

PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP EFISIENSI  
SISTEM TURBIN UAP PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP  
PT. HUAYUE NICKEL COBALT



LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan  
Pendidikan Diploma Tiga (D-3) Program Studi Teknik Konversi Energi  
Jurusan Teknik Mesin  
Politeknik Negeri Ujung Pandang

SAID AGIL ASHAR  
342 21 024

PROGRAM STUDI D-3 TEKNIK KONVERSI ENERGI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG  
MAKASSAR  
2024

## HALAMAN PENGESAHAN

Laporan tugas akhir dengan judul **“Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Efisiensi Sistem Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Huayue Nickel Cobalt”** oleh Said Agil Ashar NIM 24221024 dinyatakan telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya (A.Md) pada Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jember

Agung, 2018

Pe

peno

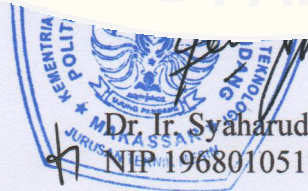
Prof. A. ...  
NIP 1978080420011

...E. ... h.I

...M.T.  
7411252001122001

Mengetahui,

UJUNG PANDANG



Dr. Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T.  
NIP. 196801051994031001

## HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Rabu 14 Agustus 2024, tim penguji Ujian Sidang Laporan Tugas Akhir telah menerima dengan baik laporan Tugas Akhir oleh Said Agil Ashar (34221024) dengan judul “Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Turbin Uap Pembangkit Tenaga Uap Tipe Sirkel Cobalt”.

Agustus 2024

Tir 1

1. Ab

2.

3.

4. Ap

5. Pro.

6. Sri Suwa

UJUNG PANDANG

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi wabarakatuh,

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Efisiensi Sistem Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Huayue Nickel Cobalt”

Dalam penulisan laporan penulisan tugas akhir tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Namun berkat bantuan berbagai pihak terutama pembimbing hambatan tersebut dapat teratasi. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan dan melalui lembaran ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Ayahanda dan Ibunda penulis tercintai serta seluruh keluarga penulis yang telah banyak memberikan dukungan doa, semangat, kasih sayang dan materinya yang tak terhingga nilainya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Ilyas Mansur, M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Bapak Dr. Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Ibu Sri Swasti, ST., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Prof. A.M. Shiddiq Yunus, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D. selaku Pembimbing I dan Ibu Sri Swasti, ST., M.T. selaku Pembimbing II yang telah mencurahkan

perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

6. Bapak Abdul Rahman, ST., M.T. selaku Wali Kelas III-A Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
7. Prof. Ir. Nur Hamzah, M.T., Ph.D. selaku dosen jurusan Teknik Mesin yang telah banyak memberikan bantuan dan arahan dalam penyelesaian tugas akhir.
8. Segenap dosen dan tenaga kependidikan Jurusan Teknik Mesin khususnya Program Studi Teknik Konversi Energi yang selama kurun waktu 3 tahun dengan ikhlas dan penuh kerelaan hati telah mendidik dan mengajar penulis.
9. Rekan-rekan seperjuangan Teknik Konversi Energi 2021, khususnya kelas III-A Teknik Konversi Energi.
10. Segenap karyawan divisi unit kerja listrik PT. Huayue Nickel Cobalt yang telah membantu selama magang dan penyusunan laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini untuk perbaikan pada masa mendatang. Semoga laporan tugas akhir ini bermanfaat bagi pembacanya.

Makassar, Agustus 2024

Penulis

Said Agil Ashar

## DAFTAR ISI

	hlm.
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
HALAMAN PENERIMAAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL .....	ix
DAFTAR SIMBOL, SATUAN, DAN/ATAU SINGKATAN .....	x
SURAT PERNYATAAN .....	xi
RINGKASAN .....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Profil Perusahaan .....	6
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) .....	7
2.2.1 Siklus Rankine .....	8
2.2.2 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Uap .....	9
2.3 Turbin Uap .....	14
2.3.1 Komponen Turbin Uap .....	15

2.3.2 Prinsip Kerja Turbin Uap .....	18
2.3.3 Klasifikasi Turbin Uap .....	19
2.4 Parameter Perhitungan Efisiensi Sistem Turbin Uap .....	21
2.5 Software <i>Steam Table</i> .....	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	25
3.2 Prosedur Penelitian .....	25
3.3 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	27
3.4 Skema PLTU PT. Huayue Nickel Cobalt .....	27
3.5 Diagram Line PLTU PT. Huayue Nickel Cobalt .....	28
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>29</b>
4.1 Data Spesifikasi .....	29
4.1.1 Data Spesifikasi Turbin Uap .....	29
4.1.2 Data Spesifikasi Generator .....	30
4.2 Data Pengamatan .....	30
4.3 Perhitungan Nilai Efisiensi Sistem Turbin Uap .....	32
4.4 Hasil Analisa Data .....	38
4.5 Grafik dan Pembahasan .....	39
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>42</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>44</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>46</b>

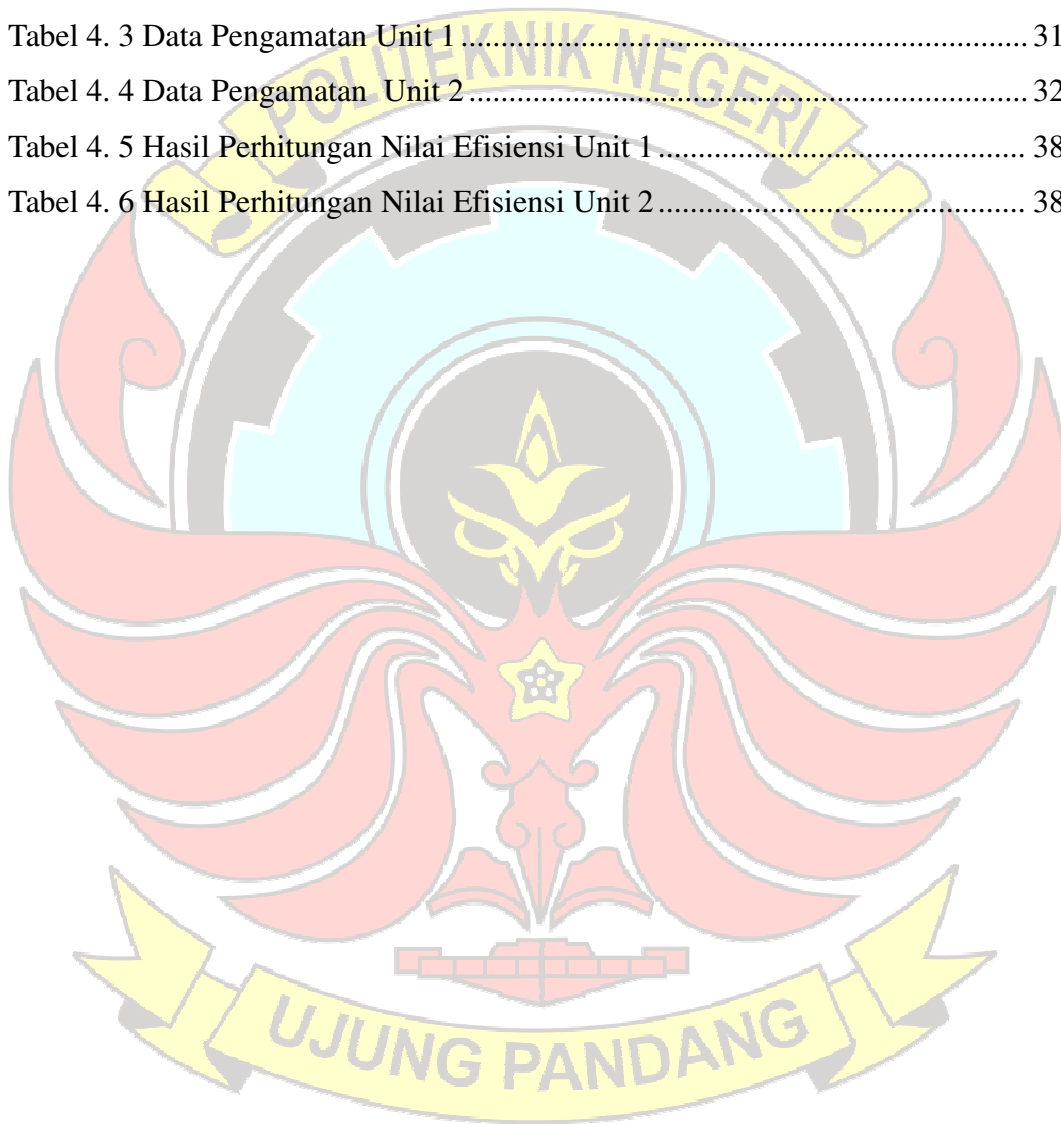
## DAFTAR GAMBAR

	hlm.
Gambar 2.1 Proses Konversi Energi .....	8
Gambar 2.2 Skema Siklus Rankine Ideal dan Diagram T-S .....	9
Gambar 2.3 Pompa .....	10
Gambar 2.4 Boiler .....	11
Gambar 2.5 Turbin Uap .....	12
Gambar 2.6 Kondensor .....	13
Gambar 2.7 Generator .....	14
Gambar 2.8 Tampilan <i>Software Calculator Steam Table</i> .....	25
Gambar 3.1 Flowchart Kegiatan Penelitian .....	28
Gambar 3.2 Skema PLTU PT. Huayue Nickel Cobalt .....	27
Gambar 3.3 Diagram Line PLTU PT.Huayue Nickel Cobalt .....	28
Gambar 4. 1 Titik-titik Pengambilan Data Pengamatan .....	30
Gambar 4. 2 Diagram T-S .....	31
Gambar 4. 3 Nilai Entalpi ( $h_1$ ) Uap Masuk Turbin Unit 1 .....	34
Gambar 4. 4 Nilai Entalpi ( $h_3$ ) Uap Keluar Turbin Unit 1 .....	35
Gambar 4. 5 Nilai Entalpi ( $h_1$ ) Uap Masuk Turbin Unit 2 .....	35
Gambar 4. 6 Nilai Entalpi ( $h_3$ ) Uap Keluar Turbin Unit 2 .....	36
Gambar 4. 7 Grafik Beban Harian Generator Periode 1-5 April 2024 .....	39
Gambar 4. 8 Grafik Efisiensi Sistem Turbin Uap terhadap Beban Generator Unit 1 .....	40
Gambar 4. 9 Grafik Efisiensi Sistem Turbin Uap terhadap Beban Generator Unit 2 .....	41



## DAFTAR TABEL

	hlm.
Tabel 4. 1 Spesifikasi Turbin Uap.....	29
Tabel 4. 2 Spesifikasi Generator .....	30
Tabel 4. 3 Data Pengamatan Unit 1 .....	31
Tabel 4. 4 Data Pengamatan Unit 2 .....	32
Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Nilai Efisiensi Unit 1 .....	38
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Nilai Efisiensi Unit 2 .....	38



## DAFTAR SIMBOL, SATUAN, DAN/ATAU SINGKATAN

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
$E_{\text{listrik}}$	MW	Beban generator
$E_{\text{uap}}$	MW	Daya keluaran turbin uap
$P_{\text{abs}}$	bar	Tekanan mutlak
$P_{\text{g}}$	bar	Tekanan terukur
$P_{\text{atm}}$	bar	Tekanan atmosfer
$T$	$^{\circ}\text{C}$	Temperatur
$\dot{m}$	kg/s	Laju aliran massa uap
$h$	kJ/kg	Nilai <i>entalpi</i>
$\eta$	%	Efisiensi

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Said Agil Ashar

NIM : 34220124

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa saya dan saya dalam laporan tugas akhir ini berjudul "Analisa dan Perancangan Berbasis Kelempakan Efisiensi Sistem Turbin Gas untuk Penerapan pada Pesawat Tempur F-35" yang berjudul "Sistem Turbin Gas untuk Penerapan pada Pesawat Tempur F-35" merupakan karya saya sendiri yang telah saya buat dengan menggunakan cara yang benar dan jujur serta tidak menyalahi peraturan yang berlaku. Saya tidak menjiplak atau menyalahgunakan hak cipta orang lain yang telah dipublikasikan dalam bentuk tulisan, gambar, atau bentuk lainnya. Saya bertanggung jawab atas risiko yang timbul akibat penggunaan karya ini.

Makassar, 2024



Said Agil Ashar

NIM 34220124

# **PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP EFISIENSI SISTEM TURBIN UAP PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP PT. HUAYUE NICKEL COBALT**

## **RINGKASAN**

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan fluida kerja berupa uap air untuk menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan bergantung pada peranan penting peralatan pada PLTU khususnya turbin uap, semakin baik kinerja dari sebuah turbin uap maka semakin besar pula energi listrik yang dihasilkan. Turbin uap merupakan komponen kunci dalam kelangsungan proses pembangkitan energi listrik yang berfungsi untuk mengkonversi energi panas menjadi energi mekanik. PLTU PT. Huayue Nickel Cobalt berkapasitas 2 x 25 MW dan telah beroperasi  $\pm 3$  tahun sehingga efisiensi sistem turbin uap pada PLTU diperkirakan mengalami penurunan akibat pengoperasian yang tidak optimal, adanya kerusakan atau keausan pada peralatan serta waktu pemeliharaan. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung pengaruh perubahan beban terhadap efisiensi sistem turbin uap PLTU PT. Huayue Nickel Cobalt.

Penelitian ini dilakukan pengambilan data operasional dari turbin uap dan generator selama 5 hari dengan prosedur penelitian yaitu studi literatur, pengumpulan data serta pengolahan dan analisa data. Untuk menentukan nilai efisiensi sistem turbin uap dibutuhkan data daya masukan atau energi uap yang dihasilkan oleh turbin yang dihitung dengan metode penurunan entalpi serta data pembebanan atau energi listrik sebagai daya keluaran yang dibangkitkan oleh generator.

Berdasarkan hasil analisa, perubahan beban atau daya yang dibangkitkan cenderung berbanding lurus terhadap efisiensi sistem turbin uap dimana semakin besar beban generator maka nilai efisiensi juga akan semakin besar. Nilai efisiensi sistem turbin uap pada PLTU terendah untuk unit 1 terjadi pada tanggal 03 April 2024 yaitu 54,20% dengan beban generator 9,08 MW dan unit 2 terjadi pada tanggal 03 April 2024 yaitu 56,02% dengan beban generator 14,99 MW. Sedangkan nilai efisiensi sistem turbin uap pada PLTU tertinggi untuk unit 1 terjadi pada tanggal 04 April 2024 yaitu 57,06% dengan beban generator 9,77 MW dan unit 2 terjadi pada tanggal 04 April 2024 yaitu 64,01% dengan beban generator 18,28 MW.

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Energi memiliki peranan sangat penting yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia saat ini. Energi merupakan salah satu kebutuhan utama dalam menunjang berbagai aspek kehidupan manusia. Sumber energi ini dapat diperoleh baik dari energi yang tak terbarukan seperti batu bara dan gas alam maupun energi baru dan terbarukan seperti air, angin dan matahari. Seiring meningkatnya laju pertumbuhan penduduk dan peningkatan pembangunan di bidang teknologi, informasi dan industri maka kebutuhan akan sumber energi khususnya energi listrik sangat diperlukan.

PT. Huayue Nickel Cobalt (PT. HYNC) merupakan salah satu perusahaan yang berada di kawasan PT Indonesia Morowali Industrial Park (IMIP) Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah. Perusahaan ini bergerak di bidang pengolahan dan pemurnian laterit nikel dengan metode hidrometalurgi pertama di Indonesia dan mengadopsi teknologi *High Pressure Acid Leaching* (HPAL) generasi ke-3 tercanggih di dunia yang memiliki karakteristik ambang teknis tinggi, memiliki dampak signifikan bagi perkembangan industri, menerapkan konservasi energi yang ramah lingkungan dan pemurnian yang komprehensif untuk berbagai logam bernilai. PT. Huayue Nickel Cobalt telah mendapatkan rekor dunia untuk smelter dengan skala terbesar paling ramah lingkungan, konstruksi tercepat dan periode *ramp-up* terpendek di antara proyek serupa (LinkedIn, PT.Huayue Nickelt Cobalt, 2024).

Sarana pendukung operasional yang berkontribusi besar terhadap keberhasilan proses produksi pada perusahaan ini yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) pada departemen *Acid Plant*, divisi unit kerja listrik dan *Water Treatment Plant* (WTP). Energi listrik yang dihasilkan bergantung pada peranan penting peralatan pada PLTU khususnya turbin uap, semakin baik kinerja dari sebuah turbin uap maka semakin besar pula energi listrik yang dihasilkan. PLTU PT. Huayue Nickel Cobalt adalah pembangkit listrik yang menggunakan belerang yang telah dicairkan hingga menjadi gas  $SO_2$  sebagai bahan bakar dalam memanaskan air didalam boiler yang kemudian menjadi uap. Uap yang dihasilkan dari hasil pembakaran tersebut kemudian disalurkan ke turbin untuk dikonversi menjadi energi mekanik berupa putaran poros pada turbin. Putaran yang dihasilkan pada turbin ini selanjutnya akan memutar rotor generator yang telah dikopel untuk menghasilkan energi listrik. PLTU PT. Huayue Nickel Cobalt terdiri atas 2 unit generator masing-masing berkapasitas 25 MW yang berfungsi untuk membangkitkan energi listrik yang akan disuplai untuk memenuhi kebutuhan listrik pada perusahaan (LinkedIn, PT.Huayue Nickel Cobalt, 2024).

Turbin uap merupakan komponen kunci dalam kelangsungan proses pembangkitan energi listrik yang berfungsi untuk mengkonversi energi panas menjadi energi mekanik. Pada pengoperasian PLTU banyak masalah yang sering terjadi salah satunya adalah penurunan efisiensi. PLTU PT. Huayue Nickel Cobalt telah beroperasi  $\pm 3$  tahun sehingga efisiensi pada turbin uap diperkirakan mengalami penurunan. Oleh karena itu, pengoperasian pada PLTU harus selalu terjaga pada kondisi optimal sehingga mampu beroperasi secara andal dan efisien.

Penelitian dengan judul “Unjuk Kerja Turbin Uap Unit 1 PLTU Barru 2 x 50 MW terhadap Perubahan Beban”. Berdasarkan hasil penelitian, pengaruh perubahan beban yang terjadi sangat berpengaruh terhadap efisiensi turbin uap dimana semakin besar beban generator maka nilai efisiensi turbin uap juga semakin besar. Efisiensi turbin uap terbaik pada penelitian ini terjadi pada beban 50 MW dengan efisiensi sebesar 33,55% (Andi Tenri Ajeng dan M. Fachmi Jamal, 2014).

Efisiensi sistem turbin uap pada PLTU akan sangat mempengaruhi kinerja dari sistem PLTU. Semakin besar efisiensinya maka keandalan sistem pembangkitan listrik juga semakin baik. Pengaruh perubahan beban yang terjadi pada harus selalu diperhitungkan dan disesuaikan dengan karakteristik peralatan untuk mempertahankan performa turbin uap serta mencapai efisiensi yang optimal. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan efisiensi untuk mengetahui apakah perubahan beban yang terjadi akan berpengaruh terhadap efisiensi sistem turbin uap.

Berdasarkan uraian diatas, maka penulis akan melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Perubahan Beban terhadap Efisiensi Sistem Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Huayue Nickel Cobalt”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh perubahan beban terhadap efisiensi sistem turbin uap Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Huayue Nickel Cobalt?

### 1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam penelitian ini, penulis membatasi permasalahan untuk menghindari meluasnya permasalahan yang dibahas dan untuk mencapai sasaran pembahasan yang terarah serta tepat. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini yaitu::

1. Studi kasus dari tugas akhir ini yaitu pengaruh perubahan beban terhadap efisiensi sistem turbin uap pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Huayue Nickel Cobalt.
2. Penelitian ini hanya membahas efisiensi sistem turbin uap pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Huayue Nickel Cobalt berdasarkan pengaruh perubahan beban. Energi uap atau daya masukan generator yang dihasilkan berdasarkan daya keluaran turbin uap dengan menggunakan metode perhitungan entalpi sedangkan energi listrik atau daya keluaran generator merupakan beban harian generator.
3. Penelitian ini dilakukan di Departemen *Acid Plant*, Devisi Unit Kerja Listrik dan WTP PT. Huayue Nickel Cobalt.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, tujuan penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:



1. Untuk menghitung pengaruh perubahan beban terhadap efisiensi sistem turbin uap pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Huayue Nickel Cobalt.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui nilai efisiensi sistem turbin uap akibat dari perubahan beban pada saat pembebanan generator Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Huayue Nickel Cobalt.
2. Menambah wawasan dan pengetahuan bagi penulis maupun pembaca tentang Pembangkit Listrik Tenaga Uap, cara menentukan nilai efisiensi sistem turbin uap serta dapat dijadikan sebagai literatur dalam penelitian berikutnya terkait pengaruh perubahan beban terhadap efisiensi sistem turbin uap pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap.
3. Dapat dijadikan sebagai acuan dan bahan evaluasi bagi Devisi Unit Kerja Listrik dan WTP untuk tetap meningkatkan dan mempertahankan performa Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Huayue Nickel Cobalt.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Profil Perusahaan

PT. Huayue Nickel Cobalt (PT. HYNC) adalah perusahaan yang berada di kawasan PT Indonesia Morowali Industrial Park (IMIP), Desa Labota, Kecamatan Bahadopi, Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah. Perusahaan ini didirikan pada Oktober 2018, tetapi mulai beroperasi di akhir November 2021 dan mencapai produksi keseluruhan pada April 2022.

PT. Huayue Nickel Cobalt bergerak di bidang pengolahan dan pemurnian laterit nikel dengan metode hidrometalurgi pertama di Indonesia dan mengadopsi teknologi *High Pressure Acid Leaching* (HPAL) generasi ke-3 terancang di dunia yang memiliki karakteristik ambang teknis tinggi, memiliki dampak signifikan bagi perkembangan industri, menerapkan konsep desain yang ramah lingkungan dan konsumsi energi yang rendah sehingga hemat energi. Perusahaan ini merupakan investasi bersama antara Huayou Cobalt (Produsen kobalt terbesar di dunia) dengan Tsingshan Group dan Cina Molybdenum. Dimana, total investasi diperkirakan mencapai 10 miliar dolar Amerika Serikat (LinkedIn, PT.Huayue Nickelt Cobalt, 2024).

## 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit energi listrik yang memanfaatkan fluida kerja berupa uap air untuk menggerakkan sudu-sudu turbin yang kemudian turbin akan memutar rotor generator yang telah dikopel untuk menghasilkan listrik. Dimana, kuantitas uap akan sangat berpengaruh terhadap putaran turbin. Uap yang masuk kedalam turbin harus dalam keadaan sangat kering sehingga mampu memutar sudu-sudu turbin dengan optimal yang kemudian akan memutar rotor generator untuk menghasilkan listrik.

Pada umumnya, PLTU menggunakan bahan bakar berupa batu bara, minyak bakar maupun gas alam akan tetapi pada PLTU PT. Huayue Nickel Cobalt menggunakan belerang sebagai bahan bakarnya yang dinilai memiliki emisi karbon yang lebih rendah. Belerang ini kemudian akan dicairkan dan melewati beberapa proses hingga menjadi gas  $SO_2$  untuk memanaskan air yang bersikulasi didalam boiler yang kemudian menjadi uap bertekanan tinggi dan bersuhu tinggi.

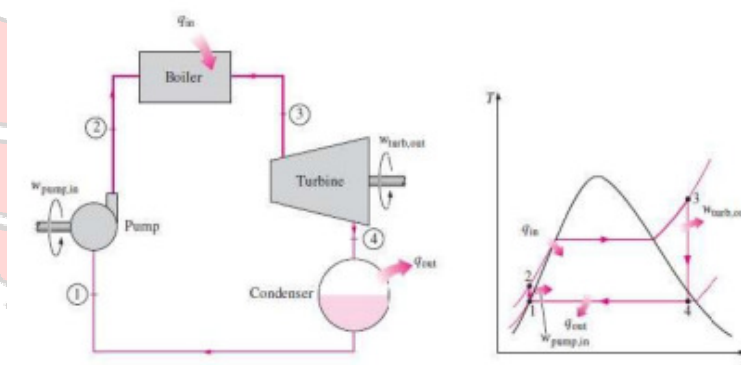
Pada PLTU untuk menghasilkan listrik terjadi sebuah proses konversi energi, diawali dari energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar dikonversi menjadi energi panas berupa uap melalui suatu proses pembakaran. Kemudian uap panas ini disalurkan ke turbin untuk dikonversi menjadi sebuah energi mekanik berupa putaran poros pada turbin. Putaran yang dihasilkan pada turbin ini selanjutnya akan memutar rotor generator yang telah dikopel untuk menghasilkan sebuah energi listrik (Perpustakaan Digital Polban, 2022).

Uap

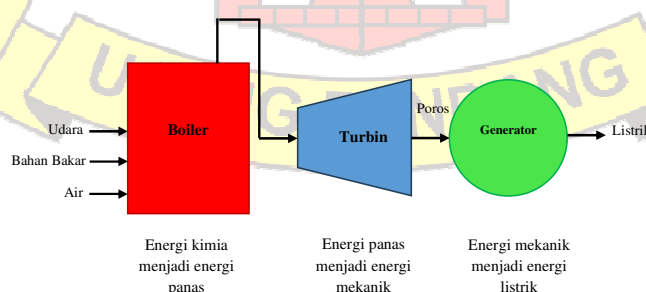
Gambar 2.1 Proses Konversi Energi  
(Sumber : Perpustakaan Digital Polban, 2022)

### 2.2.1 Siklus Rankine

Siklus Rankine atau siklus tenaga uap adalah siklus termodinamika yang memanfaatkan perubahan panas menjadi kerja. Siklus Rankine merupakan model operasi mesin uap panas yang secara umum digunakan untuk PLTU. Siklus ini



memnfaatkan air sebagai fluida kerjanya yang bersikulasi secara tertutup yang merupakan penggunaan fluida yang berulang-ulang. Siklus ini dinamai untuk mengenang ilmuwan skotlandia, William John Maquorn Rankine. Sumber panas untuk siklus



rankine adalah batu bara, gas alam, minyak bumi, nuklir, biomassa dan panas matahari. Siklus rankine secara sederhana terdiri atas komponen utama yaitu pompa, boiler, turbin uap dan kondensor.



Gambar 2.2 Skema Siklus Rankine Ideal dan Diagram T-S  
(Sumber: Cengel, Y. A dan Boles M. A, 2006)

Pada siklus rankine terdapat 4 proses dimana setiap siklus mengubah keadaan fluida (tekanan dan/atau wujud) sebagai berikut (Cengel, Y. A dan Boles M. A, 2006):

1. Proses 1 - 2 : Kompresi isentropis pada pompa.
2. Proses 2 - 3 : Penambahan kalor dengan tekanan konstan di boiler.
3. Proses 3 - 4 : Ekspansi isentropis pada turbin.
4. Proses 4 - 1 : Pelepasan kalor dengan tekanan konstan pada kondensor.

### 2.2.2 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Adapun komponen utama dalam Pembangkit Listrik Tenaga Uap yaitu sebagai berikut:

## 1. Pompa

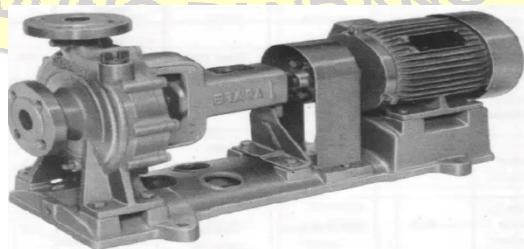
Pompa adalah alat untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat lain yang bekerja atas dasar mengkonversikan energi mekanik menjadi energi kinetik. Energi mekanik yang diberikan alat tersebut digunakan untuk meningkatkan kecepatan dan tekanan atau elevasi (ketinggian).

Pada PLTU pompa terdiri atas berbagai jenis dan fungsi salah satunya adalah *boiler feed pump*. Pompa ini berfungsi untuk mensuplai air dalam proses pembakaran di dalam boiler dan juga mengatur tekanan fluida kerja yang masuk boiler (Raufi, 2016).

Gambar 2.3 Pompa  
(Sumber : Yusup Supriyatno, 2013)

## 2. Boiler

Boiler adalah salah satu komponen utama dalam PLTU yang berbentuk tangki, drum maupun tabung yang digunakan untuk menghasilkan uap. Uap dihasilkan dengan



memanfaatkan energi panas yang didapatkan dari hasil pembakaran bahan bakar seperti batu bara, minyak bumi dan gas alam. Pembakaran ini dilakukan secara terus menerus didalam ruang bakar dengan menyuplai bahan bakar dan udara dari luar. Didalam boiler terdiri atas 2 katup yaitu sistem air masuk (*water-inlet*) dan uap air keluar (*steam-outlet*) (Nurhening Yuniarti dan Ilham Wisnu, 2019).



Gambar 2.4  
(Sumber : PT.  
Cobalt)

Boiler  
Huayue Nickel

3. Turbin

Uap

Turbin uap

adalah komponen utama dalam proses pembangkitan listrik yang mengandalkan uap air sebagai fluidanya dalam menggerakkan poros turbin. Turbin uap berfungsi sebagai penggerak mula untuk mengkonversi energi panas yang dihasilkan boiler menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Uap dengan tekanan dan temperatur yang tinggi diekspansikan melalui *nozzel* pada turbin sehingga kecepatannya naik dan mengarah dengan tepat untuk mendorong sudu-sudu turbin yang dipasang pada poros turbin. Poros

turbin yang bergerak karena dorongan uap tersebut selanjutnya akan menghasilkan putaran atau energi mekanik (Raufi, 2016).

Gambar 2.5  
(Sumber : PT.  
Nickel Cobalt)



Turbin Uap  
Huayue

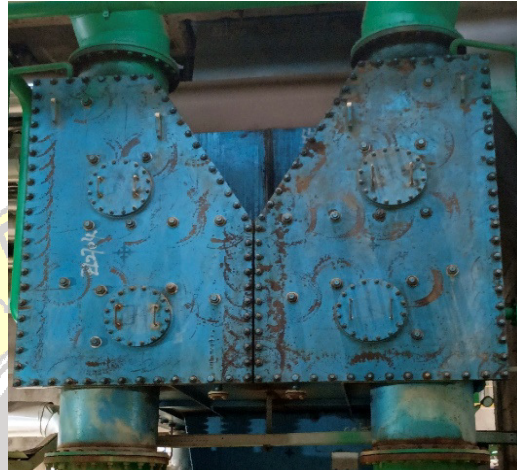
#### 4. Kondensor

Raufi (2018) menyatakan bahwa “Kondensor merupakan alat penukar kalor berfungsi untuk mengubah uap keluaran dari turbin menjadi air”. Proses perubahan uap ke air biasa disebut proses kondensasi. Pada proses kondensasi, kondisi kondensor dalam keadaan vakum. Air hasil proses kondensasi ini disebut air kondensat. Air kondensat tersebut selanjutnya disirkulasikan kembali ke boiler untuk diproses kembali menjadi uap.

Prinsip kerja dari kondensor yaitu dengan cara mengalirkan uap kedalam sebuah wadah yang berisi pipa-pipa. Uap yang mengalir diluar pipa-pipa disebut sisi shell sedangkan air pendingin yang mengalir dalam



sebuah pipa yang berasal dari cooling tower dengan media air laut disebut sisi tube (Raufi, 2016).



Gambar 2.6 Kondensor  
(Sumber : PT. Huayue Nickel Cobalt)

## 5. Generator

Generator adalah salah satu komponen penting yang digunakan sebagai alat pembangkit energi listrik. Generator berfungsi untuk mengkonversi energi mekanik yang dihasilkan dari putaran poros turbin menjadi energi listrik. Putaran yang dihasilkan pada poros turbin tersebut akan memutar rotor generator yang telah dikopel sehingga ketika turbin berputar maka rotor generator akan ikut berputar dan menghasilkan listrik. Prinsip kerja dari generator berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik yaitu timbulnya GGL (Gaya Gerak Listrik) pada penghantar listrik akibat dari adanya perubahan medan magnet disekitar penghantar.



Gambar 2.7 Generator  
(Sumber : PT. Huayue Nickel Cobalt)

Generator sinkron merupakan sebuah alat konversi energi yang mengkonversi energi mekanik dalam bentuk putaran rotor generator yang telah dikopel dengan turbin yang bertindak sebagai penggerak mula dengan putaran konstan menjadi energi listrik yang diperoleh dari proses induksi elektromagnetik pada rotor dan stator dengan tegangan keluaran arus bolak balik (AC). Apabila hal ini tidak dipenuhi maka dapat menyebabkan frekuensi yang dihasilkan generator tidak sesuai dengan yang diinginkan (Multazam, 2021).

### 2.3 Turbin Uap

Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin, langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung pada jenis mekanisme yang digerakkan, turbin uap dapat digunakan

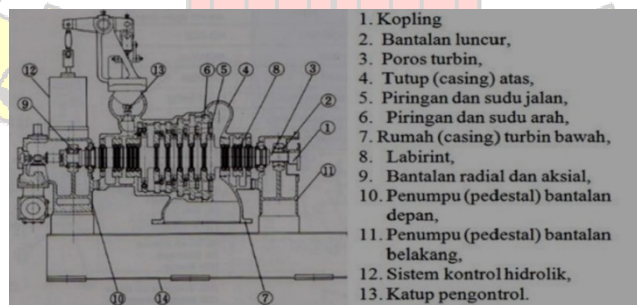
pada berbagai bidang industri, untuk pembangkit tenaga listrik dan untuk transportasi (P.Shlyakhin, 1999).

Sebuah sistem turbin uap generator yang digunakan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berfungsi untuk mengkonversi energi panas dari uap superheater menjadi mekanik. Proses yang terjadi adalah energi panas yang ditunjukkan oleh gradien/perubahan temperatur dikonversikan oleh turbin menjadi energi kinetik dan sudu-sudu turbin mengkonversikan energi kinetik ini menjadi energi mekanik pada poros/*shaft*. Pada akhirnya, generator mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik uap bekas dari turbin dikondensasi menjadi air kondensat melalui pipa-pipa pendingin yang dipompakan kembali ke daerator oleh pompa kondensat (Aprilia, 2021).

### 2.3.1 Komponen Turbin Uap

Menurut Purba (2018), pada dasarnya turbin uap terdiri dari 2 bagian utama yaitu rotor dan stator yang merupakan utama pada turbin kemudian ditambah komponen lainnya. Adapun bagian-bagian penting dalam penyusun kinerja turbin

uap dapat dilihat seperti gambar berikut ini yaitu:



Gambar 2.8 Komponen Turbin Uap  
(Sumber : Johanes Purba, 2018)

1. Kopling

Kopling merupakan komponen yang berfungsi sebagai penghubung antara mekanisme turbin uap dengan mekanisme yang digerakkan.

2. Bantalan Luncur

Bantalan luncur merupakan komponen yang berfungsi untuk menyokong kedua ujung poros dan bantalan menerima beban.

3. Poros Turbin

Poros turbin merupakan komponen utama tempat dipasangnya cakram-cakram sepanjang sumbu.

4. Tutup (*Casing*) Atas

Tutup (*Casing*) atas merupakan komopone yang berfungsi sebagai penutup bagian-bagian utama turbin.

5. Piringan dan Sudu Jalan

Piringan dan sudu jalan adalah beberapa sudu yang berfungsi menerima dan merubah energi steam yang masuk menjadi energi kinentik yang akan memutar generator.

6. Piringan Sudu Arah

Piringan sudu arah merupakan sudu-sudu dalam turbin yang berfungsi untuk menerima dan mengarahkan kemana selanjutnya steam yang masuk.

7. Rumah (*Casing*) Turbin Bawah

Rumah (casing) turbin bawah adalah suatu wadah berbentuk menyerupai sebuah tabung dimana rotor ditempatkan.

#### 8. Labirint

Labirint adalah bagian turbin yang mempunyai fungsi yang sama dengan *gland packing*, yaitu menyekat apabila terjadi kebocoran baik uap atau oli.

#### 9. Bantalan Radial dan Aksial

Bantalan radial adalah bagian turbin yang berfungsi untuk menahan gaya radial atau gaya tegak lurus rotor. Bantalan aksial adalah bagian turbin yang berfungsi untuk menahan atau menerima gaya aksial atau gaya sejajar terhadap poros yang merupakan gerakan maju mundurnya poros rotor.

#### 10. Penumpu (Pedestal) Bantalan Depan

Penumpu (pedestal) bantalan depan adalah salah satu komponen yang berfungsi sebagai bantalan untuk menumpu poros depan.

#### 11. Penumpu (Pedestal) Bantalan Belakang

Penumpu bantalan belakang adalah salah satu komponen yang berfungsi sebagai bantalan untuk menumpu poros belakang.

#### 12. Sistem Kontrol Hidrolik

Sistem kontrol hidrolik adalah fasilitas yang digunakan dengan menggunakan media penghantar cairan fluida untuk mendapatkan yang lebih besar dari sumber daya yang dikeluarkan.

#### 13. Katup Pengontrol

Katup pengontrol adalah katup pneumatik yang berfungsi untuk mengontrol laju aliran udara bertekanan yang masuk kedalam silinder, sehingga gerakan piston dalam silinder bisa diperlambat ataupun dipercepat.

### 2.3.2 Prinsip Kerja Turbin Uap

Skema dari sebuah sistem turbin uap adalah siklus tertutup. Sistem tersebut terdiri dari beberapa komponen utama yaitu ketel uap atau boiler, turbin yang menggerakkan beban, kondensor dan pompa air ketel. Dengan demikian turbin hanya merupakan salah satu komponen saja dari suatu sistem tenaga. Di dalam turbin, tekanan dan temperatur uap turun, selama itu uap meninggalkan turbin dan masuk ke dalam kondensor.

Menurut hukum termodinamika, kerja yang dihasilkan oleh suatu proses siklus adalah sama dengan jumlah perpindahan kalor pada fluida kerja selama proses siklus tersebut berlangsung. Selanjutnya, secara singkat prinsip kerja turbin uap adalah sebagai berikut:

1. Uap masuk ke dalam turbin melalui nosel. Di dalam nosel energi panas dari uap diubah menjadi energi kinetis dan uap mengalami pengembangan.
2. Tekanan uap pada saat keluar dari nosel, lebih kecil dari pada saat masuk ke dalam nosel, akan tetapi sebaliknya kecepatan uap keluar nosel lebih besar dari pada saat masuk kedalam nosel.
3. Uap yang memancar keluar dari nosel diarahkan ke sudu-sudu turbin yang berbentuk lengkung dan dipasang di sekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah-celah di antara sudu-sudu turbin itu dibelokkan

arahnya mengikuti lengkungan dari sudu turbin. Perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong sudu dan kemudian memutar roda dan poros turbin.

4. Jika uap masih mempunyai kecepatan saat meninggalkan sudu turbin, berarti hanya sebagian energi kinetis dari uap yang diambil oleh sudu-sudu turbin yang berjalan. Supaya energi kinetis yang tersisa saat meninggalkan sudu turbin dapat dimanfaatkan, maka pada turbin umumnya dipasang lebih dari satu baris sudu gerak. Sebelum memasuki baris kedua sudu gerak, arah kecepatan uap harus diubah lebih dahulu.
5. Maka di antara baris pertama dan baris kedua sudu gerak dipasang satu baris sudu tetap (guide blade) yang berguna untuk mengubah arah kecepatan uap, supaya uap dapat masuk ke baris kedua sudu gerak dengan arah yang tepat.

Kecepatan uap saat meninggalkan sudu gerak yang terakhir harus dapat dibuat sekecil mungkin, agar energi kinetis yang tersedia dapat dimanfaatkan sebanyak mungkin. Dengan demikian efisiensi turbin menjadi lebih tinggi karena kehilangan energi relatif kecil (Purba, 2018).

### 2.3.3 Klasifikasi Turbin Uap

1. Berdasarkan Jumlah Tingkat Tekanan

- Turbin satu tingkat merupakan kombinasi antara *nozzle* dan sudu gerak dalam turbin paling sederhana. Turbin ini berkapasitas kecil dan

kebanyakan dipakai untuk untuk menggerakkan kompressor, blower dan mesin yang serupa (P.Shlyakhin, 1999).

- Turbin nekatingkat (impuls dan reaksi) merupakan turbin yang terdiri dari 2 deretan sudu atau lebih sehingga turbin tersebut terjadi distribusi kecepatan dan juga tekanan. Turbin ini berkapasitas yang luas dari yang kecil hingga yang besar (P.Shlyakhin, 1999).

## 2. Berdasarkan Arah Aliran Uap

- Turbin aksial merupakan turbin yang uapnya mengalir dalam arah yang sejajar terhadap poros turbin.
- Turbin radial merupakan turbin yang uapnya mengalir dalam arah yang tegak lurus terhadap poros turbin.

## 3. Berdasarkan Jumlah Silinder

- Turbin silinder tunggal
- Turbin silinder ganda
- Turbin tiga silinder atau lebih

## 4. Berdasarkan Prinsip Aksi Uap

- Turbin impuls merupakan turbin yang energi potensial uapnya diubah menjadi energi kinetik didalam nosel yang dibentuk oleh sudu-sudu diam yang berdekatan dan didalam sudu-sudu gerak, energi kinetik uap diubah menjadi energi mekanik (P.Shlyakhin, 1999).
- Turbin reaksi merupakan turbin dengan proses ekspansi (penurunan tekanan) yang terjadi baik didalam baris sudu tetap maupun sudu gerak, energi termal uap diubah menjadi energi kinetik di sudu-sudu



penghantar dan sudu-sudu jalan, dan kemudian gaya reaksi dan uap akan mendorong sudu sudu untuk berputar. Turbin reaksi disebut juga turbin Parsons sesuai dengan nama pembuat turbin pertama, yaitu Sir Charles Parsons (Suyanto, 2010).

#### 5. Berdasarkan Proses Penurunan Kalor

- Turbin kondensasi merupakan uap yang keluar dari turbin dikondensasikan dalam kondensor dengan tujuan mendapatkan tekanan lawan yang cukup rendah, sehingga menghasilkan daya yang tinggi. Kemudian air hasil kondensasi dapat disirkulasikan kembali kedalam ketel (Aprilia, 2021).
- Turbin tekanan lawan merupakan turbin uap yang uap buang dipakai untuk keperluan-keperluan industri dan pemanasan ke dalam turbin. Tekanan uap meninggalkan turbin (tekanan lawan) diatur sesuai dengan tekanan uap pemanasan. Dengan demikian, tekanan dan temperatur uap dari ketel harus diatur berdasarkan tekanan, temperatur uap pemanasan dan daya yang dihasilkan efisiensi serta konsumsi uap untuk turbin (Aprilia, 2021).

#### 2.4 Parameter Perhitungan Efisiensi Sistem Turbin Uap

Efisiensi merupakan persamaan yang penting dalam termodinamika untuk mengetahui seberapa baik proses konversi energi yang terjadi. Efisiensi sistem turbin uap pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap diartikan sebagai perbandingan antara energi listrik atau daya yang dibangkitkan oleh generator terhadap energi

uap atau daya masukan (input) generator atau daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin. Sebagaimana diketahui bahwa daya masukan generator berupa energi mekanik dari turbin, sehingga daya masukan generator akan sama dengan daya keluaran turbin karena generator dan turbin dikopel dan bekerja sama untuk menghasilkan energi listrik. Untuk mencari daya yang dihasilkan turbin dapat dicari dengan perhitungan entalpi. Adapun rumus untuk menghitung energi uap keluaran turbin dinyatakan dalam persamaan berikut.

a. Nilai Tekanan Absolut

Asrori dkk. (2021) menyatakan bahwa tekanan absolut merupakan jumlah dari tekanan terukur dan tekanan atmosfer. Jika tekanan *gauge* bernilai minus maka tekanan atmosfer dikurangi dengan tekanan *gauge*. Adapun untuk mencari nilai tekanan absolut dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$P_{abs} = P_g + P_{atm} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana:

- $P_{abs}$  : Tekanan mutlak (bar)
- $P_g$  : Tekanan terukur atau *gauge* (bar)
- $P_{atm}$  : Tekanan Atmosfir (bar)

b. Nilai Entalpi Uap Masuk dan Keluar Turbin

Untuk mencari nilai entalpi uap masuk dan uap keluar pada turbin uap dapat menggunakan *Software Engineering Calculator Steam Table* ntuk mempermudah dalam mencari nilai entalpi.

c. Nilai Energi Uap ( $E_{Uap}$ )

Untuk menghitung nilai energi uap pada turbin uap dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E_{Uap} = \dot{m}_1 (h_1 - h_3) \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana:

$E_{Uap}$  : Energi Uap (MW)

$\dot{m}_3$  : Laju aliran massa uap (kg/s)

$h_1$  : Nilai entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)

$h_3$  : Nilai entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)

Setelah mendapatkan energi uap pada turbin uap selanjutnya menentukan nilai efisiensi sistem turbin uap. Adapun rumus untuk menghitung nilai efisiensi sistem turbin uap dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\eta = \frac{E_{listrik}}{E_{Uap}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana:

$\eta$  : Efisiensi (%)

$E_{listrik}$  : Beban generator (MW)

$E_{Uap}$  : Energi Uap (MW)

Semakin besar nilai efisiensi sistem turbin uap maka semakin besar pula daya keluaran yang dihasilkan. Selain itu, efisiensi sistem turbin uap juga akan mempengaruhi kerja dari sistem pembangkit secara keseluruhan.

### 2.5 Software *Steam Table*

Untuk mendapatkan nilai entalpi dapat menggunakan tabel uap yang bersifat superheated. Perhitungan ini dapat menggunakan cara interpolasi dengan

menggunakan tabel uap A-4 dimana hal ini dimaksud untuk menentukan nilai yang berada diantara dua nilai yang diketahui. Interpolasi ini didasarkan pada teori perbandingan.

Adapun langkah untuk mempermudah perhitungan entalpi dapat menggunakan *Software Engineering Calculator Steam Table*. *Software* ini merupakan perangkat lunak yang menyediakan data yang akurat sifat termodinamika dan fisik untuk air dan uap (*steam*). *Software Steam Tab* ini digunakan untuk pengolahan data nilai entalpi dan entropi pada proses termodinamika (Muharrir, 2021).

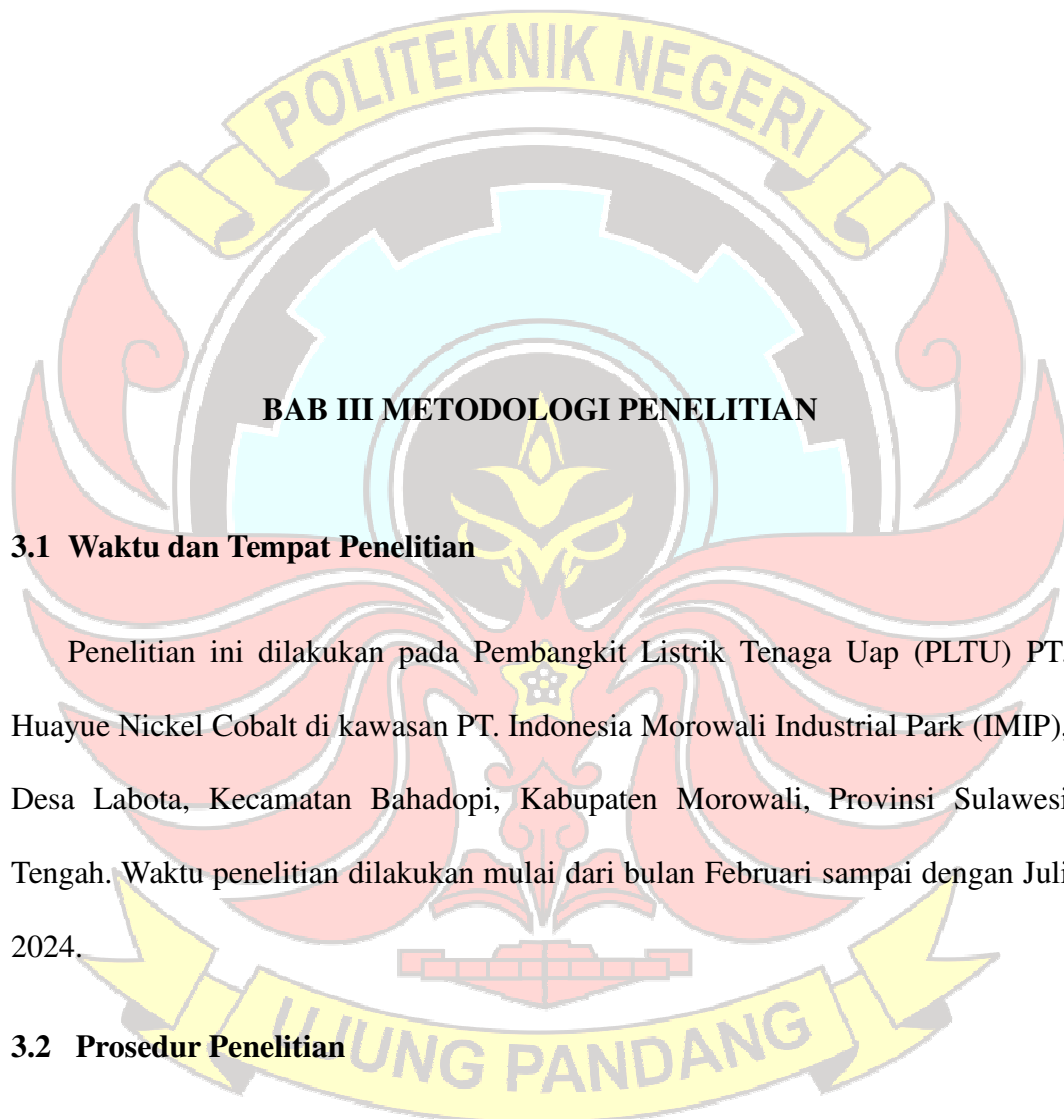
Dalam *Table*, untuk pada siklus diperlukan data suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) dan tekanan (bar).  
 $1 \text{ bar} = 100,000 \text{ Pa}$   
MPa. Berikut

Input Data		Units: SI
Steam Pressure	59.913	barG
Steam Temperature [?]	437.8	°C
<input type="button" value="Show Advanced Options"/>		
<input type="button" value="Calculate"/>		
<input type="button" value="Clear"/>		
Specific Enthalpy of Superheated Steam	3271.49	kJ/kg
Specific Volume of Superheated Steam	0.0502027	m³/kg
Specific Heat of Superheated Steam	2.46591	kJ/kg K
Viscosity of Superheated Steam	0.0260444	mPa s
<b>Result</b>		

*Software Steam* mencari nilai entalpi termodinamika, temperature atau pressure atau Tekanan uap (*steam*)  
 $= 100 \text{ kpa} = 0,1$   
adalah tampilan

*Software Engineering Calculator Steam Table*:

Gambar 2.8 Tampilan *Software Calculator Steam Table*



## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Huayue Nickel Cobalt di kawasan PT. Indonesia Morowali Industrial Park (IMIP), Desa Labota, Kecamatan Bahadopi, Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah. Waktu penelitian dilakukan mulai dari bulan Februari sampai dengan Juli 2024.

### **3.2 Prosedur Penelitian**

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

a. Studi Literatur

Studi literatur ini dilakukan untuk mencari info terkait Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Referensi dikumpulkan dari berbagai jurnal, tugas

akhir, buku dan halaman web yang dapat menunjang dan membantu proses penyelesaian tugas akhir.

b. Pengumpulan Data

Pengumpulan data ini dilakukan untuk mempermudah proses pengerjaan penelitian tugas akhir. Data-data yang diambil dalam penelitian ini yaitu:

1. Data spesifikasi turbin dan generator
2. Data beban harian generator
3. Data pada turbin uap (laju aliran massa uap masuk, suhu uap masuk, tekanan uap masuk, suhu uap keluar dan tekanan uap keluar)

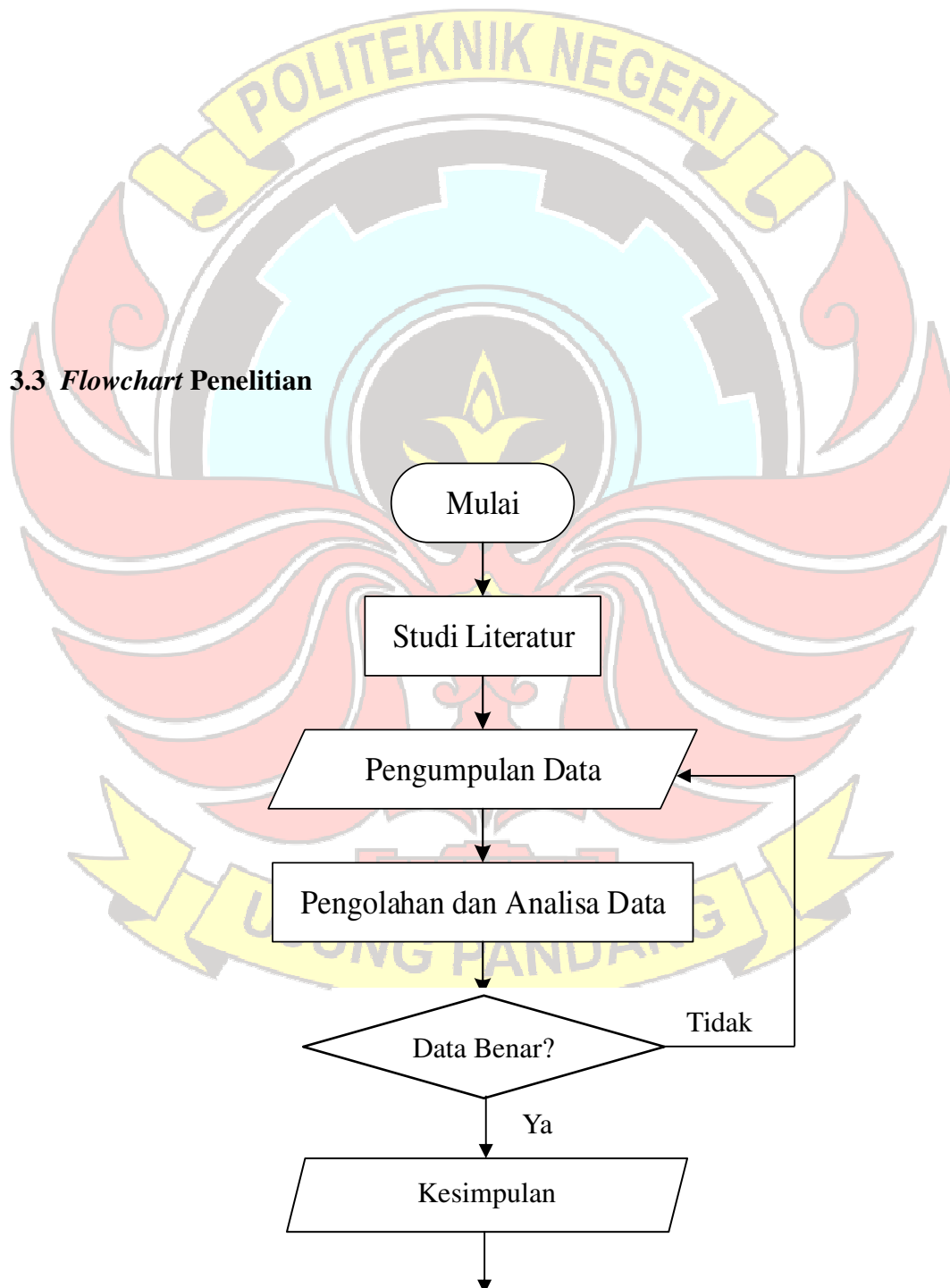
c. Pengolahan Data dan Analisa Data

Pengolahan data dilakukan setelah data yang dikumpulkan telah lengkap. Data yang diperoleh kemudian diolah menentukan nilai efisiensi sistem turbin uap. Untuk mengetahui hal tersebut dilakukan analisa data sebagai berikut:

1. Menentukan nilai tekanan absolut suhu uap masuk dan suhu uap keluar pada turbin uap dengan menggunakan persamaan (2.1).
2. Menentukan nilai entalpi uap masuk dan entalpi uap keluar pada turbin uap menggunakan *Software Engineering Calculator Steam Table* dengan menggunakan persamaan (2.2).
3. Menghitung nilai energi uap yang dihasilkan pada turbin uap dengan menggunakan persamaan (2.3).
4. Menghitung nilai efisiensi sistem turbin uap dengan menggunakan persamaan (2.4).

5. Menyajikan data efisiensi turbin uap dalam bentuk tabel dan grafik.

### 3.3 *Flowchart* Penelitian



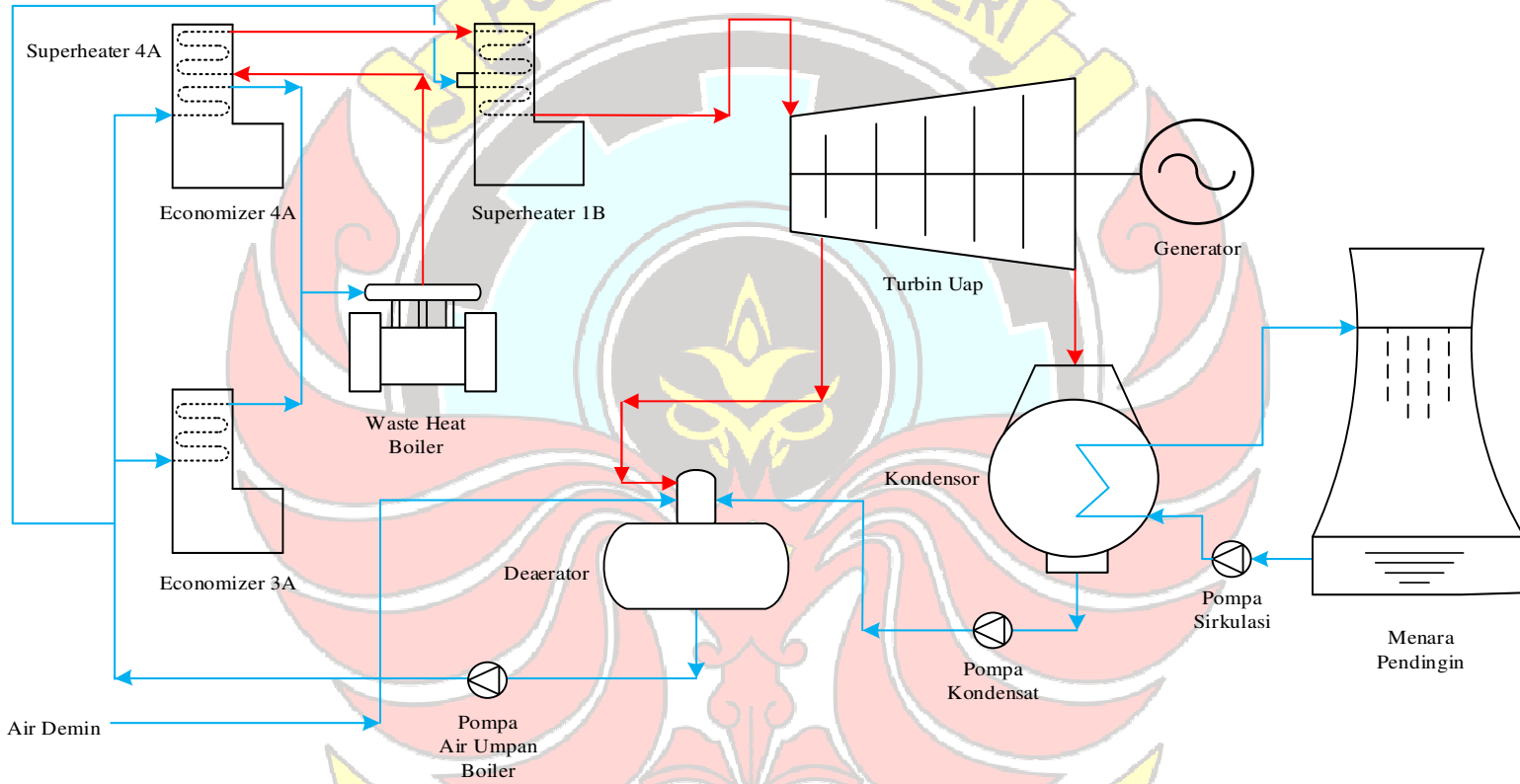
Selesai

Gambar 3.1 Flowchart Kegiatan Penelitian



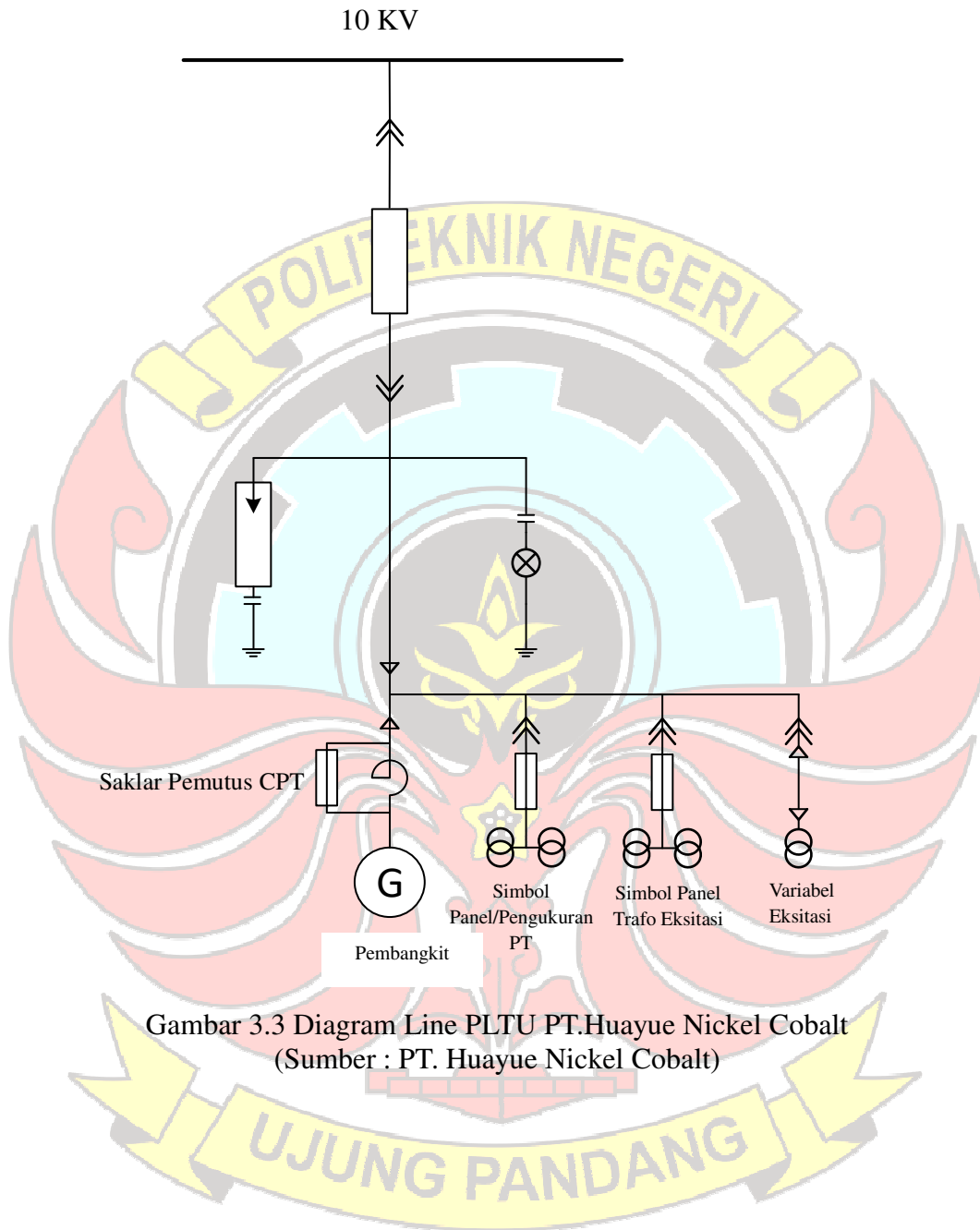


3.4 Skema PLTU PT. Huayue Nickel Cobalt



Gambar 3.2 Skema PLTU PT. Huayue Nickel Cobalt  
(Sumber : PT. Huayue Nickel Cobalt)

### 3.5 Diagram Line PLTU PT. Huayue Nickel Cobalt



Gambar 3.3 Diagram Line PLTU PT.Huayue Nickel Cobalt  
(Sumber : PT. Huayue Nickel Cobalt)

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian di Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Huayue Nickel Cobalt dilakukan dengan metode studi literatur dan pengumpulan data. Untuk mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap efisiensi sistem turbin uap dibutuhkan beberapa data untuk mempermudah dalam proses penelitian. Adapun data yang dikumpulkan yaitu data spesifikasi turbin uap dan generator yang diperoleh berdasarkan manual book serta data pengamatan yang diperoleh berdasarkan data operasional atau logsheet selama jangka waktu 5 hari pada PLTU PT. Huayue Nickel Cobalt.

### 4.1 Data Spesifikasi

#### 4.1.1 Data Spesifikasi Turbin Uap

Tabel 4. 1 Spesifikasi Turbin Uap

Model Turbin	C25-6.1/0.9
Daya	25 MW
Kecepatan Kerja	3000 r/min
Tekanan Uap Utama	6.1 <sup>+</sup> -0.5 Mpa
Suhu Uap Utama	435 <sup>+10</sup> ,-15°C
Tekanan Ekstraksi	0.9 Mpa
Laju Aliran Uap	125 t/h
Suhu Air Pendingin	Min : 20 °C, Max : 33°C

Sumber : Wei Wenbin, 2021

#### 4.1.2 Data Spesifikasi Generator

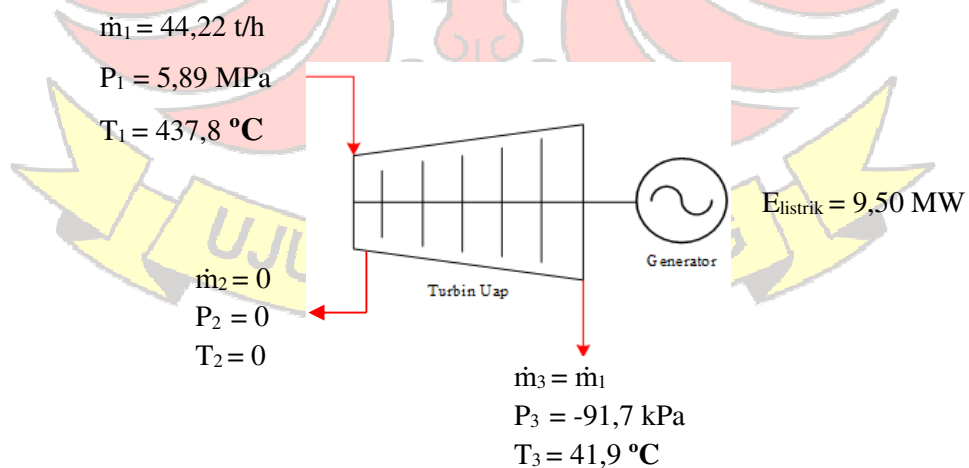
Tabel 4. 2 Spesifikasi Generator

Model Generator	QF-25-2
Kapasitas	31250 kVA
Daya	25000 kW = 25 MW
Tegangan	10500 V
Arus	1720 A
Faktor Daya	0.8
Kecepatan	3000 r/min
Frekuensi	50 Hz
Efisiensi Beban 100%	97.61%

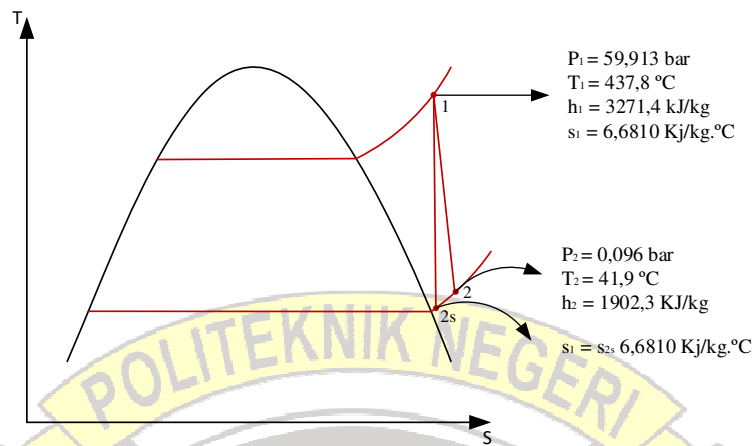
Sumber : Wei Wenbin, 2021

#### 4.2 Data Pengamatan

Data operasional diperoleh dari logsheet PLTU PT. Huayue Nickel Cobalt dan monitoring DCS.



Gambar 4. 1 Titik-titik Pengambilan Data Pengamatan



Gambar 4. 2 Diagram T-S

Pengambilan data dilakukan selama 5 hari yaitu dari tanggal 1 April 2024 sampai 5 April 2024. Nilai yang digunakan adalah nilai rata-rata dalam 24 jam operasional. Hasil dari pengamatan data disajikan dalam bentuk tabel dengan data beban harian generator, laju aliran massa uap, tekanan uap masuk turbin uap, suhu uap masuk turbin uap, tekanan uap keluar turbin uap menuju kondensor serta suhu uap keluar turbin uap menuju kondensor. Adapun data hasil pengamatan adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Data Pengamatan unit 1

Tanggal	$P_{\text{Beban}}$ MW	$\dot{m}_1$ t/h	$P_1$ MPa	$P_3$ kPa	$T_1$ °C	$T_3$ °C
01/04/2024	9,50	44,22	5,89	-91,7	437,8	41,9
02/04/2024	9,42	42,26	5,89	-91,5	437,6	41,6
03/04/2024	9,08	42,48	5,89	-92,1	436,6	41,3
04/04/2024	9,77	44,74	5,89	-91,8	437,4	41,8
05/04/2024	9,55	44,28	5,89	-91,7	437,5	41,9

Tabel 4. 4 Data Pengamatan unit 2

Tanggal	$P_{\text{Beban}}$	$\dot{m}_1$	$P_1$	$P_3$	$T_1$	$T_3$
	MW	t/h	MPa	kPa	°C	°C
01/04/2024	16,30	65,66	5,88	-92,4	437,8	41,3
02/04/2024	16,25	64,65	5,89	-92,2	437,3	41,1
03/04/2024	14,99	63,18	5,89	-92,5	436,9	40,3
04/04/2024	18,28	75,78	5,88	-92,7	438,2	41,8
05/04/2024	17,25	70,34	5,88	-92,6	437,6	41,5

### 4.3 Perhitungan Nilai Efisiensi Sistem Turbin Uap

Diketahui bahwa energi uap berupa energi mekanik dari turbin yang dihasilkan dengan menggunakan metode perhitungan entalpi, sedangkan energi listrik merupakan beban generator. Sebagai contoh perhitungan, digunakan sampel data tabel 4.3 dan tabel 4.4 pada tanggal 1 April 2024 turbin unit 1 dan unit 2.

#### 4.3.1 Nilai Tekanan Absolut

Tekanan absolut merupakan tekanan yang berada diatas nol absolut atau sering disebut dengan tekanan total antara jumlah dari tekanan atmosfer dan tekanan terukur.

##### a. Unit 1

Tekanan absolut uap masuk:

Diketahui :  $P_1 = 5,89 \text{ MPa} = 58,9 \text{ bar}$

$P_{\text{atm}} = 1,013 \text{ bar}$

Ditanyakan :  $P_{\text{abs1}} = \dots?$

Penyelesaian :  $P_{\text{abs1}} = P_1 + P_{\text{atm}}$

$$= 58,9 \text{ bar} + 1,013 \text{ bar}$$

$$= 59,913 \text{ bar}$$

Tekanan absolut uap keluar ke kondensor

Diketahui :  $P_3 = -91,7 \text{ kPa} = -0,917 \text{ bar}$

$$P_{\text{atm}} = 1,013 \text{ bar}$$

Ditanyakan :  $P_{\text{abs3}} = \dots?$

Penyelesaian :  $P_{\text{abs3}} = P_{\text{atm}} - P_3$

$$= 1,013 \text{ bar} - 0,917 \text{ bar}$$

$$= 0,096 \text{ bar}$$

b. Unit 2

Tekanan absolut uap masuk:

Diketahui :  $P_1 = 5,88 \text{ MPa} = 58,8 \text{ bar}$

$$P_{\text{atm}} = 1,013 \text{ bar}$$

Ditanyakan :  $P_{\text{abs1}} = \dots?$

Penyelesaian :  $P_{\text{abs1}} = P_1 + P_{\text{atm}}$

$$= 58,8 \text{ bar} + 1,013 \text{ bar}$$

$$= 59,813 \text{ bar}$$

Tekanan absolut uap keluar ke kondensor

Diketahui :  $P_3 = -91,7 \text{ kPa} = -0,917 \text{ bar}$

$$P_{\text{atm}} = 1,013 \text{ bar}$$

Ditanyakan :  $P_{\text{abs3}} = \dots?$

Penyelesaian :  $P_{\text{abs3}} = P_{\text{atm}} - P_2$

$$= 1,013 \text{ bar} - 0,922 \text{ bar}$$

$$= 0,089 \text{ bar}$$

#### 4.3.2 Nilai Entalpi Uap pada Turbin

Untuk mengetahui nilai energi uap keluaran turbin dapat dilakukan dengan mencari nilai entalpi ( $h$ ) dengan menggunakan *Software Calculator : Superheated Steam Table*. Untuk data tekanan uap masuk turbin ( $P_1$ ) dan temperatur uap masuk turbin ( $T_1$ ) dapat diperoleh nilai entalpi ( $h_1$ ) Sedangkan untuk nilai tekanan uap keluar turbin ( $P_3$ ) dan temperatur uap keluar turbin ( $T_3$ ) dapat diperoleh nilai ( $h_3$ ) .

##### a. Unit 1

Berdasarkan data operasional pada tabel 4.3 untuk data suhu uap masuk ( $T_1 = 437,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ) dan tekanan uap masuk ( $P_{\text{abs}1} = 59,913 \text{ bar}$ ) diperoleh nilai sebagai berikut:

$$h_1 = 3273,04 \text{ kJ/kg}$$

Input Data		Units: SI
Steam Pressure	59.913	barG
Steam Temperature (°C)	437.8	°C
<a href="#">Show Advanced Options</a>		
<b>Calculate</b>		
<a href="#">Clear</a>		
Specific Enthalpy of Superheated Steam	3271.49	kJ/kg
Specific Volume of Superheated Steam	0.0502027	m³/kg
Specific Heat of Superheated Steam	2.46591	kJ/kg·K
Viscosity of Superheated Steam	0.0260444	mPa·s
<b>Result</b>		

Gambar 4. 3 Nilai Entalpi ( $h_1$ ) Uap Masuk Turbin Unit 1

Berdasarkan data operasional pada tabel 4.3 untuk data suhu uap keluar ( $T_3 = 41,9^\circ\text{C}$ ) dan tekanan uap keluar ( $P_{\text{abs}3} = 0,096 \text{ bar}$ ) diperoleh nilai



sebagai berikut:

$$h_3 = 1902,3 \text{ kJ/kg}$$

Input Data		Units: SI
Steam Pressure	59.813	barG
Steam Temperature (T)	437.8	°C
<a href="#">Show Advanced Options</a>		
<b>Calculate</b>		
<a href="#">Clear</a>		
<b>Result</b>		
Specific Enthalpy of Superheated Steam	3271.64	kJ/kg
Specific Volume of Superheated Steam	0.0502916	m³/kg
Specific Heat of Superheated Steam	2.46515	kJ/kg·K
Viscosity of Superheated Steam	0.0260441	mPa·s

Gambar 4. 4 Nilai Entalpi ( $h_3$ ) Uap Keluar Turbin Unit 1

b. Unit 2

Berdasarkan data operasional pada tabel 4.4. untuk data suhu uap masuk ( $T_1 = 437,8^\circ\text{C}$ ) dan tekanan uap masuk ( $P_{\text{abs1}} = 59,813 \text{ bar}$ ) diperoleh nilai sebagai berikut:

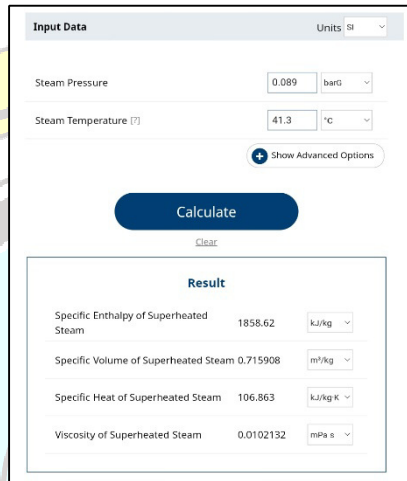
$$h_1 = 3271,6 \text{ kJ/kg}$$

Input Data		Units: SI
Steam Pressure	0.096	barG
Steam Temperature (T)	41.9	°C
<a href="#">Show Advanced Options</a>		
<b>Calculate</b>		
<a href="#">Clear</a>		
<b>Result</b>		
Specific Enthalpy of Superheated Steam	1902.35	kJ/kg
Specific Volume of Superheated Steam	0.746251	m³/kg
Specific Heat of Superheated Steam	100.271	kJ/kg·K
Viscosity of Superheated Steam	0.0102317	mPa·s

Gambar 4. 5 Nilai Entalpi ( $h_1$ ) Uap Masuk Turbin Unit 2

Berdasarkan data operasional pada tabel 4.4 untuk data suhu uap keluar ( $T_3 = 41,3^\circ\text{C}$ ) dan tekanan uap keluar ( $P_{\text{abs}3} = 0,089 \text{ bar}$ ) diperoleh nilai sebagai berikut:

$$h_3 = 1858,6 \text{ kJ/kg}$$



Input Data		Units: SI
Steam Pressure	0.089	bar
Steam Temperature [°]	41.3	°C
+ Show Advanced Options		
<b>Calculate</b>		
Clear		
Result		
Specific Enthalpy of Superheated Steam	1858.62	kJ/kg
Specific Volume of Superheated Steam	0.715908	m³/kg
Specific Heat of Superheated Steam	106.863	kJ/kg·K
Viscosity of Superheated Steam	0.0102132	mPa·s

Gambar 4. 6 Nilai Entalpi ( $h_3$ ) Uap Keluar Turbin Unit 2

### 4.3.3 Nilai Energi Uap

#### a. Unit 1

Diketahui :  $\dot{m}_1 = 44,22 \text{ t/h} = 12,28 \text{ kg/s}$

$$h_1 = 3271,4 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 1902,3 \text{ kJ/kg}$$

Ditanyakan :  $E_{\text{Uap}} = \dots?$

Penyelesaian :  $E_{\text{Uap}} = \dot{m}_1 (h_1 - h_3)$

$$E_{\text{Uap}} = 12,28 \text{ kg/s} (3271,4 \text{ kJ/kg} - 1902,3 \text{ kJ/kg})$$

$$E_{\text{Uap}} = 16813 \text{ kW} = 16,813 \text{ MW}$$

b. Unit 2

Diketahui :  $\dot{m}_3 = 65,66 \text{ t/h} = 18,24 \text{ kg/s}$

$$h_1 = 3271,6 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 1858,6 \text{ kJ/kg}$$

Ditanyakan :  $E_{Uap} = \dots ?$

Penyelesaian :  $E_{Uap} = \dot{m}_1 (h_1 - h_3)$

$$E_{Uap} = 18,24 \text{ kg/s} (3271,6 \text{ kJ/kg} - 1858,6 \text{ kJ/kg})$$

$$E_{Uap} = 25772 \text{ kW} = 25,772 \text{ MW}$$

#### 4.3.4 Perhitungan Efisiensi Sistem Turbin Uap

a. Unit 1

Diketahui :  $E_{Uap} = 16,813 \text{ MW}$

$$E_{listrik} = 9,50 \text{ MW}$$

Ditanyakan :  $\eta = \dots ?$

Penyelesaian :  $\eta = \frac{E_{listrik}}{E_{uap}} \times 100\%$

$$\eta = \frac{9,50 \text{ MW}}{16,813 \text{ MW}} \times 100\%$$

$$\eta = 56,50\%$$

b. Unit 2

Diketahui :  $E_{Uap} = 25,772 \text{ MW}$

$$E_{listrik} = 16,30 \text{ MW}$$

Ditanyakan :  $\eta = \dots ?$

Penyelesaian :  $\eta = \frac{E_{listrik}}{E_{uap}} \times 100\%$

$$\eta = \frac{16,30 \text{ MW}}{25,772 \text{ MW}} \times 100\%$$

$$\eta = 63,25\%$$

#### 4.4 Hasil Analisa Data

Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Nilai Efisiensi Unit 1

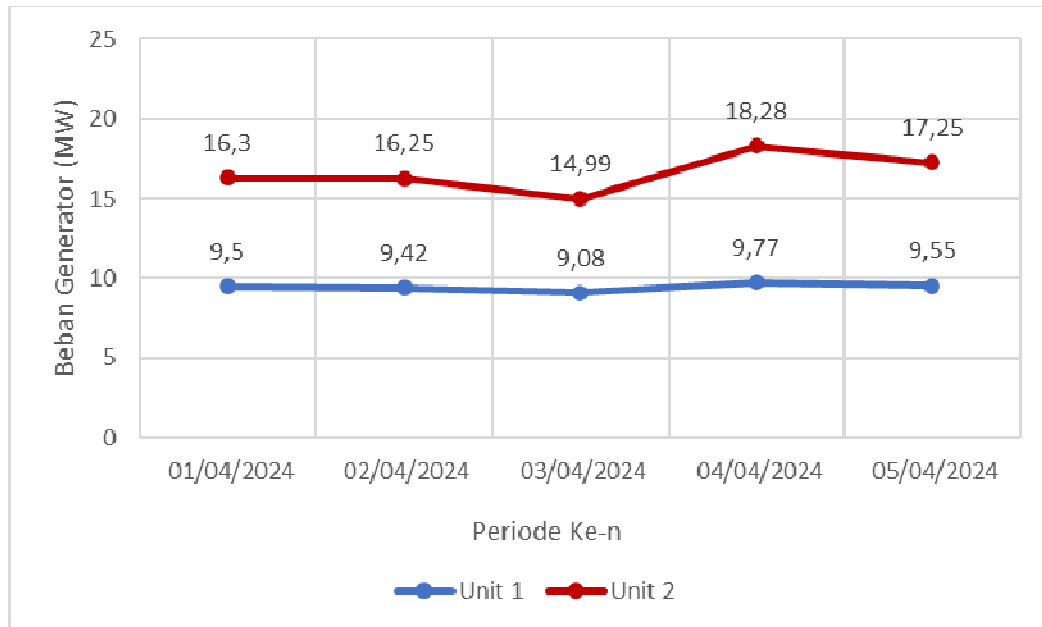
Tanggal	$P_{abs1}$	$P_{abs3}$	$h_1$	$h_3$	$E_{uap}$	$\eta_{sistem}$
	Bar	bar	kJ/kg	kJ/kg	MW	%
01/04/2024	59,913	0,096	3271,4	1902,3	16,813	56,50
02/04/2024	59,913	0,098	3272,7	1866,2	16,512	57,05
03/04/2024	59,913	0,092	3270,2	1850,4	16,754	54,20
04/04/2024	59,913	0,095	3272,2	1894,8	17,121	57,06
05/04/2024	59,913	0,096	3272,4	1902,3	16,853	56,67

Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Nilai Efisiensi Unit 2

Tanggal	$P_{abs1}$	$P_{abs3}$	$h_1$	$h_3$	$E_{uap}$	$\eta_{sistem}$
	Bar	bar	kJ/kg	kJ/kg	MW	%
01/04/2024	59,813	0,089	3271,6	1858,6	25,772	63,25
02/04/2024	59,913	0,091	3271,9	1831,3	25,874	62,80
03/04/2024	59,913	0,088	3271,0	1746,4	26,756	56,02
04/04/2024	59,813	0,086	3274,3	1917,6	28,559	64,01
05/04/2024	59,813	0,087	3272,8	1884,9	27,120	63,61

## 4.5 Grafik dan Pembahasan

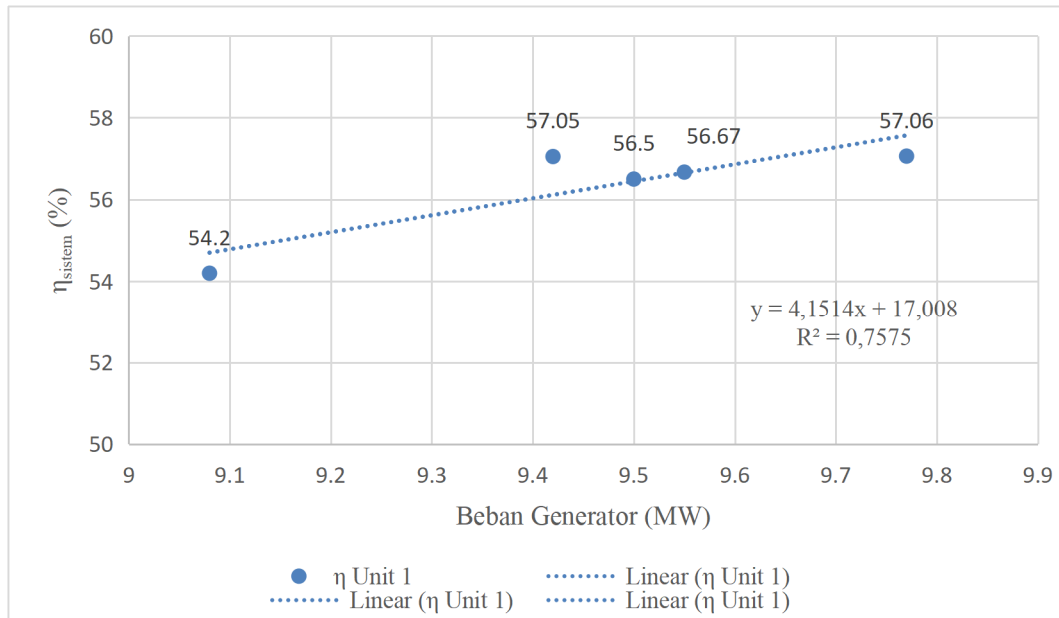
### 4.5.1 Grafik Perbandingan Beban Harian Generator Periode 1-5 April 2024



Gambar 4. 7 Grafik Beban Harian Generator Periode 1-5 April 2024

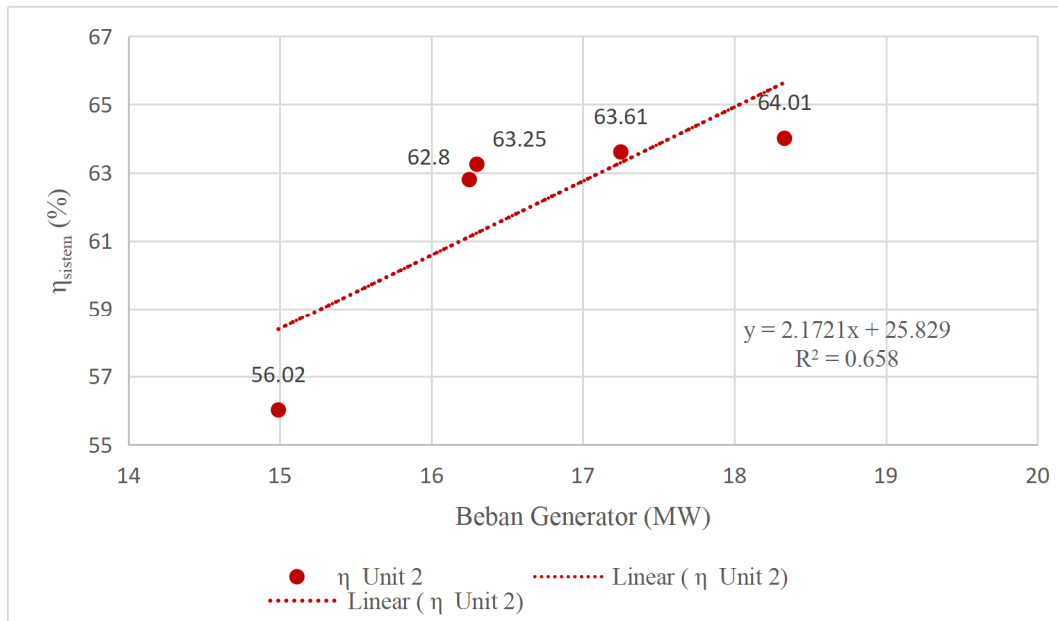
Berdasarkan grafik pada gambar 4.6 dapat dilihat bahwa beban atau daya yang dibangkitkan oleh generator mengalami perubahan yang fluktuatif. Perubahan beban pada generator ini dipengaruhi oleh kebutuhan listrik PT. Huayue Nickel Cobalt. Dalam proses pengambilan data yang dilakukan selama 5 hari, beban tertinggi generator dialami unit 1 terjadi pada hari ke-4 sebesar 9,77 MW dan unit 2 terjadi pada hari ke-4 sebesar 18.28 MW. Sedangkan, untuk beban terendah generator unit 1 terjadi pada hari ke-3 yaitu 9,08 MW dan unit 2 terjadi pada hari ke-3 yaitu 14,99 MW.

#### 4.5.2 Grafik Perbandingan Efisiensi Sistem Turbin Uap terhadap Beban Generator



Gambar 4. 8 Grafik Efisiensi Sistem Turbin Uap terhadap Beban Generator Unit 1

Berdasarkan grafik pada gambar 4.9 terlihat bahwa nilai efisiensi sistem turbin uap pada unit 1 mengalami perubahan yang fluktuatif namun perubahan beban atau daya yang dibangkitkan cenderung berbanding lurus terhadap efisiensi sistem turbin uap dimana semakin besar beban generator maka nilai efisiensi juga akan semakin besar. Nilai efisiensi terendah terjadi pada tanggal 03 April 2024 yaitu 54,20% dengan beban generator 9,08 MW. Sedangkan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada tanggal 04 April 2024 yaitu 57,06% dengan beban generator 9,77 MW.



Gambar 4. 9 Grafik Efisiensi Sistem Turbin Uap terhadap Beban Generator Unit 2

Berdasarkan grafik pada gambar 4.8 terlihat bahwa nilai efisiensi sistem turbin uap pada unit 2 mengalami perubahan yang fluktuatif namun perubahan beban atau daya yang dibangkitkan cenderung berbanding lurus terhadap efisiensi sistem turbin uap dimana semakin besar beban generator maka nilai efisiensi juga akan semakin besar. Nilai efisiensi terendah terjadi pada tanggal 03 April 2024 yaitu 56,02% dengan beban generator 14,99 MW. Sedangkan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada tanggal 04 April 2024 yaitu 64,01% dengan beban generator 18,28 MW.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan pengaruh perubahan beban terhadap efisiensi sistem turbin uap dapat disimpulkan:

1. Perubahan beban atau daya yang dibangkitkan cenderung berbanding lurus terhadap efisiensi sistem turbin uap dimana semakin besar beban generator maka nilai efisiensi juga akan semakin besar. Nilai efisiensi terendah untuk unit 1 turbin uap terjadi pada tanggal 03 April 2024 yaitu 54,20% dengan beban generator 9,08 MW dan unit 2 terjadi pada tanggal 03 April 2024 yaitu 56,02% dengan beban generator 14,99 MW. Sedangkan nilai efisiensi tertinggi untuk unit 1 turbin uap terjadi pada tanggal 04 April 2024 yaitu 57,06% dengan beban generator 9,77 MW dan unit 2 terjadi pada tanggal 04 April 2024 yaitu 64,01% dengan beban generator 18,28 MW.
2. Nilai efisiensi sistem turbin uap bervariasi hal ini disebabkan karena perubahan beban generator yang berfluktuatif sesuai kebutuhan listrik pada perusahaan dan beban produksi bahan bakar (asam).

### 5.2 Saran

Untuk meningkatkan efisiensi sistem turbin uap perlu melakukan perawatan rutin atau maintenance pada komponen turbin uap seperti blade, rotor, stator, katup, pipa dan sistem pendukung lainnya. Hal ini bertujuan untuk mengetahui



kebocoran, keausan atau kerusakan yang terjadi sehingga pengoperasian dapat dikendalikan dan mampu beroperasi secara andal dan efisien.



## DAFTAR PUSTAKA

- Aprilia, Wida. 2021. Analisis Kinerja Steam Turbin Generator dengan Kapasitas 10 MW di PT. Sinarmas Oleo *Chemcical Internasional* Kim 1 Mabar. Skripsi. Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.
- Cengel, Yunus A dan M.A. Boles. 2006. *Thermodinamic : An Engineering Approach, 5<sup>th</sup> Ed.* Boston : McGraw-Hill College.
- Jamal, M Fachmi dan Andi Tenri Ajeng. 2014. Unjuk Kerja Turbin Uap Unit 1 PLTU Barru 2 x 50 MW terhadap Perubahan Beban. Tugas Akhir. Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Multazam, Ahmad. 2021. Analisis Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Generator BTG II Power Plant PT. Semen Tonasa 2 x 25 MW. Skripsi. Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Perpustakaan Digital Polban. 2022. Pembangkit Listrik Tenaga Uap. Diakses pada tahun 2024.
- PT. Huayue Nickel Cobalt. Gambaran Umum Perusaha. Linkeldn. Diakses pada tahun 2024.
- Purba, Johannes. Analisa Turbin Uap pada Pabrik Kelapa Sawit Tanjung Garbus Pagar Merbau PTPN II. Diakses pada tahun 2024.
- Raufi, Lathiful Iman. 2016. Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Uap *Supercritical* pada Perangkat Lunak *Cycle-Tempo* dengan Analisa Variasi

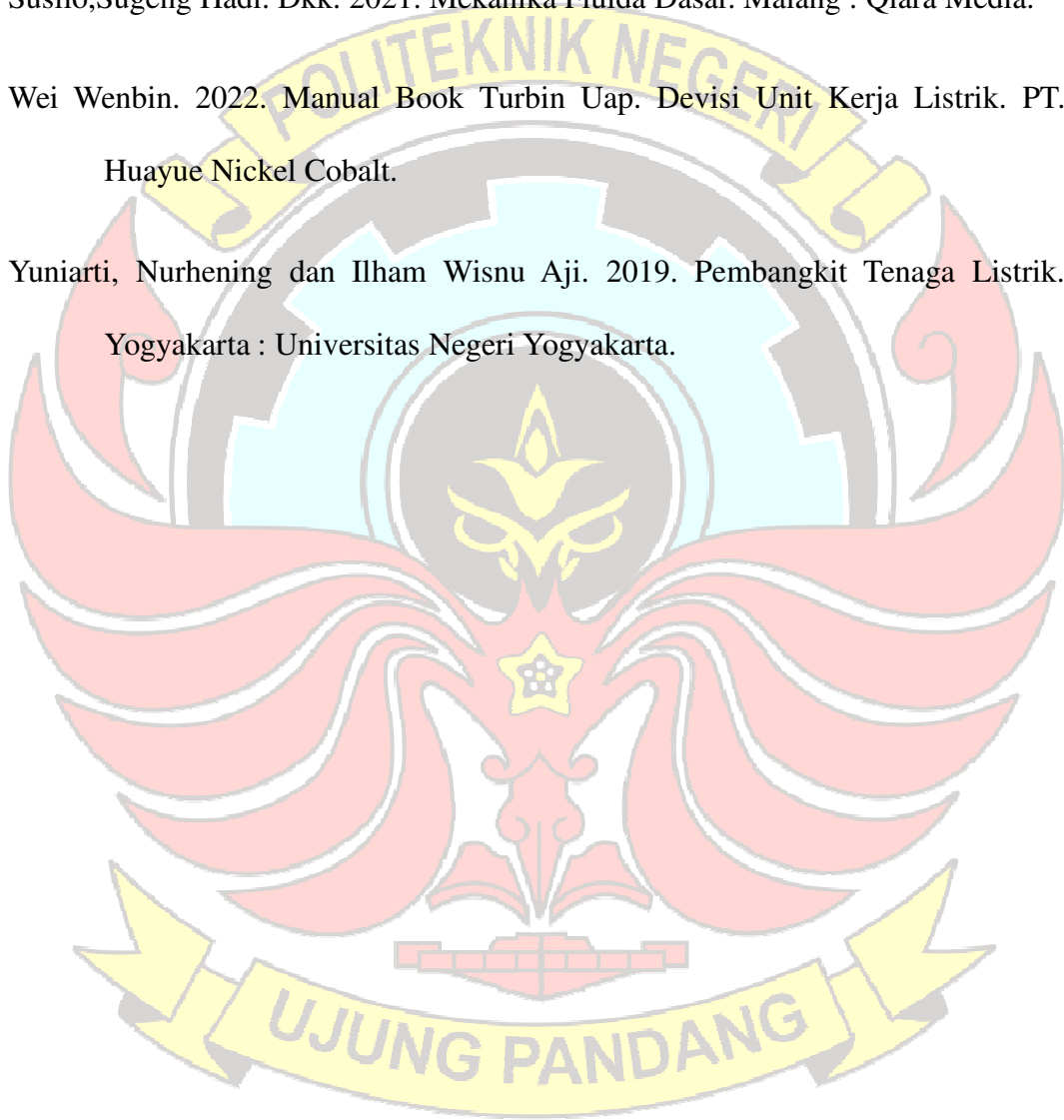
Beban. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Shlayakhin. 1999. Turbin Uap (Steam Turbine) Teori dan Rancangan. Jakarta :  
Erlangga.

Susilo,Sugeng Hadi. Dkk. 2021. Mekanika Fluida Dasar. Malang : Qiara Media.

Wei Wenbin. 2022. Manual Book Turbin Uap. Devisi Unit Kerja Listrik. PT.  
Huayue Nickel Cobalt.

Yuniarti, Nurhening dan Ilham Wisnu Aji. 2019. Pembangkit Tenaga Listrik.  
Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.



**L**

**A**

**M**

**P**

**I**

**R**

**A**

**N**



Lampiran 1

Data Operasional Unit 1 Turbin Uap, 1 April 2024

Jam	Beban	Massa Uap Masuk	Tekanan Uap Masuk	Tekanan Uap Keluar	Suhu Uap Masuk	Suhu Uap Keluar
WITA	MW	t/h	MPa	kPa	°C	°C
01.00	9,64	34,79	5,9	-91,6	438,1	42,1
02.00	9,69	42,6	5,9	-91,8	438,9	41,8
03.00	9,51	30,31	5,91	-91,6	438,6	40,5
04.00	8,24	37,29	5,91	-92,5	438,3	40,4
05.00	8,82	41,2	5,91	-92,3	438	40,6
06.00	10,03	50,98	5,91	-91,8	438,3	41,4
07.00	10,35	45,36	5,9	-91,4	438,1	43,3
08.00	8,01	37,29	5,88	-92,5	438,4	40,5
09.00	10,61	41,06	5,89	-91,7	438,1	42,3
10.00	7,85	54,7	5,87	92,7	437,7	40,1
11.00	9,25	41,82	5,89	-92	438,3	41,8
12.00	9,89	44,41	5,89	-91,6	438,9	42,5
13.00	11,39	49,8	5,87	-90,6	438,1	44,3
14.00	8,99	40,72	5,89	-91,3	438,1	42,6
15.00	11,56	50,9	5,89	-90,2	438,7	45
16.00	9,92	43,93	5,87	-91,3	438,7	42,4
17.00	10,29	46,37	5,88	-91,1	438,4	42,8
18.00	10,09	44,1	5,83	-91,2	437,9	43
19.00	10,38	45,97	5,89	-91,1	437,9	43,2
20.00	8,1	67,59	5,92	-91,8	437	42,4
21.00	8,7	49	5,93	-93	435,6	41
22.00	8,34	40,57	5,9	-92	435,6	41,8
23.00	9,24	39,56	5,88	-92,7	435,9	39,8
24.00	9,21	41	5,85	-92,5	437,4	41
Rata-rata	9,50	44,22	5,89	-91,7	437,8	41,9

## Lampiran 2

### Data Operasional Unit 1 Turbin Uap, 2 April 2024

Jam	Beban	Massa Uap Masuk	Tekanan Uap Masuk	Tekanan Uap Keluar	Suhu Uap Masuk	Suhu Uap Keluar
WITA	MW	t/h	MPa	kPa	°C	°C
01.00	8,7	39,4	5,9	-92,4	437,1	40,6
02.00	9,4	46	5,89	-92,2	438,1	41
03.00	8,7	39,7	5,91	-91,3	437,1	41
04.00	8,7	33,98	5,87	-91,6	438,5	40,1
05.00	8,33	36,38	5,93	-92,5	439,5	39,1
06.00	11,1	48	5,96	-91,8	438,9	39,9
07.00	10,38	45,06	5,94	-90,7	438,3	42,4
08.00	10,95	51,22	5,91	-91,3	437,1	43,2
09.00	8,56	37,67	5,88	-92,2	436,9	41,4
10.00	8,81	40,6	5,81	-92	436,5	41,8
11.00	8,96	37,19	5,86	-91,6	436,8	41,8
12.00	9,7	40,81	5,85	-90,6	435,9	43,5
13.00	8,36	42,75	5,86	-91,7	437,2	41,7
14.00	9,63	42,86	5,85	-91,2	437	42,2
15.00	8,73	40,71	5,85	-91,8	437	41,7
16.00	9,14	41,21	5,89	-91,5	437,1	41,7
17.00	8,91	40,07	5,88	-91,7	437,4	41,3
18.00	8,13	38,6	5,88	-91,6	437,5	40,3
19.00	9,69	42,63	5,9	-91,4	438	42,3
20.00	9,2	40,53	5,93	-91	437,8	41,7
21.00	8,82	39,81	5,94	-91,5	438,1	41,4
22.00	13	58	5,9	-91,7	438	45
23.00	11	49	5,93	-90,8	438,4	44
24.00	9,4	42,19	5,91	-92	438,1	41,6
Rata-rata	9,42	42,26	5,89	-91,5	437,5	41,6

Lampiran 3

Data Operasional Unit 1 Turbin Uap, 3 April 2024

Jam	Beban	Massa Uap Masuk	Tekanan Uap Masuk	Tekanan Uap Keluar	Suhu Uap Masuk	Suhu Uap Keluar
WITA	MW	t/h	MPa	kPa	°C	°C
01.00	8,7	50,54	5,95	-91,9	435,2	42,3
02.00	6,2	37,1	5,94	-92,1	435,1	39,3
03.00	9,1	40,5	5,92	-92,7	436,4	39,6
04.00	6,1	30	5,96	-93,7	437	39
05.00	13	56	5,9	-91	439,1	44
06.00	14,1	60,7	5,85	-91	439,1	45
07.00	11,2	61	5,88	-91,6	437,2	41,8
08.00	9,94	44,07	5,88	-92,1	436,6	40,8
09.00	8,91	38,86	5,9	-92,5	436,2	39,9
10.00	7,61	35,69	5,86	-93	435,7	40,9
11.00	8,73	36,75	5,9	-92,4	436,3	40,9
12.00	8,68	39,27	5,87	-92,3	436,3	40,2
13.00	7,95	37,63	5,91	-92,5	436,3	42,9
14.00	7,78	39,74	5,9	-92,2	436,4	40,6
15.00	7,87	38,59	5,91	-92	436,3	41,2
16.00	8,92	40,11	5,91	-92,4	436,3	40,1
17.00	7,91	36,23	5,9	-91	436,6	44,1
18.00	12	50,78	5,9	-92	437,1	43,1
19.00	8,13	46,89	5,91	-92,2	437,4	41,3
20.00	8,21	37,96	5,89	-91,8	436,4	42
21.00	9,74	42,27	5,85	-91,9	436,4	42
22.00	9,8	43,54	5,88	-91,9	437,1	40,6
23.00	9,08	37,33	5,87	-92,5	436,2	40,1
24.00	8,39	38,15	5,87	-92,6	436,8	40,4
Rata-rata	9,08	42,48	5,89	-92,1	436,6	41,3

Lampiran 4

Data Operasional Unit 1 Turbin Uap, 4 April 2024

Jam	Beban	Massa Uap Masuk	Tekanan Uap Masuk	Tekanan Uap Keluar	Suhu Uap Masuk	Suhu Uap Keluar
WITA	MW	t/h	MPa	kPa	°C	°C
01.00	8,79	36,76	5,88	-92,1	436,7	41,4
02.00	7,98	36,54	5,88	-92,8	436,8	39,7
03.00	9,05	40,37	5,88	-92,4	437,4	40,5
04.00	8,02	36,73	5,88	-92,7	437,6	40
05.00	8,88	40,67	5,89	-92,4	436,8	40,7
06.00	12,54	44,79	5,88	-91,2	437,9	42,7
07.00	11,04	48,01	5,86	-91,6	436,2	43
08.00	11,27	53,68	5,9	-91,4	432,1	43,3
09.00	10,92	50,36	5,91	-91,5	436,9	44,1
10.00	11,1	48,2	5,91	-91,5	437,8	43,2
11.00	11,76	54,82	5,9	-91,1	438,4	44
12.00	8,82	44,08	5,92	-92,2	439,2	41,4
13.00	8,73	51,16	5,94	-91,6	438,5	43
14.00	8,79	40,84	5,93	-92,1	437,6	40,9
15.00	8,44	51,43	5,9	-92,1	439,7	41,4
16.00	10,35	42,7	5,91	-91,3	437,2	41,8
17.00	8,36	38,44	5,91	-92,4	438,4	40,2
18.00	9,57	41,84	5,9	-91,7	437,5	41,7
19.00	10,21	43,31	5,9	-91,5	437,6	42,6
20.00	10,78	47,26	5,86	-91,3	437,6	43,5
21.00	10,8	47,51	5,89	-91,5	437,3	42,9
22.00	9,66	43,85	5,85	-92	437,5	41,8
23.00	8,92	44,8	5,86	-92,5	438,9	39,9
24.00	9,88	45,7	5,87	-92,3	436,5	41,1
Rata-rata	9,77	44,74	5,89	-91,8	437,4	41,8



Lampiran 5

Data Operasional Unit 1 Turbin Uap, 5 April 2024

Jam	Beban	Massa Uap Masuk	Tekanan Uap Masuk	Tekanan Uap Keluar	Suhu Uap Masuk	Suhu Uap Keluar
WITA	MW	t/h	MPa	kPa	°C	°C
01.00	9,14	43,93	5,86	-91,6	436,5	41,8
02.00	8,91	46,37	5,89	-92,1	437,8	42,8
03.00	8,56	44,1	5,84	-91,8	438,8	41,8
04.00	9,12	45,97	5,91	-91,8	438,2	42,5
05.00	8,91	47,2	5,93	-92,2	437,9	42,1
06.00	9,36	45,72	5,87	-92,7	437,4	42,6
07.00	10,08	45,08	5,92	-91,9	437	41,8
08.00	11,2	52,16	5,9	-92,7	437,8	43,5
09.00	11,57	40,91	5,9	-91,5	436,6	42,8
10.00	10,78	41,21	5,93	-91,6	437,3	41,6
11.00	9,79	40,07	5,94	-90,6	436,8	41,4
12.00	9,1	38,75	5,87	-90,3	436,5	40,9
13.00	9,25	42,63	5,91	-91,2	437,3	41,7
14.00	8,93	40,63	5,9	-91,3	436,9	40,7
15.00	9,12	48,8	5,85	-92,1	438,5	43,1
16.00	8,76	40,83	5,87	-91,6	437,9	41,5
17.00	8,9	48,97	5,9	-92,5	438,7	42,9
18.00	10,06	42,93	5,89	-91,2	437,5	41,9
19.00	9,98	46,37	5,87	-92,1	438,1	42,5
20.00	10,56	42,41	5,89	-91,5	436,8	41,7
21.00	9,76	44,97	5,91	-91,7	437,6	41,3
22.00	9,32	43,75	5,86	-91,6	437,2	41,2
23.00	8,92	43,5	5,87	-91,5	437,3	41,1
24.00	9,24	45,48	5,89	-91,8	437,9	41,5
Rata-rata	9,555	44,28083	5,890417	91,7	437,5125	41,94583

## Lampiran 6

### Data Operasional Unit 2 Turbin Uap, 1 April 2024

Jam	Beban	Massa Uap Masuk	Tekanan Uap Masuk	Tekanan Uap Keluar	Suhu Uap Masuk	Suhu Uap Keluar
WITA	MW	t/h	MPa	kPa	°C	°C
01.00	15,16	63,84	5,9	-92,2	438,1	41,5
02.00	15,15	63,47	5,9	-92,5	438,4	40,6
03.00	15,38	63,17	5,91	-92,5	438,6	40,3
04.00	15,44	63,2	5,91	-92,6	436,3	40,2
05.00	15,85	64,95	5,86	-92,5	438	40,6
06.00	15,35	62,77	5,89	-92,5	438,3	40,7
07.00	16,52	64,57	5,9	-92,4	438,1	41,2
08.00	15,87	70,58	5,88	-92,8	438,4	42,7
09.00	15,83	58,73	5,89	-93	438,1	39,8
10.00	15,45	61,75	5,87	-92,7	437,7	40,5
11.00	17,97	48,74	5,89	-92,8	438,8	40,1
12.00	15,65	72,21	5,89	-91,7	438,9	42,4
13.00	18,96	64,45	5,87	-92,9	439,1	41,8
14.00	19,2	85,67	5,89	-91,8	438,1	44,4
15.00	18,79	79,7	5,89	-91,7	438,7	44,3
16.00	16,8	77,07	5,87	-90,9	438,7	43,8
17.00	16,47	68,9	5,88	-91,6	438,4	42,8
18.00	16,44	67,02	5,83	-91,8	437,9	42,1
19.00	17,88	65,04	5,89	-92,8	437,9	41,5
20.00	16,37	66,8	5,92	-92,8	437	42,1
21.00	16,2	60,27	5,93	-93,1	436,6	39,5
22.00	15,27	62,64	5,9	-92,6	435,4	40,6
23.00	14,57	60,39	5,88	-92,8	435,9	40,3
24.00	14,75	59,98	5,85	-92,9	437,4	39,5
Rata-rata	16,30	65,66	5,88	-92,4	437,8	41,3

Lampiran 7

Data Operasional Unit 2 Turbin Uap, 2 April 2024

Jam	Beban	Massa Uap Masuk	Tekanan Uap Masuk	Tekanan Uap Keluar	Suhu Uap Masuk	Suhu Uap Keluar
WITA	MW	t/h	MPa	kPa	°C	°C
01.00	14,16	60,66	5,92	-92,9	437,7	39,7
02.00	15,33	61,09	5,9	-92,5	437,2	40,5
03.00	14,6	60,25	5,91	-92,8	437,8	39,8
04.00	14,37	59,04	5,9	-92,8	438,4	39,6
05.00	16,72	63,57	5,92	-92,5	439,2	40,4
06.00	16,58	63,85	5,95	-92,4	439,2	40,4
07.00	19,63	72,73	5,93	-91,7	439,3	40,9
08.00	17,33	62,97	5,89	-92,2	438,3	41,8
09.00	18,79	65,8	5,84	-91,9	437,8	40,9
10.00	16,78	71,43	5,94	-92,4	437,7	41,9
11.00	18,55	73,82	5,86	-91,5	437,5	42,9
12.00	16,89	80,07	5,86	-91,8	437,9	43,1
13.00	15,11	66,06	5,85	-92,1	436,5	42
14.00	15,36	63,77	5,88	-91,9	437,1	40,6
15.00	14,16	61,32	5,89	-92,2	436,9	40,8
16.00	15,3	60,56	5,87	-92,1	437,2	41,4
17.00	15,91	62,9	5,9	-92,1	437,4	41
18.00	16,43	63,36	5,89	-92,2	437,6	40,2
19.00	16,89	65,42	5,93	-91,8	437,8	40,1
20.00	16,32	62,54	5,94	-92,1	438,3	41,8
21.00	16,24	63,76	5,88	-92,3	438,2	41,8
22.00	15,3	60,47	5,9	-92,6	437,5	41,5
23.00	16,06	62,35	5,9	-92,3	427,2	41,8
24.00	17,25	64,01	5,89	-92,2	436,1	41,9
Rata-rata	16,25	64,65	5,89	-92,2	437,3	41,1

Lampiran 8

Data Operasional Unit 2 Turbin Uap, 3 April 2024

Jam	Beban	Massa Uap Masuk	Tekanan Uap Masuk	Tekanan Uap Keluar	Suhu Uap Masuk	Suhu Uap Keluar
WITA	MW	t/h	MPa	kPa	°C	°C
01.00	15,16	65,52	5,9	-92,8	435,8	40,3
02.00	13,27	56,04	5,94	-93,4	435,6	38,5
03.00	12,54	52,76	5,89	-93,5	437,4	38,2
04.00	12,45	53,14	5,96	-93,5	436,8	37,9
05.00	11,46	52,46	5,91	-93,7	438	37,3
06.00	12,3	58,05	5,9	-93,4	438,6	38,4
07.00	13,87	59,79	5,91	-93,1	437,4	39,7
08.00	14,51	61,64	5,92	-92,9	437,1	40
09.00	14,74	62,17	5,91	-92,9	436,5	40,3
10.00	15,07	62,82	5,84	-92,8	436,5	40,6
11.00	15,25	63,3	5,91	-92,6	436,4	40,7
12.00	15,3	62,84	5,88	-92,6	437,5	41
13.00	15,41	65,63	5,88	-92,2	436,4	41
14.00	16	70,1	5,91	-92,1	437,1	41,5
15.00	18	61,63	5,89	-91,6	436,7	42,5
16.00	14,81	64,48	5,89	-91,7	437,4	40,7
17.00	15,71	67,9	5,9	-92,2	437,8	41,4
18.00	16,7	75,85	5,93	-92	437,1	41,8
19.00	16,62	74,16	5,92	-92	436,7	42,5
20.00	18,21	73,74	5,86	-91,6	436,7	43,1
21.00	16,71	64,48	5,85	-91,3	437,1	41,4
22.00	14,71	60,69	5,9	-92,9	436,3	40,4
23.00	15,16	62,69	5,91	-92,8	436,4	40,5
24.00	15,82	64,64	5,88	-92,7	436,5	40,8
Rata-rata	14,99	63,18	5,89	-92,5	436,9	40,4

Lampiran 9

Data Operasional Unit 2 Turbin Uap, 4 April 2024

Jam	Beban	Massa Uap Masuk	Tekanan Uap Masuk	Tekanan Uap Keluar	Suhu Uap Masuk	Suhu Uap Keluar
WITA	MW	t/h	MPa	kPa	°C	°C
01.00	15,24	61,02	5,82	-92,6	437,9	40,8
02.00	15,21	61,55	5,85	-92,5	437,1	40,2
03.00	15,16	61,16	5,88	-92,7	437,7	40,9
04.00	15,27	61,75	5,87	-92,9	437,9	40,3
05.00	15,71	62,17	5,88	-92,9	437,4	40,1
06.00	15,31	63,48	5,88	-92,6	438,1	41,5
07.00	20,85	78,44	5,9	-92,2	437,5	43,7
08.00	18,11	67,75	5,89	-92,6	437,5	42,7
09.00	17,22	69,84	5,91	92,5	437,2	42,3
10.00	17,1	70,22	5,92	-92,4	438,1	42,3
11.00	17,61	65,04	5,91	-92,8	438,5	42,2
12.00	16,76	67,68	5,93	-92,6	438,6	42,8
13.00	16,87	63,4	5,89	-92,5	439,2	41,5
14.00	18,45	70,37	5,93	-92,3	438,7	42,7
15.00	16,7	65,34	5,91	-92,4	438,4	42,6
16.00	21,23	85,9	5,9	-92,6	439,4	42,1
17.00	20,85	82,97	5,86	-92,4	438,9	42
18.00	21,4	96,43	5,87	-92,3	438,5	42,9
19.00	22,48	104,65	5,84	-92,8	438,4	42,2
20.00	21,67	95,05	5,86	-92,7	438,3	41,3
21.00	21,41	94,79	5,84	-92,9	438,1	41,2
22.00	19,29	89,2	5,82	-93	438,7	42
23.00	19,6	89,98	5,89	-93,1	438,4	41,7
24.00	19,31	90,7	5,88	-93,1	438,6	41,9
Rata-rata	18,28	75,78	5,88	-92,6	438,2	41,8

Lampiran 10

Data Operasional Unit 2 Turbin Uap, 5 April 2024

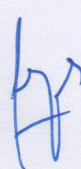


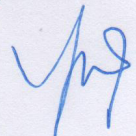
Jam	Beban	Massa Uap Masuk	Tekanan Uap Masuk	Tekanan Uap Keluar	Suhu Uap Masuk	Suhu Uap Keluar
WITA	MW	t/h	MPa	kPa	°C	°C
01.00	18,78	78,97	5,89	-92,8	437,4	41,8
02.00	18,1	75,56	5,88	-92,7	437,1	41,7
03.00	16,45	67,25	5,87	-92,5	437,3	41,4
04.00	16,72	69,5	5,87	-92,5	437,5	41,1
05.00	16,81	70,35	5,86	-91,9	437,6	41,3
06.00	17,67	71,3	5,88	-92,6	437,5	42,1
07.00	17,96	69,12	5,87	-92,9	437,4	41,6
08.00	18,32	74,27	5,88	92,8	437,6	41,8
09.00	16,54	65,73	5,89	-92,7	437,2	41,2
10.00	16,62	67,54	5,9	-92,9	437,4	41,4
11.00	16,86	67,71	5,89	-92,9	437,6	41,4
12.00	16,7	65,95	5,87	-92,7	437,1	41,3
13.00	16,89	66,63	5,89	-92,6	437,3	41,2
14.00	17,33	70,12	5,89	-92,8	438	41,9
15.00	16,2	67,37	5,9	-92,8	438,1	40,9
16.00	15,89	64,25	5,91	-92,9	437,9	41,1
17.00	17,76	71,22	5,89	-92,7	437,9	41,5
18.00	19,21	79,86	5,87	-92,6	438,2	42,3
19.00	19,07	78,3	5,88	-92,1	438,3	42,7
20.00	18,41	75,36	5,87	-92,4	438,8	42,1
21.00	16,46	68,61	5,89	-92,6	437,7	41,3
22.00	16,92	69,2	5,9	-92,8	438,1	41,6
23.00	16,36	67,29	5,89	-92,8	437,4	41,6
24.00	16,11	66,85	5,89	-92,7	437,8	41,5
Rata-rata	17,25	70,34	5,88	-92,6	437,6	41,5

# LEMBAR REVISI JUDUL TUGAS AKHIR

Nama : Said Agil Ashar

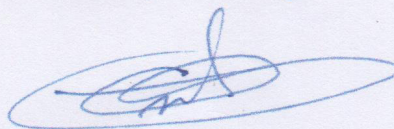
NIM : 34221024

**Catatan Daftar Revisi Penguji :**

No.	N a m a	U r a i a n	Tanda Tangan
1.	APOLLO, S.T. M.Eng	- Perbaiki analisis perhitungan dan gunakan data yang betul - turbin yang ada - efisiensi sistem	 28/8/2024
2.	SUKMA ABADI, S.T.		 8/2024
3.	Muh. Yus...		 8/2024
4.	Muh. Yus...	- Himpun...	 2/09/24

Makassar, 14 Agustus 2024

Ketua Ujian Sidang,



**Sukma Abadi, S.T., M.T.**

NIP 197510242003121001