiensi steam turbine generator 051G103 pada tanggal 31 Juli – 2 agustus 2024. Data yang digunakan adalah *temperature* (T), *pressure* (P) dan *flow* (M) yang ada pada Tabel 4.2. Adapun untuk hasil penghitungan di tanggal selanjutnya akan disajikan pada tabel 4.5 dan tabel 4.4 untuk data sebelum dilakukannya perbaikan yakni pada tanggal 1 Juli – 30 Juli 2024 berupa hasil perhitungan efisiensi steam turbine generator 051G103.

a. Kondisi 1

$$P_1 = 62.82 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_1 = 477.16 \text{ }^\circ\text{C}$$

Dengan interpolasi, maka *h*<sub>1</sub> dan *s*<sub>1</sub> dapat diperoleh melalui *steam tabel* dalam kondisi *superheated* (*steam tabel* terlampir).

- *Enthalpy (h)*

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (2.4)$$

$$(477.16 - 470)(3387.1 - 3363.6)$$

$$h_1 = 3363.6 + \frac{(480 - 470)}{(480 - 470)}$$

$$h_1 = 3363.6 + \frac{(7.16)(23.5)}{(10)}$$

$$h_1 = 3363.6 + 16.82$$

$$h_1 = 3380.42$$

- *Entropy (s)*

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (2.4)$$

$$s_1 = 6.8833 + \frac{(477.16 - 470)(6.9147 - 6.8833)}{(480 - 470)}$$

$$s_1 = 6.8833 + \frac{(7.16)(0.031)}{(10)}$$

$$s_1 = 6.8833 + 0.022$$

$$s_1 = 6.9053$$

b. Kondisi 2

$$P_2 = 19.08 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_2 = 436.68 \text{ }^\circ\text{C}$$

Dengan interpolasi, maka  $h_2$  dan  $s_2$  dapat diperoleh melalui steam tabel dalam kondisi superheated (steam tabel terlampir).

- *Enthalpy (h)*

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (2.4)$$

$$(436.68 - 430)(3335.6 - 3313.6)$$

$$h_2 = 3313.6 + \frac{(440 - 430)}{(440 - 430)}$$

$$h_2 = 3313.6 + \frac{(6.68)(22)}{(10)}$$

$$h_2 = 3313.6 + 14.696$$

h 2 = 3328.29





- *Entropy (s)*

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (2.4)$$

$$(436.68 - 430)(7.2539 - 7.2229)$$

$$s_2 = + \frac{(440 - 430)}{(6.68)(0.031)}$$

$$s_2 = 7.2229 + \frac{(10)}{(10)}$$

$$s_2 = 7.2229 + 0.0207$$

$$s_2 = 7.2436$$

c. Kondisi 2s

Terjadi proses ekspansi secara isentropik (ideal), dimana diasumsikan tidak adanya pertukaran kalor antara sistem dengan lingkungan,

sehingga  $s_2s = s_1$

$$s_2s = 6.9053$$

Dengan interpolasi, maka  $h_{2g}$  dan  $s_{2g}$  dapat diperoleh melalui *steam tabel* dalam kondisi *saturated* (*steam tabel* terlampir). Pada kondisi 2 nilai  $P_2 = 19.08 \text{ kg/cm}^2 = 18.71 \text{ bar}$ .

- *Enthalpy fase uap ( $h_{2g}$ )*

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (2.4)$$

$$(18.71 - 17.5)(2798.7 - 2795.7)$$

$$h_{2g} = 2795.7 + \frac{(20.0 - 17.5)}{(1.21)(3)}$$

$$h_{2g} = 2795.7 + \frac{(2.5)}{(2.5)}$$

$$h_{2g} = 2795.7 + 1.452$$

$$h_{2g} = 2797.15$$

- *Entropy fase uap ( $S_{2g}$ )*

$$(x - x_1)(y_2 - y_1) \quad (2.4)$$

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad s_{2g} = 6.3884 +$$

$$s_{2g} = 6.3884 +$$

$$s_{2g} = 6.3648$$

$$\frac{(x_2 - x_1)}{(18.71 - 17.5)(6.3396 - 6.3884)} \quad \frac{(1.21)(-0.0488)}{(2.5)}$$

$$(20.0 - 17.5)$$

$$s^2_g = 6.3884 - 0.0236$$



$$s^2_g = 6.3648$$

Berdasarkan hasil penghitungan di atas yaitu antara kondisi 2 dan kondisi 2s, maka nilai *enthalpy*  $h_{2s}$  dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (2.4)$$

$$h_{2s} = h_{2g} + \frac{(s_2 - s_{2g})(h_2 - h_{2g})}{(s_2 - s_{2g})}$$

$$h_{2s} = 2797.15 + \frac{(6.9053 - 6.3648)(3328.29 - 2797.15)}{(7.2436 - 6.3648)}$$

$$h_{2s} = 2797.15 + \frac{(0.5405)(531.14)}{(0.8788)}$$

$$h_{2s} = 2797.15 + 326.67$$

$$h_{2s} = 3123.82$$

d. Kondisi 3

Dengan interpolasi, maka  $T_3$  dapat diperoleh melalui *steam tabel* dalam kondisi *saturated* (*steam tabel* terlampir). Pada kondisi 3 nilai  $P_3 = -70.35 \text{ cmHg} = 0.938 \text{ bar}$ .

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (2.4)$$

$$T_3 = 91.783 + \frac{(0.94 - 0.75)(99.632 - 91.783)}{(1 - 0.75)}$$

$$T_3 = 91.783 + \frac{(0.19)(7.849)}{(0.25)}$$

$$T_3 = 91.783 + 5.965$$

$$T_3 = 97.748$$

Dengan interpolasi, maka  $h_3$  dapat diperoleh melalui *steam tabel* dalam kondisi *superheated* (*steam tabel* terlampir).

• *Enthalpy* (h)

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (2.4)$$

$$(97.68 - 95)(2682.1 - 2672.3)$$

$$h_3 = 2672.3 +$$

$$h_3 = 2672.3 +$$

$$h_3 = 2672.3 + 5.2528$$

---

(10  
0 –  
95)

(  
2

·  
6  
8

)  
(  
9

·  
8  
)

---

(  
5  
)



$$h_3 = 2672.3 + 5.2528$$



$$h_3 = 2677.55$$

e. Kondisi 3s

Terjadi proses ekspansi secara isentropik (ideal), dimana diasumsikan tidak adanya pertukaran kalor antara sistem dengan lingkungan, sehingga  $S_{3s} = S_{2s}$

$$S_{3s} = 6.9053$$

Dengan interpolasi, maka  $h_{3f}$ ,  $s_{3g}$ ,  $s_{3f}$ ,  $h_{3fg}$ , dan  $h_{3s}$  dapat diperoleh melalui *steam tabel* dalam kondisi *saturated* (*steam tabel* terlampir).

Pada kondisi 3, nilai  $P_3 = -70.35 \text{ cmHg} = 0.938 \text{ bar}$ .

- Enthalpy fase cair ( $H_{3f}$ )

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (2.4)$$

$$(0.938 - 0.75)(417.51 - 384.43)$$

$$H_{3f} = 384.43 + \frac{(1 - 0.75)}{(0.188)(33.08)}$$

$$H_{3f} = 384.43 + \frac{(0.25)}{(0.188)(33.08)}$$

$$H_{3f} = 384.43 + 24.88$$

$$H_{3f} = 409.31$$

- Entropy fase uap ( $S_{3g}$ )

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (2.4)$$

$$S_{3g} = 7.4557 + \frac{(0.938 - 0.75)(7.3589 - 7.4557)}{(1 - 0.75)}$$

$$S_{3g} = 7.4557 + \frac{(0.188)(-0.0968)}{(0.25)}$$

$$S_{3g} = 7.4557 - 0.073$$

$$S_{3g} = 7.3827$$

- Entropy fase cair ( $S_{3f}$ )

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (2.4)$$

$$(0.938 - 0.75)(1.30273 - 1.21309)$$

$$S_{3f} = 1.21309 + \frac{(1 - 0.75)}{(0.188)(0.08964)}$$

$$S_{3f} = 1.21309 + \frac{(0.25)}{(0.188)(0.08964)}$$

$$S_{3f} = 1.21309 + 0.06741$$

$$S_{3f} = 1.2805$$

- *Enthalpy* perubahan fase ( $h_{3fg}$ )

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (2.4)$$

$$(0.938 - 0.75)(2257.6 - 2278.1)$$

$$H_{3fg} = 2278.1 + \frac{(1 - 0.75)}{(0.188)(-20.5)}$$

$$H_{3fg} = 2278.1 + \frac{(0.188)(-20.5)}{(0.25)}$$

$$H_{3fg} = 2278.1 - 15.416$$

$$H_{3fg} = 2262.68$$

- Kualitas uap pada kondisi 3s

$$X_{3s} = \frac{S_{3s} - S_{3f}}{S_{g3} - S_{3f}}$$

$$X_{3s} = \frac{6.9053 - 1.2805}{7.3827 - 1.2805}$$

$$X_{3s} = \frac{5.6248}{6.1022}$$

$$X_{3s} = 0.922$$

- Sehingga, *enthalpy* pada kondisi 3s di dapat:

$$h_{3s} = H_{3f} + [(X_{3s})(H_{3fg})]$$

$$h_{3s} = 409.31 + [(0.922)(2262.68)]$$

$$h_{3s} = 2495.5$$

- f. Daya Ideal Turbin ( $W_{ti}$ )

$$W_{ti} = m_1(h_1 - h_{2s}) + m_3(h_{2s} - h_{3s}) \quad (2.1)$$

$$W_{ti} = [102.81 \text{ ton/h} (3380.42 - 3120.82) \text{ kJ/kg}] + [31.09 \text{ ton/h} (3123.82 - 2495.5) \text{ kJ/kg}]$$

$$W_{ti} = [102810 \text{ kg/h} (259.6 \text{ kJ/kg})] + [31090 \text{ kg/h} (628.32 \text{ kJ/kg})]$$

$$W_{ti} = 26,689,476 \text{ kJ/h} + 19,534,468.8 \text{ kJ/h}$$

$$W_{ti} = 46,223,944.8 \text{ kJ/h}$$

$$W_{ti} = 12,839,984.67 \text{ W}$$

$$W_{ti} = 12.84 \text{ MW}$$

- g. Daya Aktual Turbin ( $W_{ta}$ )

$$W_{ta} = m_1(h_1 - h_2) + m_3(h_2 - h_3) \quad (2.2)$$

$$W_{ta} = [102.81 \text{ ton/h} (3380.42 - 3328.29) \text{ kJ/kg}] + [31.09 \text{ ton/h} (3328.29 - 2677.55) \text{ kJ/kg}]$$

$$W_{ta} = [102810 \text{ kg/h} (52.13 \text{ kJ/kg})] + [31090 \text{ kg/h} (650.74 \text{ kJ/kg})]$$

$$W_{ta} = 5,359,485.3 \text{ kJ/h} + 20,231,506.6 \text{ kJ/h}$$

$$W_{ta} = 25,590,991.9 \text{ kJ/h}$$

$$W_{ta} = 7,108,608.86 \text{ W}$$

$$W_{ta} = 7.11 \text{ MW}$$

#### h. Efisiensi Turbin

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{W_{ta}}{W_{ti}} \times 100\% \quad (2.3)$$

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{7.11}{12.84} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{turbin}} = 55.37\%$$

Dengan menggunakan metode yang sama, maka nilai efisiensi aktual *steam turbine generator* 051G103 yang beroperasi dengan mode *extraction condensing* pada bulan juli dapat dihitung dan ditampilkan pada tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Data perhitungan Operasi Aktual bulan juli 2024 untuk STG 051G103 dengan Mode Extraction Condensing

| Tanggal             | Flow HPS | Flow MPS | Daya Turbin Ideal (Wti) | Daya Turbin Aktual (Wta) | Efisiensi Turbin |
|---------------------|----------|----------|-------------------------|--------------------------|------------------|
|                     | ton/jam  | ton/jam  | MW                      | MW                       | %                |
| 3 Juli 2024         | 98.48    | 53.00    | 12.12                   | 6.53                     | 53.83            |
| 6 Juli 2024         | 102.41   | 56.14    | 12.66                   | 6.98                     | 55.13            |
| 9 Juli 2024         | 101.11   | 55.85    | 12.35                   | 6.45                     | 52.24            |
| 12 Juli 2024        | 101.25   | 55.42    | 12.49                   | 6.63                     | 53.09            |
| 15 Juli 2024        | 99.37    | 55.78    | 11.91                   | 6.35                     | 53.31            |
| 18 Juli 2024        | 99.54    | 54.44    | 12.21                   | 6.51                     | 53.27            |
| 21 Juli 2024        | 102.05   | 56.79    | 12.49                   | 6.81                     | 54.56            |
| 24 Juli 2024        | 98.48    | 53.00    | 12.12                   | 6.53                     | 53.83            |
| 27 Juli 2024        | 100.46   | 54.05    | 12.49                   | 6.47                     | 51.78            |
| 30 Juli 2024        | 102.05   | 55.57    | 12.64                   | 6.76                     | 53.47            |
| Rata-rata Efisiensi | 100.52   | 55.00    | 12.35                   | 6.60                     | 53.45            |

Dan untuk tabel 4.5 yang merupakan data perhitungan operasi actual setelah dilakukannya perbaikan dari bulan sebelumnya yakni dibulan juli.

Tabel 4. 5 Data perhitungan Operasi Aktual pembeding bulan agustus 2024 untuk STG 051G103 dengan Mode Extraction Condensing

| Tanggal             | Flow HPS | Flow MPS | Daya Turbin Ideal (Wti) | Daya Turbin Aktual (Wta) | Efisiensi Turbin |
|---------------------|----------|----------|-------------------------|--------------------------|------------------|
|                     | ton/jam  | ton/jam  | MW                      | MW                       | %                |
| 2 Agustus 2024      | 102.81   | 53.00    | 12.84                   | 7.11                     | 55.37            |
| 5 Agustus 2024      | 106.04   | 56.14    | 13.22                   | 7.79                     | 58.91            |
| 8 Agustus 2024      | 106.79   | 55.85    | 13.29                   | 7.50                     | 56.46            |
| 11 Agustus 2024     | 103.59   | 55.42    | 12.60                   | 7.06                     | 56.03            |
| 14 Agustus 2024     | 101.08   | 55.78    | 12.19                   | 6.47                     | 53.11            |
| 17 Agustus 2024     | 99.35    | 54.44    | 12.40                   | 6.98                     | 56.31            |
| 20 Agustus 2024     | 105.35   | 56.79    | 13.02                   | 7.58                     | 58.21            |
| 23 Agustus 2024     | 101.71   | 53.00    | 12.65                   | 7.14                     | 56.45            |
| 26 Agustus 2024     | 100.08   | 54.05    | 12.16                   | 6.57                     | 53.99            |
| 29 Agustus 2024     | 97.59    | 55.57    | 11.98                   | 6.36                     | 53.05            |
| Rata-rata Efisiensi | 102.44   | 55.00    | 12.64                   | 7.06                     | 55.79            |

#### 4.3.2 Perhitungan Data Design Efisiensi Steam Turbine Generator Mode Extraction Condensing

Perhitungan data design efisiensi steam turbine generator 051G103 akan dilakukan dengan cara perhitungan yang sama dengan perhitungan data actual maka didapat nilai efisiensi data *design* akan di tampilkan pada tabel 4.6

Tabel 4. 6 Data perhitungan Operasi design untuk STG 051G103 dengan Mode Extraction Condensing

| Data design | Flow HPS | Flow MPS | Daya Turbin Ideal (Wti) | Daya Turbin Aktual (Wta) | Efisiensi Turbin |
|-------------|----------|----------|-------------------------|--------------------------|------------------|
|             | ton/jam  | ton/jam  | MW                      | MW                       | %                |
| DESAIN      | 160.00   | 35.00    | 32.75                   | 25.37                    | 77.46            |

Dari tabel 4.6 diketahui bahwa data efisiensi design dari *Steam Turbine Generator* 051G103 yaitu sebesar 77.46%. dan nilai ini akan selalu turun seiring STG ini beroperasi.



#### 4.4 Pengaruh *Pressure*, *Temperature* dan *Flow* terhadap nilai *Enthalpy* dan *Entropy* yang Berdampak pada Nilai Efisiensi STG

Efisiensi *steam turbine generator* berkaitan dengan *enthalpy* dan *entropy*.

Pada tabel hasil perhitungan nilai STG.

Tabel 4. 7 Data sebelum dilakukannya perbaikan terhadap nilai *Enthalpy* dan *Entropy* yang Berdampak pada Nilai Efisiensi STG

| Tanggal      | Press                   | Temp    | Flow         | Entalpy (h) | Entropy (s) | Daya Aktual | Efisiensi Turbin |
|--------------|-------------------------|---------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------------|
|              | Kg/cm <sup>2</sup> (p1) | °C (t1) | Ton/jam (m1) | Joule       | J/K         | MW          | %                |
| 3 Juli 2024  | 59.93                   | 462.29  | 98.48        | 3345.40     | 6.86        | 6.53        | 53.83            |
| 6 Juli 2024  | 60.00                   | 462.07  | 102.41       | 3344.88     | 6.86        | 6.98        | 55.13            |
| 9 Juli 2024  | 61.00                   | 461.00  | 101.11       | 3342.36     | 6.85        | 6.45        | 52.24            |
| 12 Juli 2024 | 61.00                   | 462.03  | 101.25       | 3344.80     | 6.86        | 6.63        | 53.09            |
| 15 Juli 2024 | 59.60                   | 460.62  | 99.37        | 3341.47     | 6.85        | 6.35        | 53.31            |
| 18 Juli 2024 | 60.80                   | 461.72  | 99.54        | 3344.07     | 6.86        | 6.51        | 53.27            |
| 21 Juli 2024 | 60.33                   | 461.73  | 102.05       | 3344.09     | 6.86        | 6.81        | 54.56            |
| 24 Juli 2024 | 59.93                   | 462.29  | 98.48        | 3345.40     | 6.86        | 6.53        | 53.83            |
| 27 Juli 2024 | 61.67                   | 462.33  | 100.46       | 3345.37     | 6.86        | 6.47        | 51.78            |
| 30 Juli 2024 | 60.67                   | 462.37  | 102.05       | 3345.44     | 6.86        | 6.76        | 53.47            |
| Rata rata    | 60.49                   | 461.85  | 100.52       | 3344.33     | 6.86        | 6.60        | 53.45            |
| DESAIN       | 60                      | 460     | 160          | 3340        | 6.8513      | 25.37       | 77.55            |

Dari hasil pengamatan dan perhitungan untuk menentukan besaran nilai *enthalpy* dan *entropy* yakni dapat dipengaruhi dari pengaruh *Press*, *Temperature* dan *Flow* HP steam. dengan demikian menunjukkan bawasannya untuk nilai *press* dan *temperature* berada pada nilai fluktuatif yang tidak terlalu jauh dari design dengan rata rata *press* HP steam 60.49 kg/cm<sup>2</sup> dan *temperature* HP steam rata rata 461.85°C, akan tetapi yang menyebabkan efisiensi menurun pada STG ini ialah nilai *flow* yang tidak mampu mencapai nilai efisiensi yang dapat sesuai dengan design dengan rata rata 100.52 ton/jam. Dan untuk nilai *enthalpy* tertinggi dan mendekati nilai design terdapat pada tanggal 15 juli 2024 dimana nilai *press* HP steam 59.60 kg/cm<sup>2</sup>, *temperature* HP steam rata rata 460.62 °C, dan *flow* HP steam 99.37 ton/jam dengan nilai *enthalpy* sebesar 3341.47 Joule.

Tabel 4. 8 Data setelah dilakukannya perbaoikan terhadap nilai Enthalpy dan Entropy yang Berdampak pada Nilai Efisiensi STG

| Tanggal         | Press                   | Temp   | Flow         | Entalpy (h) | Entropy (s) | Daya Aktual | Efisiensi Turbin |
|-----------------|-------------------------|--------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------------|
|                 | Kg/cm <sup>2</sup> (p1) | C (t1) | Ton/jam (m1) | Joule       | J/K         | MW          | %                |
| 2 Agustus 2024  | 62.82                   | 477.16 | 102.81       | 3380.42     | 6.91        | 7.14        | 55.37            |
| 5 Agustus 2024  | 62.44                   | 485.42 | 106.04       | 3399.77     | 6.93        | 7.79        | 58.91            |
| 8 Agustus 2024  | 64.05                   | 484.05 | 106.79       | 3396.58     | 6.93        | 7.50        | 56.46            |
| 11 Agustus 2024 | 62.15                   | 475.71 | 103.59       | 3377.01     | 6.90        | 7.06        | 56.03            |
| 14 Agustus 2024 | 59.80                   | 460.93 | 101.08       | 3342.20     | 6.85        | 6.47        | 53.11            |
| 17 Agustus 2024 | 61.26                   | 470.48 | 99.35        | 3364.73     | 6.88        | 6.98        | 56.31            |
| 20 Agustus 2024 | 63.14                   | 484.49 | 105.35       | 3397.62     | 6.93        | 7.58        | 58.21            |
| 23 Agustus 2024 | 61.89                   | 477.32 | 101.71       | 3380.79     | 6.91        | 7.14        | 56.45            |
| 26 Agustus 2024 | 59.98                   | 460.27 | 100.08       | 3340.62     | 6.85        | 6.57        | 53.99            |
| 29 Agustus 2024 | 59.39                   | 458.06 | 97.59        | 3335.40     | 6.84        | 6.36        | 53.05            |
| Rata rata       | 61.69                   | 473.39 | 102.44       | 3371.52     | 6.89        | 7.06        | 55.79            |
| DESAIN          | 60                      | 460    | 160          | 3340        | 6.8513      | 25.37       | 77.55            |

Dari hasil pengamatan dan perhitungan untuk menentukan besaran nilai *enthalpy* dan *entropy* yakni dapat dipengaruhi dari pengaruh Press, *Temperature* dan *Flow* HP steam. dengan demikian menunjukkan bawasannya untuk nilai press dan *temperature* berada pada nilai fluktuatif yang tidak terlalu jauh dari design dengan rata rata press HP steam 61.69 kg/cm<sup>2</sup> dan *temperature* HP steam rata rata 473.39°C, akan tetapi yang menyebabkan efisiensi menurun pada STG ini ialah nilai *flow* yang tidak mampu mencapai nilai efisiensi yang dapat sesuai dengan design dengan rata rata 102.44 ton/jam. Dan untuk nilai *enthalpy* tertinggi dan mendekati nilai design terdapat pada tanggal 26 agustus 2024 dimana nilai press HP steam 59.98 kg/cm<sup>2</sup>, *temperature* HP steam rata rata 460.27 °C, dan *flow* HP steam 100.08 ton/jam dengan nilai *enthalpy* sebesar 3340.40 Joule.

#### 4.4.1 Analisa Hasil Pengukuran Actual Dan Design Serta Mengetahui Pressure, Temperature Untuk Menentukan Efisiensi STG

Steam turbine menjadi aspek utama dalam pembangkitan listrik tenaga uap, fungsinya adalah mengkonversi energi panas uap menjadi energi mekanik yang difungsikan untuk penggerak generator. Steam turbine beroperasi dengan *mode extraction condensing* menggunakan sebagian uap yang masuk (*high pressure steam*) untuk di ekstraksi menjadi medium

*pressure* steam kemudian digunakan untuk keperluan operasi kilang, seperti pemanasan atau penggerak peralatan lain dalam area proses kilang. Pada *steam turbine extraction condensing* karena terdapat uap yang diekstraksi, maka steam turbine ini memiliki efisiensi yang lebih kecil dibandingkan *steam turbine full condensing* dalam hal pemanfaatan energi panas uap untuk menghasilkan daya mekanik turbin seperti contohnya pada tabel 3.3 dibandingkan dengan tabel 4.5 terdapat perbedaan efisiensi nilai efisiensi pada tabel 3.3 lebih baik yakni pada nilai 66.27% sedangkan pada tabel 4.5 dengan nilai efisiensi sebesar 55.79%.

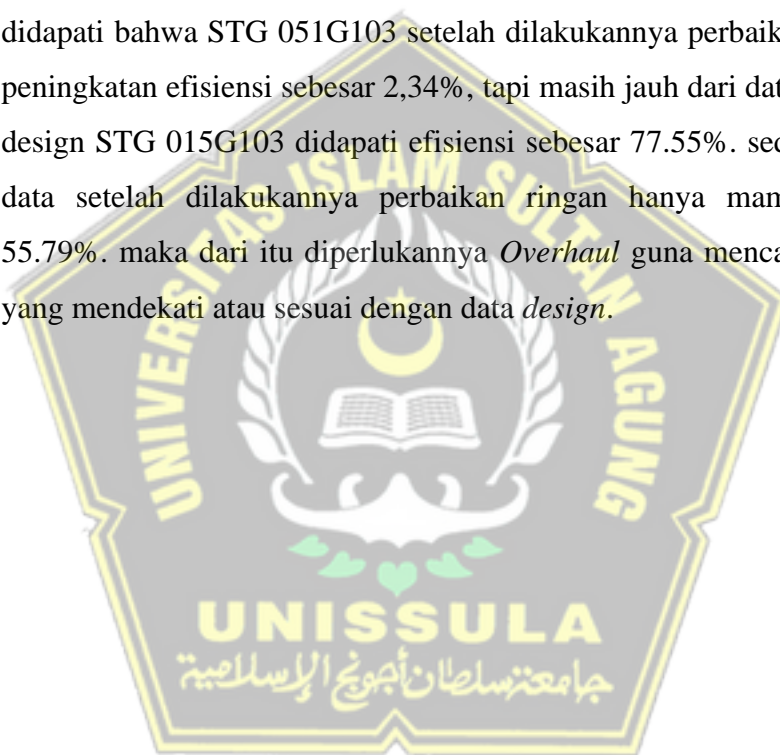
Efisiensi suatu *steam turbine generator* 051G103 berdasarkan hasil penghitungan efisiensi bergantung pada nilai *pressure*, *temperature* dan juga *flow*, Berdasarkan mode operasinya, *steam turbin* yang beroperasi dengan *mode extraction condensing* dengan efisiensi dari data design 77.55% dan rata-rata persentase nilai pengambilan data *actual* setelah perbaikan untuk efisiensi turbin sebesar 55,79% pada bulan agustus 2024, penulis menyertakan data sebelum dilakukannya perbaikan pada bulan Juli, pada bulan Juli nilai besaran efisiensi STG 051G103 mendapati nilai sebesar 53.45%.

*Pressure*, *temperature*, dan *flow* berpengaruh pada besarnya nilai *enthalpy* dan *entropy* seperti halnya pada data *design* nilai *press* HP *steam* 60 kg/cm<sup>2</sup>, *temperature* HP *steam* rata rata 460 °C dan dimana dan *flow* HP *steam* 160.00 ton/jam, dengan nilai *enthalpy* sebesar 3340 Joule dan nilai *entropy* sebesar 6.85 J/K, sedangkan untuk nilai *actual* pada tanggal 5 Agustus 2024 dimana nilai *press* HP *steam* 62.44 kg/cm<sup>2</sup>, *temperature* HP *steam* rata rata 485.42 °C, dan *flow* HP *steam* 106.04 ton/jam dengan nilai *enthalpy* sebesar 3399.77 Joule dan nilai *entropy* sebesar 6.93 J/K. menunjukkan adanya perbedaan nilai *enthalpy* bergantung pada nilai *Pressure* dan *Temperature* dan *Flow*. Untuk mendapatkan nilai *enthalpy* yang sesuai dengan data design dibutuhkan data seperti pada tanggal 5 agustus 2024.

*Flow* dan *enthalpy* berpengaruh pada daya yang dihasilkan turbin di mana daya berbanding lurus dengan *flow* atau massa fluida dan *enthalpy*. Semakin besar *flow* dan *enthalpy* maka semakin besar daya.

Efisiensi pada steam turbine dengan kata lain dapat diartikan sebagai perbandingan jumlah kerja yang dilakukan turbin terhadap jumlah energi panas (HPS) yang disuplai ke *steam turbine*, sehingga efisiensi akan lebih besar jika usaha yang dilakukan lebih banyak dengan syarat jumlah kalor yang diberikan sama.

Berdasarkan pengamatan, perhitungan dan dilakukannya Analisa didapati bahwa STG 051G103 setelah dilakukannya perbaikan mengalami peningkatan efisiensi sebesar 2,34%, tapi masih jauh dari data *design*. Data design STG 015G103 didapati efisiensi sebesar 77.55%. sedangkan untuk data setelah dilakukannya perbaikan ringan hanya mampu mencapai 55.79%. maka dari itu diperlukannya *Overhaul* guna mencapai nilai STG yang mendekati atau sesuai dengan data *design*.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Hasil pengamatan, penghitungan, dan analisis melalui data operasi aktual steam turbine 051G103, maka bisa diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai efisiensi data design steam turbine extraction condensing 051G103 adalah sebesar 77.55% pada bulan juli nilai efisiensi STG 051G103 mendapati nilai sebesar 53.45% sebelum dilakukannya perbaikan
2. Nilai efisiensi data design steam turbine extraction condensing 051G103 adalah sebesar 77.55% dan rata-rata persentase nilai perhitungan efisiensi turbin setelah dilakukannya perbaikan sebesar 55,79% pada bulan agustus 2024, maka terjadi peningkatan efisiensi sebesar 2.34%.
3. Pada hasil analisis dari data design dengan data actual terjadi penurunan efisiensi dan dari perhitungan data yang ada diketahui bahwa untuk mencapai efisiensi sesuai dengan data design diperlukan **Overhaul** STG 051G103.
4. Hasil analisis terdapat *Enthalpy* dan *entropy* yang merupakan nilai yang dipengaruhi dari *variable pressure*, *temperature* serta *flow* mendapati nilai *enthalpy* dan *entropy* rata-rata bulan agustus pada 3371.52 Joule dan 6.89 J/K sedangkan untuk bulan juli pada 3344.33 Joule dan 6.86 J/K. Yang dapat diartikan nilai optimal dari *enthalpy* dan *entropy* pada STG 051G103 pada kisaran range 3344.33– 3371.52 Joule dan kisaran range 6.86 – 6.89 J/K. Kinerja turbin sangat dipengaruhi oleh kestabilan *flow* steam, yang berbanding langsung dengan nilai *enthalpy* dan *entropy* , yang pada gilirannya mempengaruhi daya yang dihasilkan.



## 5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang bisa diperingatkan sebagai bahan masukan dari penulis adalah diantaranya :

1. Perlu menambahkan waktu penelitian agar didapat data yang lebih komprehensif
2. Perlu menambahkan data steam outlet *Boiler* untuk mengetahui nilai fluktuatif *flow* steam inlet STG
3. Perlu adanya pengambilan / pengamatan data setelah overhoul guna melakukan perbandingan efisiensi pada STG 051G 103



### DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. A. ISLAMI, "PENERAPAN PREVENTIVE MAINTENANCE PADA TURBIN UAP DI PLTU REMBANG," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 15, no. 1, 2023, doi: 10.24843/jem.2022.v15.i01.p06.
- [2] L. E. Richter, A. Carlos, and D. M. Beber, "PENGARUH KUALITAS BATU BARA TERHADAP EFISIENSI BOILER UNIT UTILITAS BATU BARA PT PETROKIMIA GRESIK MENGGUNAKAN METODE INDIRECT/ HEAT LOSS MENGACU PADA ASME PTC 4," *JTM. Vol. 11 Nomor 02 Tahun 2023, Hal 29-38*, vol. 11, no. 2, pp. 29–38, 2023.
- [3] A. R. Saifudin and G. Gunawan, "Analisis Performansi Steam Turbine Generator 1 Pada Power Plant 2 Utilities Pt Pertamina Ru V Balikpapan," *J. Rekayasa Mesin dan Inov. Teknol.*, vol. 03, no. 01, 2022.
- [4] T. Zakaria, "Penerapan Flue Gas Dual Treatment Pada Emisi Gas Buang Ketel Uap Bubling Fluidized Bed Boiler Di Pt. Ddd," *J. Intent J. Ind. dan Teknol. Terpadu*, vol. 1, no. 1, 2018.
- [5] T. Priambodo, "Analisa Perhitungan Efisiensi Daya Turbine Generator Siemens ST-300 7 MW di PTPN XI PG. Semboro," *J. Tek. Elektro Univ. Muhammadiyah Jember*, vol. 8–9, 2019.
- [6] A. Rogalev, N. Rogalev, I. Komarov, V. Kindra, and S. Osipov, "Methods for Competitiveness Improvement of High-Temperature Steam Turbine Power Plants," *Inventions*, vol. 7, no. 2, pp. 1–15, 2022, doi: 10.3390/inventions7020044.
- [7] O. W. Irawan, L. S. Pratama, and C. Insani, "Analisis Termodinamika Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap Kapasitas 1500 kW," *JTM-ITI (Jurnal Tek. Mesin ITI)*, vol. 5, no. 3, p. 109, 2021, doi: 10.31543/jtm.v5i3.579.
- [8] D. Cahyadi and Hermawan, "ANALISA PERHITUNGAN EFISIENSI TURBINE GENERATOR QFSN-300-2-20B UNIT 10 dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU REMBANG," *Lap. Kerja Prakt. Jur. Tek. Elektro Univ. Diponegoro*, vol. 2015, no. October, pp. 1–8, 2015.
- [9] H. Supandriyo, "COMBUSTION OPERATOR." p. 40, 2008.
- [10] R. Apriandi and A. Mursadin, "Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan Performance Test Pltu Pt. Indocement P-12 Tarjun," *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 1, no. 1, pp. 37–46, 2016, doi: 10.20527/sjmekinematika.v1i1.26.
- [11] FICKI CANDRA, "ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP EFISIENSI GENERATOR DI PLTU TANJUNG JATI B UNIT 1 DAN 2," *Int. J. Technol.*, vol. 47, no. 1, p. 100950, 2023.