

**ANALISIS EFISIENSI TURBIN UAP SEBAGAI PENGGERAK  
GENERATOR PADA PABRIK KELAPA SAWIT  
PT. BUMI SAMA GANDA**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat  
Tugas Akhir Di Fakultas Teknik  
jurusan Teknik Elektro Universitas  
Muhammadiyah Sumatera Utara*

Oleh :

**MUHAMMAD FATHAN FADHLUR RACHMAN**

**1907220025**



**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2023**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Fathan Fadhlur Rachman  
NPM : 1907220025  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Analisis Efisiensi Turbin Uap Sebagai Penggerak Generator  
Pada Pabrik Kelapa Sawit PT. Bumi Sama Ganda.  
Bidang ilmu : Sistem Tenaga Listrik

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Oktober 2023

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



Ir. Abdul Azis Hutasuhut.

Dosen Pembanding I / Penguji  
Peguji

Noorly Evalina, S.T., M.T

Dosen Pembanding II /

Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Fathan Fadhlur Rachman  
Tempat / Tanggal Lahir: Lhokseumawe / 06 Agustus 2001  
NPM : 1907220025  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

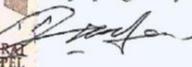
**“ANALISIS EFISIENSI TURBIN UAP SEBAGAI PENGGERAK GENERATOR PADA PABRIK KELAPA SAWIT PT. BUMI SAMA GANDA”.**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Oktober 2023

Saya yang menyatakan,  
  
M Fathan Fadhlur Rachman



## **ABSTRAK**

### **ANALISIS EFISIENSI TURBIN UAP SEBAGAI PENGGERAK GENERATOR PADA PABRIK KELAPA SAWIT PT. BUMI SAMA GANDA**

**MUHAMMAD FATHAN FADHLUR RACHMAN**

Program Studi Teknik Elektro

*Email* : [mhdfatanfr@gmail.com](mailto:mhdfatanfr@gmail.com)

Pada PT. Bumi Sama Ganda memiliki masalah pada daya yang dihasilkan turbin oleh karena itu dilakukan penelitian untuk melihat efisiensi turbin yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk membantu operator mesin turbin uap mengetahui kendala dan masalah yang terdapat pada mesin turbin. Penelitian ini menggunakan metode studi literatur, dengan menggunakan penelitian terdahulu, melakukan pengecekan langsung, melakukan wawancara kepada pengawas turbin uap, dan melakukan Analisa dari hasil penelitian tersebut. Dari penelitian tersebut di dapatkan hasil, Tekanan turbin masuk 17 bar dan keluaran 2,75 bar menghasilkan daya yang di alirkan kegenerator dengan nilai 1.832 kW, pada tekanan turbin masuk 18 bar dan tekanan keluar 3 bar menghasilkan daya 1.801 kW dan pada tekanan masuk 18,5 bar dan keluaran turbin 3,25 bar menghasilkan daya 1.752 kW. pada tekanan masuk 19 bar dan keluaran turbin 3 bar menghasilkan daya 1.845 kW. pada tekanan masuk 19 bar dan keluaran turbin 3,25 bar menghasilkan daya 1.774 kW. Tekanan turbin masuk 17 bar dan keluaran 2,75 bar menghasilkan efisiensi 88,30%, pada tekanan turbin masuk 18 bar dan tekanan keluar 3 bar menghasilkan efisiensi 88,00% dan pada tekanan masuk 18,5 bar dan keluaran turbin 3,25 bar menghasilkan efisiensi 88,70%. pada tekanan masuk 19 bar dan keluaran turbin 3 bar menghasilkan efisiensi 88,10% . pada tekanan masuk 19 bar dan keluaran turbin 3,25 bar menghasilkan efisiensi 88,60%.

**Kata Kunci :** Turbin, Efisiensi Turbin, Daya Turbin, Generator

## **ABSTRACT**

### ***EFFICIENCY ANALYSIS OF STEAM TURBINE AS A GENERATOR DRIVE AT PALM OIL MILL PT. BUMI SAMA GANDA***

**MUHAMMAD FATHAN FADHLUR RACHMAN**

*Electrical Engineering Study Program*

*Email : [mhdfatanfr@gmail.com](mailto:mhdfatanfr@gmail.com)*

PT Bumi Sama Ganda has a problem with the power generated by the turbine, therefore a study was conducted to see the efficiency of the turbine produced. This research aims to help steam turbine engine operators find out the obstacles and problems found in turbine engines. This research uses the literature study method, using previous research, conducting direct checks, conducting interviews with steam turbine supervisors, and analyzing the results of the research. From the research obtained results, the turbine inlet pressure of 17 bar and output of 2.75 bar produces power flowed to the generator with a value of 1,832 kW, at a turbine inlet pressure of 18 bar and an outlet pressure of 3 bar produces power of 1,801 kW and at an inlet pressure of 18.5 bar and a turbine output of 3.25 bar produces power of 1,752 kW. at an inlet pressure of 19 bar and a turbine output of 3 bar produces power of 1,845 kW. at an inlet pressure of 19 bar and a turbine output of 3.25 bar produces power of 1. 774 kW. 774 kW. 17 bar inlet turbine pressure and 2.75 bar output produces 88.30% efficiency, at 18 bar inlet turbine pressure and 3 bar outlet pressure produces 88.00% efficiency and at 18.5 bar inlet pressure and 3.25 bar turbine output produces 88.70% efficiency. at 19 bar inlet pressure and 3 bar turbine output produces 88.10% efficiency. at 19 bar inlet pressure and 3.25 bar turbine output produces 88.60% efficiency.

***Keywords:*** *Turbine, Efficiency, Power Turbine, Generator*



## KATA PENGANTAR

*Assalaamu'alaikum wa rahmatullah wa barakaatuh*

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala pujidan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “**ANALISIS EFISIENSI TURBIN UAP SEBAGAI PENGGERAK GENERATOR PADA PABRIK KELAPA SAWIT PT. BUMI SAMA GANDA**”. Sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU) Medan. Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, maka pada kesempatan kali ini peneliti ingin menyampaikan terima kasih teristimewa kepada kedua orang tua Ayahanda tercinta **Suprianto S.T**, Ibunda tercinta **Eva Rusmaningsih**, serta seluruh keluarga yang telah memberikan bantuan moril maupun materil serta nasehat dan doanya untuk peneliti demi menyelesaikan tugas akhir ini.

Selain itu peneliti juga ingin mengucapkan terim kasih kepada :

1. Bapak **Prof. Dr. Agussani, M.A.P** selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak **Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
3. Bapak **Dr. Ade Faisal M. Sc., Ph.D.**, selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak **Affandi, S.T., M.T.**, selaku Wakil III Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak **Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.**, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibu **Elvy Sahnur, S.T., M.T.**, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
7. Bapak **Ir. Abdul Azis Hutasuhut, M.M.**, selaku Pembimbing dalam tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingannya, masukan dan bantuan sehingga tugas sarjana ini dapat terselesaikan dengan baik.

8. Seluruh Dosen dan Staff Pengajar di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Terimakasih Juga kepada Febby Permata Dalila S.Pd., Nazla Salsa Billa dan Raveena S.Kom telah membantu saya dalam mengerjakan skripsi ini.
10. Seluruh rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Program Studi Teknik Elektro khususnya kelas A1 Pagi yang telah banyak membantu dan memberikan semangat kepada penulis dengan memberikan masukan-masukan yang bermanfaat selama proses perkuliahan maupun dalam penulisan Tugas Akhir ini.
11. Seluruh staff Tata Usaha di biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan tidak luput dari kekurangan, karena itu dengan senang hati dan penuh lapang dada penulis menerima segala bentuk kritik dan saran dari pembaca yang sifatnya membangun demi kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini. Akhir kata penulis mengharapkan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan semoga Allah SWT selalu merendahkan hati atas segala pengetahuan yang kita miliki. Amiin ya rabbal alamin.

*Wassalamua'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Medan, 16 Maret 2023

Peneliti,

Muhammad Fathan F.R

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I.....	13
PENDAHULUAN.....	13
1.1 Latar Belakang .....	13
1.2 Rumusan Masalah .....	15
1.3 Ruang Lingkup Penelitian .....	15
1.4 Tujuan Penelitian.....	15
1.5 Manfaat Penelitian .....	15
BAB II.....	16
TINJAUAN PUSTAKA.....	16
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan .....	16
2.2 Landasan Teori.....	24
2.2.1 Turbin Uap .....	24
2.2.2 Prinsip Kerja Turbin Uap.....	25
2.3 Bagian Utama Turbin Uap.....	26
2.4 Efisiensi Turbin Uap .....	28
2.5 Siklus Rankine.....	30
2.6 Generator.....	35
2.7 Boiler.....	36
BAB III.....	38
METODOLOGI PENELITIAN .....	38
3.1 Tempat dan Waktu .....	38
3.1.1 Tempat.....	38
3.1.2 Waktu .....	38
3.2 Bahan dan Alat.....	38
3.2.1 Bahan.....	38
3.2.2 Alat.....	39
3.3 Penulisan Penelitian .....	41
3.3.1 Studi Literatur .....	41
3.3.2 Pengumpulan Data .....	42
3.3.3 Analisis Data .....	42
3.3.4 Kesimpulan .....	42

3.3.5	Penyusunan Laporan .....	42
3.4	Flow Chart Penelitian.....	43
BAB IV .....		44
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		44
4.1	Perhitungan Efisiensi dan Daya Turbin .....	44
4.2	Grafik Hasil Penelitian .....	75
4.3	Analisa Teoritis .....	77
4.4	Analisa Steam Keluar Turbin.....	78
BAB V.....		79
KESIMPULAN DAN SARAN.....		79
5.1	Kesimpulan .....	79
5.2	Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA .....		80

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Generator-Turbin .....	24
Gambar 2. 2 Bagian Dalam .....	26
Gambar 2. 3 Komponen-Komponen Utama Turbin .....	26
Gambar 2. 4 Siklus Renkine Ideal .....	31
Gambar 2. 5 Diagram T - S Siklus Rankine .....	31
Gambar 2. 6 Tabel Termodinamika.....	33
Gambar 2. 7 Boiler Turbin Uap.....	37
Gambar 3. 1 Turbin Elliot DRY UG III .....	39
Gambar 3. 2 Pressure Gauge .....	40
Gambar 3. 3 Boiler Mech .....	40
Gambar 3. 4 Control Panel .....	41
Gambar 3. 5 Flowchart Data Analisa Penelitian .....	43
Gambar 4. 1 Tabel Termodinamika.....	45
Gambar 4. 2 Aplikasi Steam Tabel.....	46
Gambar 4. 3 Tabel Termodinamika.....	51
Gambar 4. 4 Aplikasi Steam Tabel.....	52
Gambar 4. 5 Tabel Termodinamika.....	57
Gambar 4. 6 Aplikasi Steam Tabel.....	58
Gambar 4. 7 Tabel Termodinamika.....	63
Gambar 4. 8 Aplikasi Steam Tabel.....	64
Gambar 4. 9 Tabel Termodinamika.....	69
Gambar 4. 10 Aplikasi Steam Tabel.....	70
Gambar 4. 11 Grafik Daya Steam Masuk, Steam Keluar, Data Turbin, Tekanan Steam..	75
Gambar 4. 12 Grafik Efisiensi Turbin Uap .....	76

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	38
Tabel 3. 2 Spesifikasi Turbin Shinko RB-4.....	39
Tabel 3. 3 Tabel Spesifikasi Boiler Mech .....	40
Tabel 4. 1 Data Pengoperasian Turbin Uap.....	44
Tabel 4. 2 Tabel Hasil Perhitungan .....	50
Tabel 4. 3 Tabel Hasil Perhitungan .....	55
Tabel 4. 4 Tabel Hasil Perhitungan .....	61
Tabel 4. 5 Tabel Hasil Perhitungan .....	67
Tabel 4. 6 Tabel Hasil Perhitungan .....	73
Tabel 4. 7 Tabel Hasil Penelitian Daya Steam Masuk, Steam Keluar, Data Turbin, Tekanan Steam .....	75
Tabel 4. 8 Tabel Penelitian Efisiensi Turbin Uap.....	77

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Energi dibutuhkan bagi kehidupan manusia, adapun salah satu energi yang dibutuhkan untuk kehidupan manusia yaitu energi listrik. Energi listrik sangat dibutuhkan oleh manusia untuk berbagai keperluan, baik itu untuk keperluan industri, dan infrastruktur lainnya. Energi listrik yang besar dan penggunaannya yang terus menerus tidak dapat tersedia secara alami. Oleh karenanya, dibutuhkan pembangkit listrik yang handal. Turbin tenaga uap menjadi pembangkit listrik pada seluruh Perusahaan pabrik minyak kelapa sawit, akan tetapi perawatan serta pemeliharaan pada turbin pembangkit jarang diperhatikan, ada kalanya turbin mengalami masalah hingga kerusakan sehingga mengurangi efisiensi turbin. Oleh sebab itu penelitian ini bertujuan untuk menghitung efisiensi turbin yang digunakan.

Boiler merupakan unit mesin yang berfungsi mengubah air menjadi uap bertekanan (steam), uap bertekanan yang telah dihasilkan kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin sebagai pembangkit listrik. Pada dasarnya prinsip kerja boiler adalah perpindahan panas, dimana bahan bakar seperti fiber (serat) dan cangkang (shell) yang telah bercampur dengan udara dibakar langsung di dalam boiler, air yang telah dimurnikan dipompa melalui pipa-pipa ke dalam boiler. Intensitas panas yang tinggi dari pembakaran mengubah air yang telah dimurnikan di dalam pipa-pipa boiler menjadi uap panas bertekanan tinggi, yang kemudian digunakan sebagai penggerak turbin. Sebagai bahan bakar untuk pemanasan boiler, cangkang sawit dan ijuk dibutuhkan. Cangkang, merupakan limbah yang dihasilkan dari pengolahan inti sawit dengan bentuk seperti batok kelapa namun berukuran kecil. Setiap pengolahan 1 ton TBS menghasilkan 50-90 kg atau 5-9% dari hasil pengolahan TBS per ton dengan kandungan kalori 4000-4500 kkal/kg.

Sedangkan serat merupakan limbah sawit yang dihasilkan dari pengolahan pemerasan buah sawit pada proses kempa (press) yang berbentuk pendek seperti benang dan berwarna kuning kecoklatan.. Setiap pengolahan 1 ton TBS menghasilkan 120-140kg atau 12-14% dari hasil pengolahan TBS per ton dengan

kandungan kalori sebesar 3000-3600 kkal/kg, (Irfan Nadhif, 2021).

Turbin merupakan salah satu mesin konversi yang mengubah energi aliran suatu fluida menjadi energi gerak yang dapat dimanfaatkan. Mesin turbin terdiri dari beberapa bagian salah satunya rotor yang merupakan bagian berputar terdiri dari poros/ shaft dengan sudu – sudu di sekelilingnya. Tumbukan pada aliran fluida menyebabkan rotor berputar. Terdapat dua jenis turbin, yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Pada turbin impuls, rotor berputar karena tumbukan dari fluida yang diarahkan oleh nosel. Sedangkan pada turbin reaksi rotor berputar karena tekanan fluida uap dari nosel yang keluar pada ujung – ujung sudu, (Riyki Apriandi, 2016).

Turbin uap mendistribusikan ke 3 bagian seperti melalui pipa-pipa rebusan, minyak dan tekanan dimana digunakan untuk proses pengolahan. Namun sebelum dimanfaatkan untuk proses pengolahan, terlebih dahulu berfungsi untuk menghidupkan panel-panel listrik yang digerakkan oleh generator listrik sehingga generator listrik memutar turbin uap. Sistem pembangkit listrik tenaga uap merupakan sistem pembangkitan energi listrik dari perubahan energi thermal yang dihasilkan oleh bahan bakar untuk memanaskan air. Mesin-mesin konversi energi yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik diantaranya yaitu turbin uap. Dimana turbin uap merupakan kelompok pesawat-pesawat konversi.

Dengan mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik pada nosel (turbin impuls) dan sudu-sudu gerak (turbin reaksi) dan diubah menjadi energi mekanik pada poros turbin. Dan dengan bantuan roda gigi reduksi dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung dengan mekanisme yang digerakkan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, untuk transportasi, dan untuk pembangkit tenaga listrik, (Joko Purnomo, 2018).

Pabrik kelapa sawit PT. Bumi Sama Ganda memiliki efisiensi turbin yang rendah. Sehingga efisiensi turbin uap menurun dan menyebabkan daya listrik yang keluar tidak sesuai dengan keluaran generator. Karena itu dilakukan penelitian untuk meningkatkan efisiensi turbin uap sebagai penggerak generator, sehingga bias dimanfaatkan bagi industri pabrik kelapa sawit.

Berdasarkan uraian di atas maka penulis mengambil judul mengenai **“ANALISIS EFISIENSI TURBIN UAP SEBAGAI PENGGERAK**

**GENERATOR PADA PABRIK KELAPA SAWIT PT. BUMI SAMA GANDA**“ yang akan membahas tentang besarnya kapasitas daya turbin uap.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan permasalahan yang akan di selesaikan sebagai berikut :

1. Bagaimana menganalisa daya yang ditransfer dari turbin uap ke generator pabrik kelapa sawit ?
2. Bagaimana menganalisa efisiensi turbin uap terhadap putaran generator ?

### **1.3 Ruang Lingkup Penelitian**

Adapun ruang lingkup dari tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Perhitungan yang digunakan sebatas berada di ruangan pembangkit Turbin Elliot pabrik PT. Bumi Sama Ganda.
2. Menganalisa efisiensi turbin dan daya turbin Elliot DRY III yang digunakan pada PT. Bumi Sama Ganda

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian adalah untuk membahas pernyataan dalam kalimat penelitian yang menunjukkan hasil yang diperoleh setelah proses penelitian selesai. Tujuan penelitian dari tugas akhir ini adalah :

1. Dapat menganalisis daya output tertinggi turbin uap.
2. Dapat menganalisis efisiensi tertinggi turbin uap terhadap kinerja generator.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Laporan tugas akhir ini diharapkan bermanfaat bagi:

1. Membawa keuntungan bagi industri sebagai pertimbangan untuk meningkatkan daya dan efisiensi turbin uap di industri kelapa sawit.
2. Manfaat bagi penulis menambah pengetahuan dan pengalaman sehingga kegiatan yang sama dapat dilakukan setelah bekerja atau terjun ke lapangan.
3. Sebagai pengembangan pengetahuan mahasiswa dan bahan referensi tambahan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka Relevan**

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan (Muhammad Syukrillah,dkk., 2019) yang berjudul **“ANALISIS PERHITUNGAN EFISIENSI ENERGI DI SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA (PLTBM) PT. HARJOHN TIMBER KUBU RAYA”** Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) PT. Harjohn Timber menggunakan generator turbin uap dengan kapasitas 7,5 MW. Faktanya, energi yang dihasilkan tidak statis pada daya pengenal generator turbin uap. Kondisi PLTBm saat ini telah beroperasi selama 13 tahun dan telah banyak terjadi insiden yang dapat menurunkan efisiensi peralatan pada umumnya dan khususnya efisiensi boiler, turbin, dan generator. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan nilai spesifikasi kinerja komponen utama perangkat PLTBm dengan nilai efisiensi operasi rata-rata. Metode perhitungan yang digunakan adalah dengan menggunakan program aplikasi termodinamika ChemicalLogic SteamTab untuk mencari parameter nilai intalpi. Setelah dilakukan analisis, nilai efisiensi boiler sebesar 82%, efisiensi turbin uap dan generator sebesar 94,5%. Nilai kerja turbin tertinggi berdasarkan nilai kerja rata-rata, tepatnya pada bulan ke-9 penelitian, dengan nilai 5831 kW dari nilai spesifikasi 7088 kW. Sedangkan efisiensi operasi rata-rata generator tertinggi sebesar 93,78%, terjadi pada bulan ke-2 penelitian dan terendah pada bulan ke-8 penelitian, dengan nilai 81,05%. Jika nilai operasi rata-rata efisiensi turbin dibandingkan dengan nilai yang ditentukan, efisiensi turbin di Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) PT. Harjohn Timber turun sebesar  $\pm 12\%$  . Sedangkan nilai rata-rata operasi generator mengalami penurunan tertinggi sebesar  $\pm 13,5\%$  dan terendah  $\pm 1,5\%$ .

Adapun penelitian dari (Agus Noor Sidiq,2021) yang berjudul **“Perbandingan Efisiensi Turbin Uap Kondisi Aktual Berbasis Data Komissioning Sesuai Standard ASME PTC 6”**. Performa turbin uap merupakan suatu hal yang sangat penting untuk diketahui dan dianalisa untuk memahami kondisi aktual dibandingkan kondisi saat komissioning. Tujuan paper ini adalah untuk memahami performa dengan melakukan perbandingan efisiensi turbin uap

kondisi aktual berbasis data komissioning sesuai dengan kaidah ASME PTC 6. Dengan melakukan hal ini maka dapat diketahui performa aktual yang dialami oleh turbin uap tersebut, kondisi aktual inilah yang akan dibandingkan dengan data-data kommissioning sehingga nanti akan didapatkan selisih performa yang akan menjadi perhatian dalam perbaikan berkelanjutan pada turbin uap tersebut. Hasil pengamatan dilakukan pada PLTU Tarahan Unit 3 mengenai kondisi uap yang masuk ke turbin dalam hal ini tekanan dan temperaturnya, kondisi uap ekstraksi dan kondisi sisi exhaust yang akan mempengaruhi hasil analisa performa turbin uap tersebut.

Selanjutnya penelitian dari (Rolando Samosir,dkk,2019) yang berjudul **“ANALISA EFISIENSI ISENTROPIK TURBIN UAP PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA (PLTBM)”**. Nilai spesifikasi turbin uap perlu diperhatikan terutama spesifikasi efisiensi isentropik ( $\eta_t$ ) dan kerja turbin ( $W_t$ ) terhadap kemampuan operasional turbin uap di PT. Harjohn Timber Desa Kuala Dua Kubu Raya. Penelitian ini mencari nilai spesifikasi dan operasi efisiensi isentropik dan kerja turbin menggunakan parameter data berupa laju aliran massa ( $\dot{m}$ ), tekanan inlet ( $P_1$ ), tekanan outlet ( $P_2$ ) suhu inlet ( $T_1$ ) dan suhu outlet ( $T_2$ ) menggunakan aplikasi ChemicalLogic SteamTab dan metode interpolasi linier. Hasil dari penelitian ini diperoleh bahwa spesifikasi efisiensi isentropik turbin adalah 64,60 % dan kerja turbin 7,081 MW.

Penelitian dari operasional efisiensi isentropik adalah selama 4 hari penelitian adalah 66,43 %., 65,4 %, 65,71 % dan 66,23 %. Penelitian dari operasional kerja turbin adalah 5501,43 kW, 2784,64 kW,4999,58 kW dan 4895,08 kW. Rekomendasi yang di sarankan dari penelitian ini adalah perbaikan sensor-sensor turbin agar tidak terjadi kesalahan pembacaan dan juga perbaikan jalur pipa yang mengalirkan uap untuk meningkatkan kemampuan turbin uap.

Selanjutnya penelitian dari Edy Saputro, Aqli Mursadin (2021) berjudul **“ANALISIS EFISIENSI TURBIN UAP UNIT 1 DI PT. PJB UBJOM PLTU PULANG PISAU KALIMANTAN TENGAH”**, Turbin uap adalah salah satu jenis mesin konversivenergi yang dapat mengubah dari energi aliran fluida menjadi energi gerak kinetik, yang dapat dimanfaatkan. Ada 2 bagian utama dari pltu, bagian utama yang pertama adalah rotor, rotor merupakan bagian turbin uap

yang aktif bergerak dan terdiri dari rotor untuk high pressure, middle pressure dan low pressure, setiap rotor ditopang oleh 2 bantalan jenis journal / bantalan luncur, bagian kedua adalah sudusuduvturbin, sudu-suduyang dipasang disekeliling rotor membentuk suatu piringan. Tumbukan aliran fluida pada sudu-sudu menyebabkan rotor berputar. secara singkat prinsip kerja turbin energi panas di ubah terlebih dahulu menjadi energi kinetik, proses ini terjadi pada nozel energi kinetik di transformasi menjadi energi putar dari rotor turbin yang hanya terjadi pada sisi sudu sudu yang berputar/rotor karena adanya perbedaan tekanan akibat nozel dan kecepatan meningkat dan menabrak sudu rotor yang terdapat pada turbin sehingga memutar.

Selanjutnya penelitian dari Fakrizal Novansyah, dkk, (2022) berjudul **“ANALISA EFISIENSI TURBIN UAP PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP KAPASITAS 7,5 MW”**. Dari penelitian yang telah dilakukan di PT Mega Surya Eratama dapat disimpulkan bahwa besarnya daya turbin pada saat keadaan beban generator normal adalah sebesar 12.323,4 kJ/s. dan besarnya daya turbin pada saat beban generator turun adalah 6.184,31 kJ/s. Selanjutnya, efisiensi turbin pada saat beban generator normal adalah 61,27 % dan pada saat beban generator turun adalah 52,4 %. Hal-hal yang dapat disarankan terkait penelitian ini adalah perbaikan sensor sensor alat instrumentasi perlu dilakukan agar data yang diperoleh dari penelitian ini lebih akurat.

Untuk meningkatkan laju aliran massa diperlukan perbaikan jalur-jalur pipa yang digunakan untuk menyuplai uap ke turbin agar daya turbin meningkat, perbaikan dan pengecekan valve terutama pada sisi valve drainase, agar tidak terjadi losses steam yang menyebabkan penurunan efisiensi turbin karena valve kurang menutup maksimal ketika turbin beroperasi dalam kondisi normal.

Selanjutnya dari Briliana Kurniasari, dkk, (2017). Yang berjudul **“ANALISA EFISIENSI TURBIN GENERATOR BERDASARKAN KUALITAS DAYA PADA PLTU PABRIK GULA MADUKISMO”**. PLTU menggunakan fluida kerja air uap yang bersirkulasi secara tertutup yang merupakan penggunaan fluida yang sama secara berulang-ulang. Berikut ini merupakan tahapan sirkulasinya secara singkat, yaitu. Pertama air diisikan ke boiler hingga mengisi penuh seluruh luas permukaan pemindah panas. Didalam boiler air ini dipanaskan dengan gas

panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap. Kedua, uap hasil produksi boiler dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran. Ketiga, generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan, sehingga ketika turbin berputar dihasilkan energi listrik dari terminal output generator. Keempat, uap bekas keluar turbin masuk ke kondensor untuk didinginkan dengan air pendingin agar berubah kembali menjadi air yang disebut air kondensat. Air kondensat hasil kondensasi uap kemudian digunakan lagi sebagai air pengisi boiler.

Selanjutnya pada penelitian Fadel Gani Setiawan, dkk (2022). Yang berjudul **“ANALISIS KINERJA TURBIN UAP UNIT 1 DI CIREBON POWER”**. PT Cirebon Power merupakan konsorsium multinasional memiliki Pembangkit Listrik Supercritical dengan kapasitas unit 1 sebesar 1x660 MW. PLTU ini telah menghasilkan 5 TWh listrik pertahun melalui sistem interkoneksi Jawa-Madura-Bali (Jamali). Mesin di PLTU yang mengkonversi energi kalor menjadi energi mekanik yaitu turbin uap. Energi mekanik yang dihasilkan turbin selanjutnya dirubah menjadi energi listrik melalui generator. Turbin uap yang digunakan di PLTU Cirebon Power adalah jenis Turbine Tandem Compound, Single Reheat. Penelitian ini dilakukan tanpa adanya studi lapangan secara langsung dikarenakan adanya pandemi Covid-19. Oleh karena itu proses yang dilakukan yaitu perhitungan dengan data aktual dan data desain yang ada di PLTU Cirebon Power Unit 1. Data-data yang diperlukan untuk menghitung kinerja turbin uap yaitu Daya generator (kW), Tekanan uap masuk turbin (bar), Temperatur uap masuk turbin ( $^{\circ}\text{C}$ ), Tekanan uap keluar turbin (bar), Temperatur uap masuk turbin ( $^{\circ}\text{C}$ ), Laju alir massa fluida (kg/h). nilai efisiensi termal tertinggi yaitu pada bulan Januari sebesar 45,52% dan efisiensi termal terendah ada pada bulan April dengan nilai 44,36%. Nilai efisiensi termal desain untuk turbin uap yaitu sebesar 45,84%. Efisiensi termal yang dihasilkan turbin uap dapat dikatakan baik, karena berada dalam nilai yang wajar. Untuk pembangkit berkapasitas besar nilai efisiensi termal yaitu berada dalam kisaran 35- 50%. terlihat bahwa turbin yang memiliki efisiensi isentropik dari ketiga turbin relatif konstan. Turbin yang memiliki efisiensi isentropik tertinggi yaitu turbin LP dengan nilai efisiensi tertinggi pada bulan Januari yaitu 88,59% dan

efisiensi terendah pada bulan April yaitu 87,71%. Turbin IP memiliki nilai efisiensi yang relatif konstan paling konstan dibanding kedua turbin lainnya yaitu pada kisaran 86,46-86,76%. Efisiensi isentropik terendah terdapat pada turbin HP dengan nilai 81,25 – 82,73%. Efisiensi isentropik merupakan perbandingan antara kerja turbin aktual dengan kerja turbin ideal. Kerja turbin ideal dapat diketahui dengan menggunakan diagram mollier. Standar untuk nilai efisiensi turbin uap yaitu sebesar 70-90%.

Selanjutnya ditulis oleh Jamaludin dan Reza Pangestu Dh (2018). Yang berjudul **“ANALISIS PERHITUNGAN HEATRATE PADA TURBIN UAP BERDASARKAN PERFORMANCE TEST UNIT 1 DI PT. INDONESIA POWER UBOH UJP BANTEN 3 LONTAR”**. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Banten 3 Lontar Unit 1 merupakan pembangkit listrik dengan bahan bakar batubara yang memanfaatkan fluida kerja berupa uap (steam) untuk menggerakkan turbin yang bertindak sebagai penggerak mula yang kemudian turbin akan memutar rotor generator untuk menghasilkan listrik. Dalam proses produksi listrik, banyak terjadi proses konversi energi. Proses konversi energi sendiri merupakan proses perubahan energi berdasarkan perubahan bentuk dan sifatnya. Berawal dari energi kimia yang terkandung dalam batubara yang dikonversi menjadi energi kalor dalam proses pembakaran. Kemudian dikonversi lagi menjadi energi kinetik berupa aliran uap (steam), selanjutnya dikonversi menjadi energi mekanik melalui putaran turbin dan pada proses akhirnya energi mekanik tersebut dikonversikan menjadi energi listrik melalui generator. Pembangkit listrik tenaga uap termasuk dalam kategori “thermal plant”, karena pembangkit listrik ini memanfaatkan panas hasil pembakaran bahan bakar batubara dan udara furnace (tungku pembakaran) yang kemudian digunakan untuk memanaskan pipa-pipa berisi air/uap di dalam boiler.

Dari hasil perhitungan dan Analisa heatrate dengan metode perhitungan turbine heatrate berdasarkan performance test pada unit 1 dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Nilai turbine heatrate terendah (terbaik) terdapat pada bulan Januari dengan nilai 8252.61 kJ/kWh sedangkan nilai turbine heatrate tertinggi (terburuk) terdapat pada bulan Maret dengan nilai 8911.99 kJ/kWh. Semakin kecil nilai heatrate maka akan semakin baik efisiensi pembangkit, sebaliknya jika semakin tinggi (besar) nilai heatrate maka semakin buruk efisiensi pembangkit tersebut.

Hasil nilai turbine heatrate berdasarkan performance test mengalami kenaikan dan penurunan yang tidak begitu signifikan. Data diambil dari Central Control Room (CCR) pada PLTU Banten 3 Lontar dan hasil perhitungan performance test dari data CCR dengan cara perhitungan manual tidak berbeda jauh hasilnya.

Selanjutnya pada penulisan Dwi Cahyadi, Hermawan(2015).Yang berjudul **“ANALISA PERHITUNGAN EFISIENSI TURBINE GENERATOR QFSN-300-2-20B UNIT 10 dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU REMBANG”** Pada proses pembangkit listrik di PLTU Rembang, Jawa Tengah, daya rated yang dibangkitkan (rated output) oleh turbine generator sebesar 300MW. Hal ini berdasarkan pada desain awal yang tertera dalam manual book. Secara aktual, daya yang dibangkitkan tidak statik pada nilai rated. Kondisi saat ini PLTU Rembang telah beroperasi selama 5 tahun dan telah mengalami banyak permasalahan yang dapat menurunkan efisiensi unit pada umumnya dan secara spesifiknya pada efisiensi turbine generator. Setelah kegiatan Kerja Praktek yang telah dilakukan pada PLTU 1 Jawa Tengah Rembang dapat disimpulkan bahwa : Proses pembangkitan listrik khususnya pada PLTU 1 Jawa Tengah Rembang terdiri dari siklus bahan bakar, siklus uap dan air, serta siklus pembakaran.

Pada Unit 10 nilai efisiensi terendah terjadi pada hari ke-sembilan yaitu pada tanggal 10 Februari 2015 sebesar 90.75%, sedangkan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada hari kedua (3 Februari 2015) sebesar 95.93%. Pada unit 20, nilai efisiensi terendah terjadi pada hari ke-delapan (9 Februari 2015) sebesar 90.46%, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada hari ke-enam sebesar 94.66%. Turbine generator QFSN-300-2-20B mengalami penurunan efisiensi sebesar  $\pm 5\%$  dari nilai efisiensi desain.

Selanjutnya ditulis oleh Muhammad Fauzi Zakaria (2018). Yang berjudul **“ANALISA ENERGI DAN EKSERGI TURBIN UAP PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP UNIT 2 TANJUNG AWAR-AWAR”** Dengan menggunakan metode analisa energi dan eksergi dapat digunakan sebagai alternatif untuk meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar pada suatu pembangkit. Hilangnya energi dengan jumlah yang besar pada mesin pembangkit listrik dapat terjadi di salah satu atau lebih pada komponen mesin. Untuk mengetahui komponen-komponen tersebut maka perlu dilakukan analisis di setiap komponen sistem pembangkit listrik tersebut. Metode ini telah banyak dilakukan oleh para

ilmuan dan perancang sistem untuk meningkatkan efisiensi pada pembangkit. melakukan analisa energi dan eksergi pembangkit listrik tenaga uap di Montazeri Iran kapasitas unit 200 MW.

Hasil dari analisa energi menunjukkan kehilangan energi terbesar terdapat pada kondensor sebesar 296,8 MW mencakup 69,8% energi total didalam system, kemudian besar kerugian energi dialami oleh peralatan turbin uap dan boiler. Analisa eksergi menunjukkan boiler membuang eksergi terbesar 315,39 MW mencakup 85,66% dari total eksergi memasuki sistem pembangkit, kemudian besar kerusakan eksergi dialami oleh peralatan turbin uap dan kondensor. Hasil analisa energi sebagai berikut : Efisiensi isentropik rata-rata pada turbin uap didapatkan sebesar 91,48 % dengan laju kerugian energi rata-rata pada turbin uap sebesar 31,11 MW. Performa turbin uap dipengaruhi oleh temperatur lingkungan dimana pengaruh lingkungan terbesar pada LP Turbin. Kondisi ini diperoleh pendingin kondensor mengalami kenaikan akibat terjadinya kenaikan temperatur lingkungan sehingga menyebabkan tekanan vakum pada kondensor turun. Hasil analisa eksergi sebagai berikut. Efisiensi eksergi rata-rata pada turbin uap didapatkan sebesar 94,08 % dengan laju kerusakan eksergi rata-rata pada turbin uap sebesar 25,98 MW. Penurunan efisiensi eksergi disebabkan karena temperatur kenaikan lingkungan dan perubahan data operasi.

Perubahan data operasi ini dipengaruhi oleh banyak faktor seperti pembakaran bahan bakar di boiler, heating value bahan bakar, peralatan setiap pembangkit. Hasil evaluasi pemanfaatan energi sebagai berikut. Besar energi yang masuk sistem rata-rata sebesar 370,76 MW dari total besar eksergi sebagai potensi energi masuk sistem rata-rata sebesar 397,41 MW. Persentase energi yang masih dimanfaatkan oleh sistem rata-rata sebesar 93,30 % dengan besar peluang energi yang masih bisa ditingkatkan rata-rata 1,33% dari total potensi energi yang tersedia.

Pada penulisan Teguh Priambodo, M. Aan Auliq (2016). Yang berjudul **“ANALISA PERHITUNGAN EFISIENSI DAYA TURBINE GENERATOR SIEMENS ST-300 7 MW DI PTPN XI (Unit) PG. SEMBORO”**. Kondisi saat ini PLTU PG. Semboro telah beroperasi selama 2 tahun dan telah mengalami banyak permasalahan yang dapat menurunkan efisiensi unit pada umumnya dan secara spesifiknya pada efisiensi turbine generator. Efisiensi dari generator akan

mempengaruhi kinerja dari sistem PLTU. Semakin besar efisiensi generatornya maka keandalan sistem juga semakin baik. Selama 2 tahun beroperasi, diperkirakan efisiensi generator mengalami penurunan akibat beberapa faktor seperti sering terjadinya derating (penurunan beban) atau trip (unit shutdown), faktor lamanya pemeliharaan, kesalahan dalam pengoperasian dan perawatan serta faktor-faktor lain. Berdasarkan grafik efisiensi Boiler PLTU PG. Semboro pada tanggal 1-10 November 2018 dengan nilai rata-rata Boiler Yoshimine sebesar 84.30%, Weltes 84.29%, dan Takuma 85.99% dengan perhitungan efisiensi menggunakan metode langsung atau input – output, pada dasarnya efisiensi boiler merupakan parameter performa kerja boiler pada setiap pembangkitan, pada PLTU PG. Semboro kondisi boiler masih dalam kondisi yang baik. Perhitungan berdasarkan kondisi di lapangan maka diperoleh efisiensi konversi energi di turbin sebesar 95.17%. Dengan menggunakan entalphi steam yang masuk ke turbin ( $h_1$ ) dan entalphi steam yang keluar dari turbin ( $h_2$ ) membandingkan dengan keadaan adiabatik sistem berdasarkan siklus Rankine. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.6, terlihat nilai efisiensi daya turbin generator ST-300 7MW mengalami perubahan yang fluktuatif. Selama 10 hari pengamatan didapatkan nilai efisiensi terendah terjadi pada hari kesembilan (9 November 2018) sebesar 90.44% sedangkan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada hari kelima (5 November 2018) sebesar 96.55%. Sedangkan untuk efisiensi desain didapat nilai efisiensi terbesar pada tanggal (5 November) senilai 98.44% dan terkecil pada tanggal (9 November) senilai 94.17%. Efisiensi pada generator tidak bisa mencapai 100%, hal ini disebabkan oleh rugi-rugi yang ada pada generator tersebut. Pada buku *Electric Machinery Fundamentals*, S.J. Chapman dijelaskan bahwa rugi-rugi generator meliputi rugi-rugi panas pada kumparan (*winding*) dan rugi-rugi pada inti generator (*core*), serta rugi-rugi mekanik akibat gesekan terhadap udara pada saat berputar. Rugi-rugi panas yang dihasilkan inti dan kumparan generator dipengaruhi oleh sistem pendinginannya (*generator cooling system*). Hal ini menyebabkan efisiensi pada generator dapat mengalami perubahan yang fluktuatif saat beroperasi.

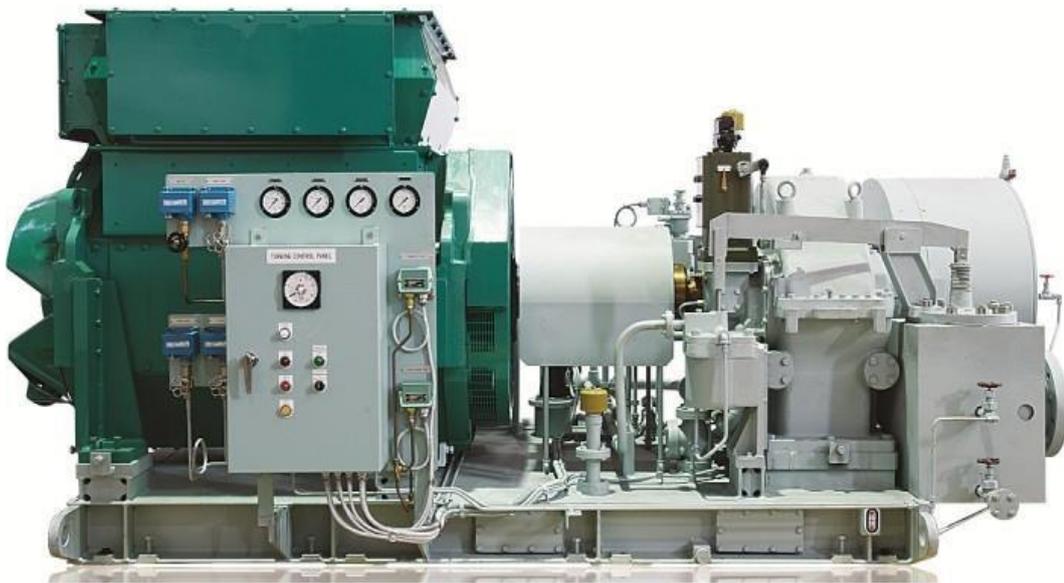
## 2.2 Landasan Teori

Adapun teori yang digunakan untuk mendalami dan mendukung penelitian pada PT. Bumi Sama Ganda sebagai berikut :

### 2.2.1 Turbin Uap

Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin, langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang akan digerakkan. Tergantung pada jenis mekanisme yang digunakan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang seperti pada bidang industri, untuk pembangkit tenaga listrik dan untuk transportasi. Pada proses perubahan energi potensial menjadi energi mekanisnya yaitu dalam bentuk putaran poros dilakukan dengan berbagai cara.

Pada dasarnya turbin uap terdiri dari dua bagian utama, yaitu stator dan rotor yang merupakan komponen utama pada turbin kemudian di tambah komponen lainnya yang meliputi pendukungnya seperti bantalan, kopling dan sistem bantu lainnya agar kerja turbin dapat lebih baik. Sebuah turbin uap memanfaatkan energi kinetik dari fluida kerjanya yang bertambah akibat penambahan energi termal.



Gambar 2. 1 Generator-Turbin

Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi

mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin langsung atau dengan bantuan elemen lain, dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung dari jenis mekanisme yang digerakkan turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, seperti untuk pembangkit listrik.

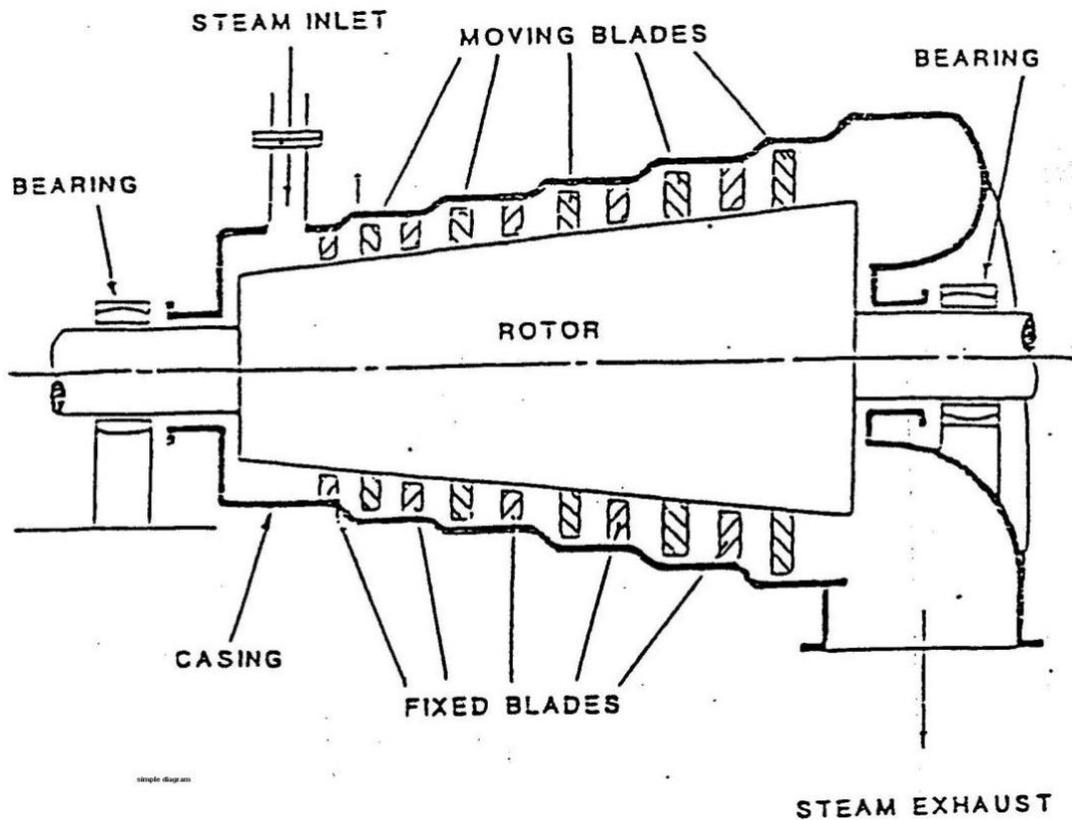
### **2.2.2 Prinsip Kerja Turbin Uap**

Secara singkat, prinsip kerja turbin uap adalah sebagai berikut. Uap memasuki turbin melalui nosel, energi termal uap diubah menjadi energi kinetik di dalam nosel, menyebabkan uap mengembang. Tekanan uap keluar nosel lebih rendah daripada tekanan masuk nosel, tetapi sebaliknya kecepatan uap keluar nosel lebih tinggi daripada tekanan masuk nosel. Uap yang keluar dari nosel diarahkan ke sudu-sudu turbin yang dipasang membentuk busur di sekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah antara bilah turbin dibelokkan ke arah sepanjang kelengkungan bilah turbin. Perubahan kecepatan uap ini menciptakan gaya yang menggerakkan roda dan poros turbin untuk berputar.

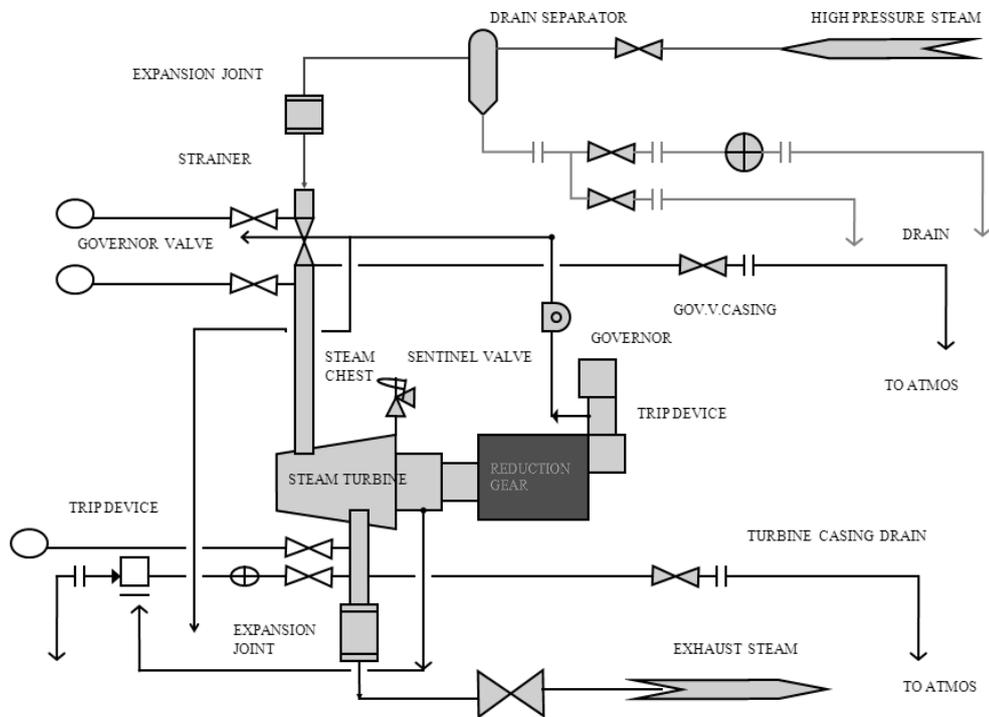
Jika uap masih memiliki kecepatan tertentu saat keluar dari sudu turbin, berarti hanya sebagian energi kinetik uap yang diserap oleh sudu turbin yang bekerja. Turbin dipasang dalam beberapa baris sudu untuk memanfaatkan energi kinetik yang tersisa saat meninggalkan sudu turbin. Sebelum memasuki baris kedua Blades of Movement. Maka antara baris kedua dan baris pertama sudu gerak dipasang sudu tetap (guide blade) yang berguna untuk merubah 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 dibuat sekecil mungkin, agar energi kinetik yang tersedia dapat dimanfaatkan sebanyak mungkin. Dengan demikian efisiensi Turbin menjadi lebih tinggi karena kehilangan energi relatif kecil, (Sularso dan Haruo Tahara, 2004).

### 2.3 Bagian Utama Turbin Uap.

Secara garis besar adapun bagian utama dari Turbine Uap yaitu :



Gambar 2. 2 Bagian Dalam



Gambar 2. 3 Komponen-Komponen Utama Turbin

#### A. *Casing*

*Casing* adalah bagian yang diam merupakan rumah atau wadah dari *rotor*. Pada *casing* terdapat sudu-sudu diam yang dipasang melingkar dan berjajar terdiri dari beberapa baris yang merupakan pasangan dari sudu gerak pada *rotor*. Sudu diam berfungsi untuk mengarahkan aliran uap agar tepat dalam mendorong sudu gerak pada rotor.

#### B. *Rotor*

*Rotor* adalah bagian yang berutar terdiri dari poros dan sudu-sudu gerak yang terpasang mengelilingi *rotor*. Jumlah baris sudu gerak pada *rotor* sama dengan jumlah baris sudu diam pada *casing*. Pasangan antara sudu diam dan sudu gerak disebut tingkat (*stage*). Sudu gerak berfungsi untuk merubah energi kinetik uap menjadi energi mekanik.

#### C. Bantalan (*Bearing*)

Fungsi bantalan (*bearing*) adalah untuk menopang dan menjaga rotor turbin agar tetap pada posisi normalnya.

#### D. Katup Utama (*Main Valve*)

Katup utama turbin terdiri dari *main stop valve* (MSV) dan *governor valve* (GV). *Main Stop Valve* (MSV) berfungsi sebagai katup penutup cepat jika turbin trip atau katup pengisolasi turbin terhadap uap masuk. MSV bekerja dalam dua posisi, yaitu menutup penuh atau membuka penuh.

Turbin harus dapat beroperasi dengan putaran yang konstan pada beban yang berubah-ubah. Untuk membuat agar putaran turbin selalu tetap digunakan *governor valve* yang bertugas mengatur aliran uap masuk turbin sesuai dengan bebannya.

#### E. *Reducing Gear*

*Reducing Gear* adalah suatu bagian dari turbin yang biasanya dipasang pada turbin-turbin dengan kapasitas besar dan berfungsi untuk menurunkan putaran poros rotor dari 5.294 rpm menjadi 1.500 rpm.

Bagian-bagian dari *Reducing Gear* adalah :

1. *Gear casing* adalah penutup *gear box* dari bagian-bagian dalam reducing gear.
2. *Pinion (high speed gear)* adalah roda gigi dengan tipe *helical* yang putarannya merupakan putaran dari *shaft rotor* turbin uap.
3. *Gear wheel (low speed gear)* merupakan roda gigi tipe *helical* yang putarannya akan mengurangi jumlah putaran dari *shaft rotor* turbin yaitu dari 5.294 rpm menjadi 1.500 rpm.
4. *Pinion bearing* yaitu bantalan yang berfungsi untuk menahan atau menerima gaya tegak lurus dari *pinion gear*.
5. *Pinion holding ring* yaitu ring berfungsi menahan *pinion bearing* terhadap gaya radial *shaft pinion gear*.
6. *Wheel bearing* yaitu bantalan yang berfungsi menerima atau menahan gaya radial dari *shaft gear wheel*.
7. *Wheel holding ring* adalah ring penahan dari *wheel bearing* terhadap gaya radial atau tegak lurus *shaft gear wheel*.
8. *Wheel trust bearing* merupakan bantalan yang berfungsi menahan atau menerima gaya sejajar dari poros *gear wheel* (gaya aksial) yang merupakan gerak maju mundurnya poros.

#### 2.4 Efisiensi Turbin Uap

Pengertian efisiensi turbin adalah kemampuan turbin untuk merubah energi panas yang dikandung uap menjadi energi mekanik untuk menggerakkan generator. Dalam termodinamika, efisiensi termal adalah ukuran tanpa dimensi yang menunjukkan performa peralatan termal seperti mesin pembakaran dalam dan sebagainya. Panas yang masuk adalah energi yang didapatkan dari sumber energi. Output yang diinginkan dapat berupa panas atau kerja, atau mungkin keduanya. Jadi apabila kapasitas pembangkit besar maka range efisiensi thermal juga akan semakin besar begitu pula sebaliknya. Ketika ditulis dalam presentase, efisiensi thermal harus berada antara 0% sampai 100 %. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya kerugian di dalam turbin akan mempengaruhi efisiennya.

Untuk menghitung efisiensi pada turbin uap maka kita harus mengetahui nilai entalpi dan entropi pada siklus tersebut. Entalpi dalam termodinamika yang

menyatakan jumlah energi dalam volume dan tekanan panas dari suatu zat. Satuan dari entalpi adalah joule, namun digunakan juga satuan British thermal unit dan kalori. Total entalpi (h) tidak bisa diukur langsung. Sama seperti pada mekanika klasik, hanya perubahannya yang dapat dinilai. Sedangkan Entropi adalah salah satu besaran termodinamika yang mengukur energi dalam sistem per satuan temperatur yang tak dapat digunakan untuk melakukan usaha entropi. Kerugian yang besar akan membuat efisiensinya rendah.

Perhitungan yang terlibat dalam efisiensi turbine uap :

a. Daya steam masuk turbin

$$W_{Tin} = m_s \times h_3 \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

$W_{Tin}$  = daya steam masuk turbin

$m_s$  = Laju aliran uap (kg/jam)

$h_3$  = Entalphi masuk turbin (kj/kg)

b. Daya steam keluar turbin

$$W_{Tout} = m_s \times h_4 \dots\dots\dots(2.5)$$

$W_{Tout}$  = daya steam keluar turbin (Kw)

$m_s$  = Laju aliran uap (kg/jam)

$h_4$  = Entalphi keluar turbin (kj/kg)

Setelah melakukan perhitungan daya steam masuk dan keluar turbin dilanjutkan dengan rumus efisiensi turbin :

$$\eta_{turbin} = \frac{W_{Tout}}{W_{Tin}} \times 100\%$$

Dimana :

$\eta_{turbin}$  = efisiensi turbin

$W_{Tout}$  = daya steam keluar turbin (Kw)

$W_{Tin}$  = daya steam masuk turbin (Kw)

Faktor-faktor yang penyebab kerugian di dalam turbin diantaranya :

1. Kerugian uap pada saat meninggalkan moving blade
2. Kerugian pada nozel

3. Kerugian celah
4. Kerugian pada katup
5. Kerugian akibat kebasahan uap
6. Kerugian gesekan

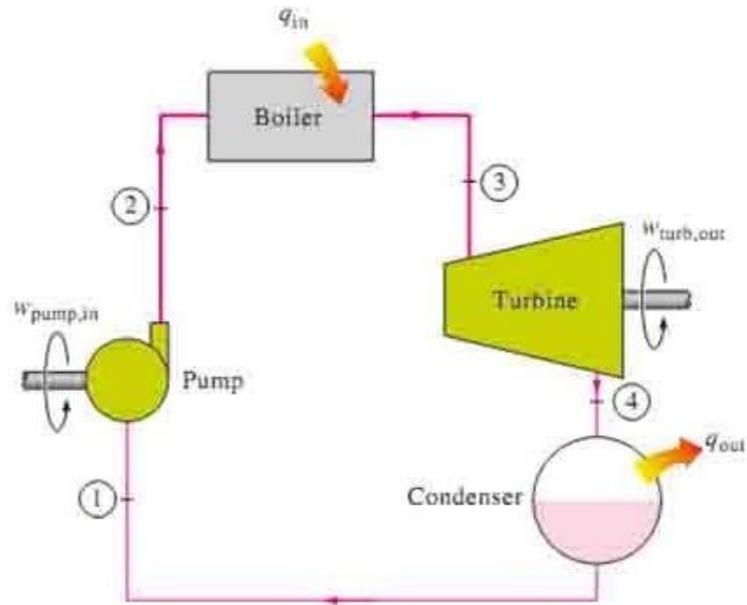
## **2.5 Siklus Rankine**

Siklus Rankine merupakan sebuah rangkaian proses yang mana dimulai dari suatu tingkat kondisi yang akan kembali ke tingkat kondisi semula dan selalu berulang terus-menerus. Siklus Rankine adalah siklus termodinamika yang mengubah panas menjadi kerja. Siklus Rankine merupakan siklus ideal untuk siklus tenaga uap. Siklus Rankine sederhana terdiri dari empat komponen utama yaitu pompa, boiler, turbin dan kondensor.

PLTU menggunakan fluida kerja air uap yang bersirkulasi secara tertutup yang merupakan penggunaan fluida yang sama secara berulang-ulang. Berikut ini merupakan tahapan sirkulasinya secara singkat, yaitu:

1. Pertama air diisikan ke boiler hingga mengisi penuh seluruh luas permukaan pemindah panas. Didalam boiler air ini dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap.
2. Kedua, uap hasil produksi boiler dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran.
3. Ketiga, generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan, sehingga ketika turbin berputar dihasilkan energi listrik dari terminal output generator.
4. Keempat, uap bekas keluar turbin masuk ke kondensor untuk didinginkan dengan air pendingin agar berubah kembali menjadi air yang disebut air kondensat. Air kondensat hasil kondensasi uap kemudian digunakan lagi sebagai air pengisi boiler.

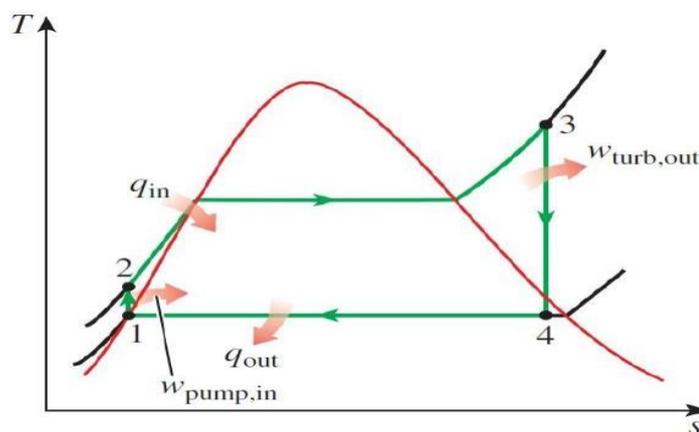
Seperti terlihat pada gambar 2.4. Sebagai berikut :



Gambar 2. 4 Siklus Renkine Ideal

Terdapat 4 proses dalam siklus Rankine, setiap siklus mengubah keadaan fluida (tekanan dan wujud) sebagai berikut:

1. 1-2 proses kompresi isentropic di dalam pompa.
2. 2-3 proses penambahan kalor dengan tekanan konstan di boiler.
3. 3-4 proses ekspansi isentropic pada turbin.
4. 4-1 proses pelepasan kalor dengfan tekanan konstan pada kondensor.



Gambar 2. 5 Diagram T - S Siklus Rankine

Analisa pada siklus rankine menggunakan beberapa data, berdasarkan unit uap dan massa uap dapat dihitung berapa daya dan efisiensi thermal turbin dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Daya pompa

$$W_p = m (h_2 - h_1) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

$$W_p = \text{Kerja Pompa (Kw)}$$

$$m_s = \text{Laju aliran uap (kg/jam)}$$

$$h_2 = \text{Entalpi masuk pompa (kj/kg)}$$

$$h_1 = \text{Entalpi keluar pompa (kj/kg)}$$

2. Laju perpindahan panas ke fluida

a. Fluida masuk

$$Q_{in} = m_s (h_3 - h_2) \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

$$Q_{in} = \text{fluida yang masuk (Kw)}$$

$$m_s = \text{Laju aliran uap (kg/jam)}$$

$$h_3 = \text{Entalpi masuk turbin (kj/kg)}$$

$$h_2 = \text{Entalpi masuk pompa (kj/kg)}$$

b. Fluida keluar

$$Q_{out} = m_s (h_4 - h_2) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

$$Q_{out} = \text{fluida yang Keluar (Kw)}$$

$$m_s = \text{Laju aliran uap (kg/jam)}$$

$$h_4 = \text{Entalpi keluar turbin (kj/kg)}$$

$$h_1 = \text{Entalpi keluar pompa (kj/kg)}$$

3. Daya steam turbin

a. Daya steam masuk turbin

$$W_{Tin} = m_s \times h_3 \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

$$W_{Tin} = \text{daya steam masuk turbin}$$

$m_s$  = Laju aliran uap (kg/jam)  
 $h_3$  = Entalpi masuk turbin (kj/kg)

b. Daya steam keluar turbin

$$W_{Tout} = m_s \times h_4 \dots \dots \dots (2.5)$$

$W_{Tout}$  = daya steam keluar turbin (Kw)

$m_s$  = Laju aliran uap (kg/jam)

$h_4$  = Entalpi keluar turbin (kj/kg)

c. Daya turbin

$$W_T = m_s (h_3 - h_4) \dots \dots \dots (2.6)$$

$W_T$  = Daya turbin (KW)

$h_3$  = Entalpi masuk turbin (kj/kg)

$h_4$  = Entalpi keluar turbin (kj/kg)

Untuk mendapatkan entalpi masuk dan keluar turbin dibutuhkan tabel thermodynamika :

Press., P kPa	Sat. temp., $T_{sat}$ °C	Specific volume, m <sup>3</sup> /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, $v_f$	Sat. vapor, $v_g$	Sat. liquid, $u_f$	Evap., $u_{fg}$	Sat. vapor, $u_g$	Sat. liquid, $h_f$	Evap., $h_{fg}$	Sat. vapor, $h_g$	Sat. liquid, $s_f$	Evap., $s_{fg}$	Sat. vapor, $s_g$
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

Gambar 2. 6 Tabel Thermodynamika

Dari tabel termodinamika tersebut di jelaskan bahwa :

- a.  $v_{fg}$  = selisih  $v_g$  dengan  $v_f$
- b.  $u_f$  = energy internal dari cairan jenuh ( saturated liquid )
- c.  $u_g$  = energy internal dari uap jenuh ( saturated vapor )
- d.  $u_{fg}$  = selisih  $u_g$  dengan  $u_f$
- e.  $h_f$  = enthalpy dari cairan jenuh ( saturated liquid )
- f.  $h_g$  = enthalpy dari uap jenuh ( saturated vapor )
- g.  $h_{fg}$  = selisih  $h_g$  dengan  $h_f$  ini disebut juga enthalpy penguapan
- h.  $s_f$  = entropy dari cairan jenuh ( saturated liquid )
- i.  $s_g$  = entropy dari uap jenuh ( saturated vapor )
- j.  $s_{fg}$  = selisih  $s_g$  dengan  $s_f$

Adapun untuk mencari rumus entalphi yang tidak dapat dilihat di tabel termodinamika dan di aplikasi digital yaitu :

- a) Entalpi masuk pompa ( $h_2$ )

$$h_2 = h_1 + w_{pump,in}$$

Dimana :

$h_2$  = Entalpi masuk pompa (kj/kg)

$h_1$  = Entalphi keluar pompa (kj/kg)

$w_{pump,in}$  = kerja spesifik pompa masuk

- b) Entalphi keluar turbin ( $h_4$ )

$$h_4 = h_1 + X_4 \cdot h_{fg}$$

Dimana ;

$h_4$  = Entalphi masuk turbin (kj/kg)

$h_1$  = Entalphi keluar pompa (kj/kg)

$X_4$  = Kualitas uap

$h_{fg}$  = selisih  $h_g$  dengan  $h_f$  ini disebut juga entalpy penguapan

## 2.6 Generator

Generator listrik merupakan mesin yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari sumber energi mekanis. Prinsip kerja dari generator listrik diantaranya sebagai induksi elektromagnetik. Berdasarkan jenis arus listriknya, generator kemudian dibagi menjadi generator arus searah serta generator arus bolak-balik. Perbedaan keduanya ada pada penggunaan komutator pada generator arus searah beserta cincin selip pada generator arus bolak-balik. Proses kerja generator listrik dikenal juga sebagai pembangkit listrik. Generator listrik juga memiliki banyak kesamaan dengan motor listrik, namun motor listrik adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.

Selain itu, generator juga mendorong muatan listrik untuk dapat bergerak melalui sebuah sirkuit listrik eksternal, namun generator tidak menciptakan listrik yang sudah ada di dalam lilitan kumparannya. Hal ini dapat dianalogikan dengan sebuah pompa air, yang kemudian menciptakan aliran air tetapi tidak menciptakan air di dalamnya. Sumber energi mekanik kemudian dapat berupa resiprokal maupun turbin mesin uap, air yang jatuh melalui sebuah turbin atau kincir air, mesin pembakaran dalam, turbin angin, engkol tangan, energi surya juga matahari, udara yang dimampatkan, atau apa pun sumber energi mekanis yang lalu lalang. Adapun dua jenis generator yaitu.

### a. Generator Searah

Dasar kerja dari generator arus searah adalah terjadinya peristiwa induksi elektromagnetik. Generator arus searah juga dapat menghasilkan kegagalan induksi ke satu arah dengan mengubah bentuk cincin terminalnya. Cincin terminal dalam bentuk ini disebut juga sebagai cincin belah atau komutator. Generator arus searah hanya akan menggunakan komutator satu cincin yang terbelah dua, sehingga kemudian menghasilkan arus searah, sedangkan generator arus bolak-balik memiliki dua cincin yang terpisah.

Ketika gaya gerak listrik timbul, maka kontak dengan rangkaian beban kemudian berganti terminal, sehingga tegangan keluaran hanya memiliki satu tanda serta menghasilkan arus searah. Penambahan jumlah kumparan yang kemudian dihubungkan ke komutator dengan cincin komutator yang terdiri dari beberapa segmen, serta mampu mengurangi riak pada tegangan listrik arus searah.

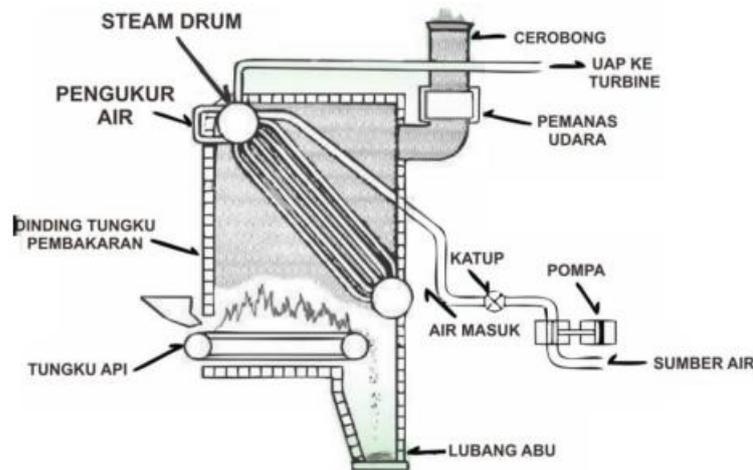
## b. Generator Arus Bolak-balik

Sistem arus bolak-balik pertama kali dibuat oleh William Stanley di Great Barrington, Massachusetts. Proyek pembuatan sistem ini sendiri didanai oleh Westinghouse. Di saat yang bersamaan, sistem arus bolak-balik kemudian diperjualbelikan oleh Nikola Tesla. Penggunaan arus bolak-balik tersebut terus meningkat setelah C.S. Bradley membuat generator bolak-balik 3 fasa pada tahun 1887. Generator arus bolak-balik tiga fasa ini memiliki daya guna yang tinggi, sehingga digunakan sebagai pembangkit listrik secara umum di dunia sejak tahun 1900 Masehi.

Generator arus bolak-balik ini terdiri dari suatu kumparan serta lilitan kawat yang diputar di dalam medan magnet. Bagian dalam generator arus bolak-balik ini disebut juga sebagai armatur. Isi armature adalah silinder besi yang digunakan sebagai tempat bagi kumparan kawat untuk dililitkan. Selain itu, terminal generator juga memiliki dua cincin putar yang dihubungkan dengan beban listrik melalui bushing yang terbuat dari tembaga lunak. Medan magnet kemudian dibentuk oleh magnet permanen atau elektromagnet. Energi untuk memutar armatur dapat berupa tenaga manusia, pembakaran, ataupun pada energi

## 2.7 Boiler

Boiler merupakan bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk uap panas atau steam berupa energi kerja. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Uap panas atau steam pada tekanan dan suhu tertentu memiliki nilai energi yang kemudian digunakan untuk mengalirkan panas dalam bentuk energi kalor ke suatu proses. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai efisiensi antara lain mass flow, tekanan dan suhu uap masuk boiler serta tekanan dan suhu uap keluar boiler. Tahap awal proses penentuan efisiensi boiler adalah data tekanan, suhu masukan dan keluaran boiler. Data tersebut diubah menjadi entalpi panas lanjut dalam satuan kJ/kg dan entalpi air umpan juga dalam kJ/kg untuk mendapatkan nilai energi keluar dan energi masuk.



Gambar 2. 7 Boiler Turbin Uap

Energi kalor yang dibangkitkan dalam sistem boiler memiliki nilai tekanan, temperatur, dan laju aliran yang menentukan pemanfaatan steam yang akan digunakan. Berdasarkan ketiga hal tersebut sistem boiler mengenal keadaan tekanan temperatur rendah, dan tekanan temperatur tinggi dengan perbedaan itu pemanfaatan steam yang keluar dari sistem boiler dimanfaatkan dalam suatu proses untuk memanaskan cairan dan menjalankan suatu mesin. Sistem boiler terdiri dari sistem air umpan, sistem steam, dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan dari sistem air umpan, penanganan air umpan diperlukan sebagai bentuk pemeliharaan untuk mencegah terjadi kerusakan dari sistem steam. Sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler.

Steam dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan steam diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada system, oleh karena itu bahan bakar yang digunakan untuk menjadi sumber panas boiler harus dipilih dengan baik. (Muslih Nasution, 2022)

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu

#### 3.1.1 Tempat

Dalam penerapan penelitian tugas akhir ini di PT.BUMI SAMA GANDA yang berlokasi di Kab.Aceh Tamiang, Kec.Rantau, Jalan Kebun Rantau.

#### 3.1.2 Waktu

Waktu penerapatan tugas akhir ini berlangsung dimulai dari tanggal 6 Februari 2023 sampai 12 Maret 2023.

Tabel 3. 1 Waktu Pelaksanaan Penelitian

NO	Uraian	Bulan Ke								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Kajian Literatur									
2	Meneliti kinerja Generator									
3	Penyusunan kerangka Penelitan									
4	Penulisan Bab 1 Sampai Bab 3									
5	Seminar Proposal									
6	Analisa Data									
7	Seminar hasil									
8	Sidang Akhir									

### 3.2 Bahan dan Alat

#### 3.2.1 Bahan

##### A. Air

Air digunakan sebagai media penghasil uap (steam) yang di peroleh darialiran sungai yang menuju ke pabrik kelapa sawit.

## B. Serabut (fiber) dan Cangkang (shell)

Digunakan sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan energy mekanik dan panas. Serabut (fiber) dan Cangkang (shell) di peroleh dari sisa-sisa proses pengolahan kelapa sawit.

### 3.2.2 Alat

Alat-alat yang digunakan antara lain:

#### A. Turbin



Gambar 3. 1 Turbin Elliot DRY UG III

Turbin uap yang digunakan Pabrik Kelapa Sawit PT. Bumi Sama Ganda adalah turbine uap merk Elliot . Dengan spesifikasi ditunjukkan pada tabel 3.2

Tabel 3. 2 Spesifikasi Turbin Shinko RB-4

Model	Daya Normal	Steam Press	Steam Temp	Exhaust Prest	Serial no.	Turbine Speed	Out Speed
DRY UG III	1800kW	20kg/cm <sup>2</sup>	300 °C	3,5 kg/cm <sup>2</sup>	14176360	5294 rpm	1500 rpm

## B. Pressure Gauge



Gambar 3. 2 Pressure Gauge

Pressure gauge adalah alat yang digunakan secara luas pada audit energy untuk mengukur tekanan uap, yang berfungsi untuk mengukur tekanan uap.

## C. Boiler



Gambar 3. 3 Boiler Mech

Boiler yang di gunakan oleh PT.Bumi Sama Ganda adalah boiler merk Boiler Mech dengan spesifikasi

Tabel 3. 3 Tabel Spesifikasi Boiler Mech

Model	Boiler Mech
Design Pressure	25 BAR
MAX. Work Pressure	35000 kg/h
Serial NO	BS1113 / 1999
Year Build	2009
Steam Temperatur	Saturated

#### D. Control Panel



Gambar 3. 4 Control Panel

Control Panel berfungsi untuk mengukur tegangan listrik dan daya listrik pada keluaran generator listrik. Yang di hasilkan dari turbin uap sebagai media penggerakannya.

### 3.3 Penulisan Penelitian

Sebelum melaksanakan penelitian diperlukan untuk membuat rancangan penelitian, agar setiap langkah dan tujuan bisa dilakukan dengan baik. Peneliti membuat rancangan penelitian dengan 5 tahap sebagai berikut :

#### 3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur adalah pengumpulan referensi dari karya ilmiah, jurnal, penelitian terdahulu yang berhubungan dan mendukung teori untuk penyelesaian penelitian “ANALISIS EFISIENSI TURBIN UAP SEBAGAI PENGGERAK GENERATOR PADA PABRIK KELAPA SAWIT PT. BUMISAMA GANDA”.

### **3.3.2 Pengumpulan Data**

Penelitian dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Mencatat seluruh kegiatan yang terjadi selama proses di stasiun pembangkit tenaga (powerplant) dalam buku harian mandor.
2. Mencatat data waktu pengolahan, tekanan steam masuk, penggunaan bahan bakar pada boiler.
3. Melakukan wawancara dengan operator dan mandor stasiun pembangkit tenaga, serta asisten maintenance terkait dengan proses power plant.
4. Melakukan perhitungan nilai Net Plant Heat Rate (NPHR) tersebut.
5. Menganalisa dan menyimpulkan mengenai konsumsi panas (energi) dalam menghasilkan listrik pabrik.

### **3.3.3 Analisis Data**

Analisis data dilakukan setelah proses pengambilan data di PT. BUMI SAMA GANDA. Data data tersebut akan dianalisis menjadi bentuk matematis (perhitungan biasa).

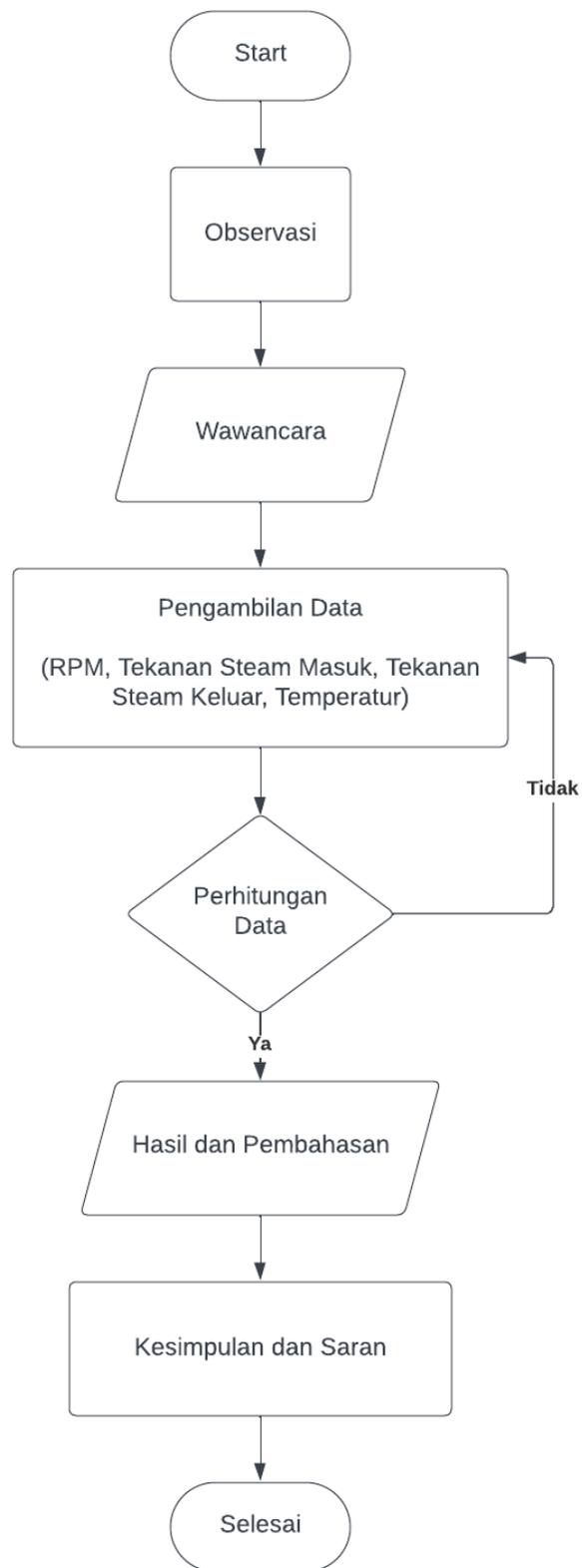
### **3.3.4 Kesimpulan**

Hasil akhir yang telah diperoleh dari analisis pada penelitian tugas akhir ini.

### **3.3.5 Penyusunan Laporan**

Penyusunan laporan adalah tahap akhir dari proses penelitian ini, yang ditandai dengan pembuatan laporan sebagai dokumen hasil dari suatu penelitian.

### 3.4 Flow Chart Penelitian



Gambar 3. 5 Flowchart Data Analisa Penelitian

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Perhitungan Efisiensi dan Daya Turbin

Pada penelitian di pabrik minyak kelapa sawit PT Bumi Sama Ganda tidak menggunakan kondensor sebagai pengembun uap melainkan uap yang keluaran dari turbin langsung di transfer ke back pressure vessel (BPV), yang berguna untuk menampung dan pendistribusian uap ke alat alat yang membutuhkan uap seperti di stasiun rebusan, stasiun clarifier, dan stasiun press. Perbandingan datanya dilakukan selama 5 hari pada awal tanggal 08 Mei 2023 sampai 12 Mei 2023 di ambil pada awal bulan dapat dilihat pada tabel 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Data Pengoperasian Turbin Uap

No	Hari	Putaran (RPM)	Temperatur Suhu (°C)	Tekanan (Bar)	
				$P_{in}$	$P_{out}$
1	Senin	1500	214	18 bar	3 bar
2	Selasa	1500	214	19 bar	3 bar
3	Rabu	1500	214	17 bar	2,75 bar
4	Kamis	1500	214	18,5 bar	3,25 bar
5	Jumat	1500	214	19 bar	3,25 bar

Berdasarkan hasil data pengoperasian turbin diatas dapat di simpulkan bahwa tekanan keluar pada turbin memiliki nilai tertinggi 3.25 bar, 3 bar dan yang terendah 2.75 bar. Sedangkan pada input tekanan terdapat nilai tertinggi yaitu 19 bar pada hari selasa dan jumat , 18.5 bar pada hari kamis, 18 bar pada hari senin dan yang terendah 17 bar pada hari rabu.

## Perhitungan 1

### A. Enthalphi dan Entropi

**TABLE A-5**

Saturated water—Pressure table

Press., <i>P</i> kPa	Sat. temp., <i>T</i> <sub>sat</sub> °C	Specific volume, m <sup>3</sup> /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, <i>v</i> <sub>f</sub>	Sat. vapor, <i>v</i> <sub>g</sub>	Sat. liquid, <i>u</i> <sub>f</sub>	Evap., <i>u</i> <sub>fg</sub>	Sat. vapor, <i>u</i> <sub>g</sub>	Sat. liquid, <i>h</i> <sub>f</sub>	Evap., <i>h</i> <sub>fg</sub>	Sat. vapor, <i>h</i> <sub>g</sub>	Sat. liquid, <i>s</i> <sub>f</sub>	Evap., <i>s</i> <sub>fg</sub>	Sat. vapor, <i>s</i> <sub>g</sub>
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

Gambar 4. 1 Tabel Termodinamika

Pada tabel 4.1 data pengoperasian turbin uap pada hari senin dapat di ketahui tekanan masuk turbin adalah sebesar 18 bar. Temperatur turbin 214°C, tekanan keluar turbine 3 bar tabel uap Appendix-5 hasil yang di dapat sebagai berikut:

$$P_1 = 3 \text{ bar} = 300 \text{ kPa}$$

$$T = 214^\circ\text{C}$$

$$h_1 = 561,43 \text{ kJ/kg}$$

$$V_1 = 0.001073 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$P_2 \longrightarrow P_3 =$  tekanan yang konstan (isobar) 18 Bar = 1800 kPa (entropi)  $S_2 = S_1$  kerja spesifik pompa yang masuk adalah sebagai berikut:

$$W_{pump,in} = V_1 (P_2 - P_1)$$

$$= 0.001073 \text{ m}^3/\text{kg} (1800 \text{ kPa} - 300 \text{ kPa})$$

$$= 0.001073 \text{ m}^3/\text{kg} \times 1500 \text{ kPa}$$

$$= 1,6095 \text{ kJ/Kg}$$

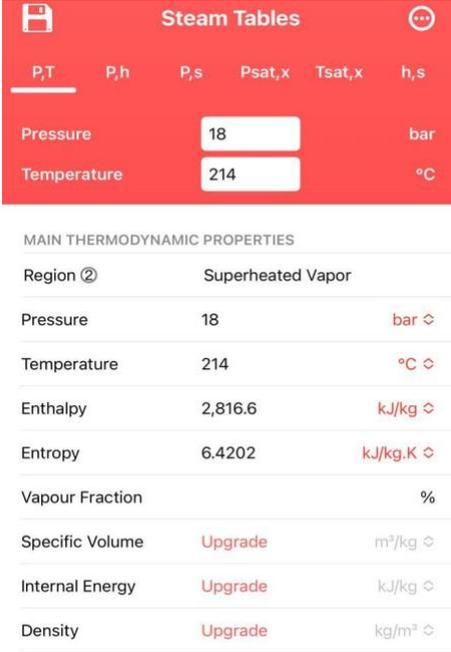
$$\begin{aligned}
 h_2 &= h_1 + w_{pump\ in} \\
 &= 561,43 \text{ kJ/Kg} + 1,6 \text{ kJ/Kg} \\
 &= 563,03 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_p &= m_s (h_2 - h_1) \\
 &= 20.000 \text{ kg/jam} (563,03 - 561,43) \\
 &= 32.000 \text{ kJ/h}
 \end{aligned}$$

Lalu di konversikan dari kJ/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned}
 1 \text{ kJ/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\
 32.000 \times 0.000277777778 \\
 &= 8,8 \text{ Kw}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, tekanan keluar turbin P3= 1800 kPa dan temperature T3 = 214°C karena nilai tekanan 1800 kPa masih memakai uap jenuh maka harus menggunakan tabel A-5 dan dapat dilihat pada tabel 1800 tidak di perlihatkan maka untuk mendapatkan hasil dari tekanan 1800 kPa di lakukan pengukuran melalui aplikasi steam tabel maka hasil nya sebagai berikut:



MAIN THERMODYNAMIC PROPERTIES		
Region	Superheated Vapor	
Pressure	18	bar
Temperature	214	°C
Enthalpy	2,816.6	kJ/kg
Entropy	6.4202	kJ/kg.K
Vapour Fraction	%	
Specific Volume	Upgrade	m³/kg
Internal Energy	Upgrade	kJ/kg
Density	Upgrade	kg/m³

Gambar 4. 2 Aplikasi Steam Tabel

$$P_3 = 1800 \text{ kPa}$$

$$T_3 = 214^\circ\text{C}$$

$$h_3 = 2816,6 \text{ kJ/kg}$$

$$S_3 = 6,4202 \text{ kJ/kg}$$

Pada penelitian ini turbin tidak menggunakan kondensor maka uap yang keluar dari turbin langsung di gunakan Kembali untuk proses lain nya. Jadi Uap yang kerluar dari turbin adalah 3bar = 300 kpa .pada titik ke empat tekanan keluar tubine ( $P_4 = 300 \text{ kPa}$ ) dan fluida dalam keadaan mixture saturated dan tekanan nya konstan dan entropi 3 ( $S_3$ ) sama dengan entropi 4 ( $S_4$ ) maka dari tabel uap A-5 pada lampiran 1 didapat data-data sebagai berikut :

$$\text{Entropi 3 (S3)} = (S4)$$

$$S_f = 1,6717 \text{ kJ/kg}$$

$$S_{fg} = 5,3200 \text{ kJ/kg}$$

$$S_g = 6,9917 \text{ kJ/kg}$$

$$H_{fg} = 2163,5 \text{ kJ/kg}$$

$$H_f = 561,43 \text{ kJ/kg}$$

$$h_g = 2724,9 \text{ kJ/kg}$$

maka kualitas uap 4 (X4)

$$X4 = \frac{S4 - S_f}{S_{fg}}$$

$$= \frac{6,4202 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 1,6717 \text{ kJ/kg}}{5,3200 \text{ kJ/kg}}$$

$$= 0,8925 \text{ kJ/kg}$$

Selanjutnya mencari entalpi keluar turbin

$$h_4 = h_1 + X_4 \cdot h_{fg}$$

$$h_4 = 561,43 \text{ kJ/kg} + (0,8925 \text{ kJ/kg} \times 2163,5 \text{ kJ/kg})$$

$$h_4 = 2492,35 \text{ kJ/kg}$$

Setelah menganalisa ke empat proses siklus tersebut. Didapatkan panas yang masuk pada boiler ( $Q_{in}$ ).

$$Q_{in} = m_s(h_3 - h_2)$$

$$Q_{in} = 20.000 \text{ kg/h} (2816,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 563,03 \text{ kJ/kg})$$

$$= 45.072.000 \text{ kJ/h}$$

Lalu di konversikan dari kJ/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$1 \text{ kJ/h} = 0.000277777778 \text{ kW}$$

$$= 45.072.000 \times 0.000277777778 \text{ kW}$$

$$= 12.520 \text{ kW}$$

Panas yang keluar pada boiler

$$Q_{out} = m_s(h_4 - h_1)$$

$$= 20.000 \text{ kJ/h} (2492,35 \text{ kJ/kg} - 561,43 \text{ kJ/kg})$$

$$= 38.618.400 \text{ kJ/h}$$

Lalu di konversikan dari kJ/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$1 \text{ kJ/h} = 0.000277777778 \text{ kW}$$

$$= 38.618.400 \times 0.000277777778 \text{ kW}$$

$$= 10.727,3 \text{ kW}$$

## B. Efisiensi Turbin Uap

Laju Uap steam ( $m_s$ ) yang dihasilkan 20.000kg/jam.

Daya steam masuk turbin adalah sebagai berikut:

$$WT_{in} = m_s \times h_3$$

$$= 20.000 \text{ kg/h} \times 2816,6 \text{ kJ/kg}$$

$$= 56.332.000 \text{ kJ/h}$$

Lalu di konversikan dari kJ/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$1 \text{ kJ/h} = 0.000277777778 \text{ kW}$$

$$= 56.332.000 \times 0.000277777778 \text{ kW}$$

$$= 15.647,778 \text{ kW}$$

Daya steam keluar turbin adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} WT_{out} &= m_s \times h_4 \\ &= 20.000 \text{ kg/h} \times 2492,35 \text{ kJ/kg} \\ &= 49.847.000 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

Lalu di konversikan dari kJ/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned} 1 \text{ kJ/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 49.847.000 \times 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 13.846,389 \text{ kW} \end{aligned}$$

Terakhir kita bisa hitung efisiensi turbin, untuk menyatakan derajat keberhasilan komponen atau system turbin mendekati desain atau proses ideal dengan satuan (%) dengan menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \eta_{turbin} &= \frac{W_{Tout}}{W_{Tin}} \times 100\% \\ &= \frac{13.846,389 \text{ kw}}{15.647,778 \text{ kw}} \times 100\% \\ &= 88\% \end{aligned}$$

### C. Daya yang dihasilkan turbin

$$\begin{aligned} WT &= m_s (h_3 - h_4) \\ &= 20.000 \text{ kg/h} (2816,6 - 2492,35) \\ &= 6.485.000 \text{ kJ/h} \\ &= 1.801,3 \text{ Kw} \end{aligned}$$

Cos  $\Phi$  rata-rata = 0.8 (nilai rata-rata Cos phi dari hasil pengamatan pada panel turbin).

Daya yang dihasilkan oleh turbin dan di alirkan ke generator adalah :

$$\begin{aligned} W_{TG} &= WT / \text{Cos } \Phi \\ &= 1.801,3 \text{ Kw} / 0,8 \\ &= 2.250 \text{ kw} \end{aligned}$$

## D. Tabel Hasil perhitungan

Tabel 4. 2 Tabel Hasil Perhitungan

$h_2$ (kj/kg)	$h_4$ (kj/kg)	$Q_{in}$ (Kw)	$Q_{out}$ (Kw)	$WT_{in}$ (Kw)	$WT_{out}$ (Kw)	$\eta_t$ (%)	WT (Kw)	$W_{TG}$ (Kw)
563,03	2492,35	12.520	10.727	15.647,7	13.846,3	88%	1.801,3	2.250

Keterangan :

$h_2$  = Entalpi masuk pompa (kj/kg)

$h_4$  = Entalphi masuk turbin (kj/kg)

$Q_{in}$  = fluida yang Keluar (Kw)

$Q_{out}$  = fluida yang Keluar (Kw)

$W_{Tin}$  = daya steam masuk turbin (Kw)

$W_{Tout}$  = daya steam keluar turbin (Kw)

$W_T$  = Daya turbin (KW)

$\eta_t$  = Efisiensi Turbin (%)

Dari hasil penelitian ini data yang diperoleh diketahui bahwa rata-rata tekanan yang masuk ke turbin adalah 18 Bar ,tekanan uap keluar Turbin 3 bar = 300 kPa dan kapasitas Uap dari boiler = 20.000 kg/jam. Pada titik keempat tekanan keluar turbin ( $P_4 = 300$  kPa) dan fluidanya dalam keadaan mixture saturated dan tekanannya konstan dan entropi 3 S3 sama dengan Entropi 4 S4, didapatkan panas yang masuk pada turbin ( $Q_{in}$ ) dengan hasil perhitungan 45.072.000kj/h. Lalu di konversikan dari kj/jam di ubah ke kW dengan hasil perhitungan 12.520 kW. Pada saat panas keluar dari turbin ( $Q_{out}$ ) nilai yang didapatkan 38.618.400 kj/h , lalu di konversikan dari kj/jam ke kW dengan hasil perhitungan 10.727 kW. Dapat disimpulkan bahwa daya masuk lebih besar dari daya keluar. Laju uap steam (ms) yang dihasilkan 20.000 kg/ jam dengan daya kerja yang masuk 15.647,7 kW dan daya keluar 13.846,3 kW sehingga menghasilkan daya turbin 1.801,3 kW berdasarkan perhitungan. Uap yang masuk ke turbin sebanyak 18 Bar sehingga menghasilkan daya potensial sebesar 1.801,3 kW.  $\cos \Phi$  rata-rata 0.80 (nilai rata-rata  $\cos \Phi$  dari hasil pengamatan pada panel turbin) dengan nilai 2.250 kW . Setelah

melakukan perhitungan kerja pada turbin dan kerja pada pompa sehingga dapat melakukan perhitungan efisiensi siklus rankine sebesar 88%.

## Perhitungan 2

### A. Enthalphi dan Entropi

**TABLE A-5**  
Saturated water—Pressure table

Press., P kPa	Sat. temp., T <sub>sat</sub> °C	Specific volume, m <sup>3</sup> /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, v <sub>f</sub>	Sat. vapor, v <sub>g</sub>	Sat. liquid, u <sub>f</sub>	Evap., u <sub>fg</sub>	Sat. vapor, u <sub>g</sub>	Sat. liquid, h <sub>f</sub>	Evap., h <sub>fg</sub>	Sat. vapor, h <sub>g</sub>	Sat. liquid, s <sub>f</sub>	Evap., s <sub>fg</sub>	Sat. vapor, s <sub>g</sub>
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
<b>300</b>	<b>133.52</b>	<b>0.001073</b>	<b>0.60582</b>	<b>561.11</b>	<b>1982.1</b>	<b>2543.2</b>	<b>561.43</b>	<b>2163.5</b>	<b>2724.9</b>	<b>1.6717</b>	<b>5.3200</b>	<b>6.9917</b>
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

Gambar 4. 3 Tabel Thermodinamika

Pada tabel 4.1 data pengoperasian turbin uap pada hari senin dapat di ketahui tekanan masuk turbin adalah sebesar 19 bar.Temperatur turbin 214°C,tekanan keluar turbine 3 bar tabel uap Appendix-5 hasil yang di dapat sebagai berikut:

$$P_1 = 3 \text{ bar} = 300 \text{ kPa}$$

$$T = 214^\circ\text{C}$$

$$h_1 = 561,43 \text{ kJ/kg}$$

$$V_1 = 0.001073 \text{ m}^3/\text{kg}$$

P2 → P3 = tekanan yang konstan (isobar) 19 Bar = 1900 kPa (entropi) S2=S1

kerja spesifik pompa yang masuk adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W_{pump,in} &= V_1 (P_2 - P_1) \\
 &= 0.001073 \text{ m}^3/\text{kg} (1900 \text{ kPa} - 300 \text{ kPa}) \\
 &= 0.001073 \text{ m}^3/\text{kg} \times 1600 \text{ kPa} \\
 &= 1,7168 \text{ kJ/Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_2 &= h_1 + w_{pump\ in} \\
 &= 561,43 \text{ kJ/Kg} + 1,7 \text{ kJ/Kg} \\
 &= 563,13 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_p &= m_s (h_2 - h_1) \\
 &= 20.000 \text{ kg/jam} (563,13 - 561,43) \\
 &= 34.000 \text{ kJ/h}
 \end{aligned}$$

Lalu di konversikan dari kJ/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned}
 1 \text{ kJ/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\
 34.000 \times 0.000277777778 \\
 &= 9,4 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, tekanan keluar turbin  $P_3 = 1900 \text{ kPa}$  dan temperature  $T_3 = 214^\circ\text{C}$  karena nilai tekanan  $1900 \text{ kPa}$  masih memakai uap jenuh maka harus menggunakan tabel A-5 dan dapat dilihat pada tabel 1900 tidak di perhatikan maka untuk mendapatkan hasil dari tekanan  $1900 \text{ kPa}$  di lakukan pengukuran melalui aplikasi steam tabel maka hasil nya sebagai berikut:



P,T	P,h	P,s	Psat,x	Tsat,x	h,s
Pressure	19				bar
Temperature	214				°C
MAIN THERMODYNAMIC PROPERTIES					
Region ②	Superheated Vapor				
Pressure	19				bar
Temperature	214				°C
Enthalpy	2,810.2				kJ/kg
Entropy	6.3845				kJ/kg.K
Vapour Fraction					%
Specific Volume	Upgrade				m³/kg
Internal Energy	Upgrade				kJ/kg
Density	Upgrade				kg/m³

Gambar 4. 4 Aplikasi Steam Tabel

$$P_3 = 1900 \text{ kPa}$$

$$T_3 = 214^\circ\text{C}$$

$$h_3 = 2810,2 \text{ kJ/kg}$$

$$S_3 = 6,3845 \text{ kJ/kg}$$

Pada penelitian ini turbin tidak menggunakan kondensor maka uap yang keluar dari turbin langsung di gunakan Kembali untuk proses lain nya. Jadi Uap yang kerluar dari turbin adalah 3bar = 300 kpa .pada titik ke empat tekanan keluar tubine ( $P_4 = 300 \text{ kPa}$ ) dan fluida dalam keadaan mixture saturated dan tekanan nya konstan dan entropi 3 ( $S_3$ ) sama dengan entropi 4 ( $S_4$ ) maka dari tabel uap A-5 pada lampiran 1 didapat data-data sebagai berikut :

$$\text{Entropi 3 (S3)} = (S4)$$

$$S_f = 1,6717 \text{ kJ/kg}$$

$$S_{fg} = 5,3200 \text{ kJ/kg}$$

$$S_g = 6,9917 \text{ kJ/kg}$$

$$H_{fg} = 2163,5 \text{ kJ/kg}$$

$$H_f = 561,43 \text{ kJ/kg}$$

$$h_g = 2724,9 \text{ kJ/kg}$$

maka kualitas uap 4 (X4)

$$\begin{aligned} X4 &= \frac{S4 - S_f}{S_{fg}} \\ &= \frac{6,3845 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 1,6717 \text{ kJ/kg}}{5,3200 \text{ kJ/kg}} \\ &= 0,8859 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Selanjutnya mencari entalpi keluar turbin

$$h_4 = h_1 + X_4 \cdot h_{fg}$$

$$h_4 = 561,43 \text{ kJ/Kg} + (0,8859 \text{ kJ/kg} \times 2163,5 \text{ kJ/kg})$$

$$h_4 = 2478,07 \text{ kJ/kg}$$

Setelah menganalisa ke empat proses siklus tersebut. Didapatkan panas yang masuk pada boiler ( $Q_{in}$ ).

$$Q_{in} = m_s(h_3 - h_2)$$

$$Q_{in} = 20.000 \text{ kg/h} (2810,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 563,13 \text{ kJ/kg})$$

$$= 44.941.400 \text{ kJ/h}$$

Lalu di konversikan dari kJ/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned} 1 \text{ kJ/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 44.941.400 \times 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 12.483,72 \text{ kW} \end{aligned}$$

Panas yang keluar pada boiler

$$\begin{aligned} Q_{out} &= m_s(h_4 - h_1) \\ &= 20.000 \text{ kJ/h} (2478,07 \text{ kJ/kg} - 561,43 \text{ kJ/kg}) \\ &= 38.332.800 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

Lalu di konversikan dari kJ/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned} 1 \text{ kJ/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 38.618.400 \times 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 10.648 \text{ Kw} \end{aligned}$$

#### B. Efisiensi Turbin Uap

Laju Uap steam ( $m_s$ ) yang dihasilkan 20.000kg/jam.

Daya steam masuk turbin adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} WT_{in} &= m_s \times h_3 \\ &= 20.000 \text{ kg/h} \times 2810,2 \text{ kJ/kg} \\ &= 56.204.000 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

Lalu di konversikan dari kJ/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned} 1 \text{ kJ/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 56.204.000 \times 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 15.612,222 \text{ kW} \end{aligned}$$

Daya steam keluar turbin adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} WT_{out} &= m_s \times h_4 \\ &= 20.000 \text{ kg/h} \times 2478,07 \text{ kJ/kg} \\ &= 49.561.400 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

Lalu di konversikan dari kj/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned} 1 \text{ kj/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 49.847.000 \times 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 13.767,055 \text{ kW} \end{aligned}$$

Terakhir kita bisa hitung efisiensi turbin, untuk menyatakan derajat keberhasilan komponen atau system turbin mendekati desain atau proses ideal dengan satuan (%) dengan menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \eta_{turbin} &= \frac{W_{Tout}}{W_{Tin}} \times 100\% \\ &= \frac{13.767,055 \text{ kw}}{15.612,222 \text{ kw}} \times 100\% \\ &= 88,1\% \end{aligned}$$

#### C. Daya yang dihasilkan turbin

$$\begin{aligned} WT &= m_s (h_3 - h_4) \\ &= 20.000 \text{ kg/h} (2810,2 - 2478,07) \\ &= 6.642.600 \text{ kj/h} \\ &= 1.845,1 \text{ Kw} \end{aligned}$$

Cos  $\Phi$  rata-rata = 0.8 (nilai rata-rata Cos phi dari hasil pengamatan pada panel turbin).

Daya yang dihasilkan oleh turbin dan di alirkan ke generator adalah :

$$\begin{aligned} W_{TG} &= WT / \text{Cos } \Phi \\ &= 1.845,1 \text{ Kw} / 0,8 \\ &= 2.300 \text{ kw} \end{aligned}$$

#### D. Tabel Hasil perhitungan

Tabel 4. 3 Tabel Hasil Perhitungan

$h_2$ (kj/kg)	$h_4$ (kj/kg)	$Q_{in}$ (Kw)	$Q_{out}$ (Kw)	$WT_{in}$ (Kw)	$WT_{out}$ (Kw)	$\eta_t$ (%)	WT (Kw)	$W_{TG}$ (Kw)
561,13	2478,07	12.483,72	10.648	15.612,22	13.767,055	88,1%	1.845,1	2.300

Keterangan :

$h_2$  = Entalpi masuk pompa (kj/kg)

$h_4$  = Entalphi masuk turbin (kj/kg)

$Q_{in}$  = fluida yang Keluar (Kw)

$Q_{out}$  = fluida yang Keluar (Kw)

$W_{Tin}$  = daya steam masuk turbin (Kw)

$W_{Tout}$  = daya steam keluar turbin (Kw)

$W_T$  = Daya turbin (KW)

$\eta_t$  = Efisiensi Turbin (%)

Dari hasil penelitian ini data yang diperoleh diketahui bahwa rata-rata tekanan yang masuk ke turbin adalah 19 Bar ,tekanan uap keluar Turbin 3 bar = 300 kPa dan kapasitas Uap dari boiler = 20.000 kg/jam. Pada titik keempat tekanan keluar turbin ( $P_4 = 300$  kPa) dan fluidanya dalam keadaan mixture saturated dan tekanannya konstan dan entropi 3 (S3) sama dengan Entropi 4 (S4), didapatkan panas yang masuk pada turbin ( $Q_{in}$ ) dengan hasil perhitungan 44.941.400 kj/h. Lalu di konversikan dari kj/jam di ubah ke kW dengan hasil perhitungan 12.483,72 kW. Pada saat panas keluar dari turbin ( $Q_{out}$ ) nilai yang didapatkan 38.332.800kj/h , lalu di konversikan dari kj/jam ke kW dengan hasil perhitungan 10.648 kW. Dapat disimpulkan bahwa daya masuk lebih besar dari daya keluar. Laju uap steam (ms) yang dihasilkan 20.000 kg/ jam dengan daya kerja yang masuk ( $W_{Tin}$ ) 15.612,22 kW dan daya keluar ( $W_{Tout}$ )13.767,05 kW sehingga menghasilkan daya turbin 1.845,1 kW berdasarkan perhitungan. Uap yang masuk ke turbin sebanyak 18 Bar sehingga menghasilkan daya potensial sebesar 1.845,1 kW.  $\cos \Phi$  rata-rata 0.80 (nilai rata- rata  $\cos \Phi$  dari hasil pengamatan pada panel turbin) dengan nilai 2.300 kW . Setelah melakukan perhitungan kerja pada turbin dan kerja pada pompa sehingga dapat melakukan perhitungan efisiensi siklus rankine sebesar 88,1%.

### Perhitungan 3

#### A. Enthalpi dan Entropi

TABLE A-5

Saturated water—Pressure table

Press., P kPa	Sat. temp., $T_{sat}$ °C	Specific volume, $m^3/kg$		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, $v_f$	Sat. vapor, $v_g$	Sat. liquid, $u_f$	Evap., $u_{fg}$	Sat. vapor, $u_g$	Sat. liquid, $h_f$	Evap., $h_{fg}$	Sat. vapor, $h_g$	Sat. liquid, $s_f$	Evap., $s_{fg}$	Sat. vapor, $s_g$
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071

Gambar 4. 5 Tabel Thermodinamika

Pada tabel 4.1 data pengoperasian turbin uap pada hari senin dapat di ketahui tekanan masuk turbin adalah sebesar 17 bar. Temperatur turbin 214°C, tekanan keluar turbine 2,75 bar tabel uap Appendix-5 hasil yang di dapat sebagai berikut:

$$P_1 = 2,75 \text{ bar} = 275 \text{ kPa}$$

$$T = 214^\circ\text{C}$$

$$h_1 = 548,86 \text{ kJ/kg}$$

$$V_1 = 0.001070 \text{ m}^3/\text{kg}$$

P2  $\longrightarrow$  P3 = tekanan yang konstan (isobar) 17 Bar = 1700 kPa (entropi) S2=S1  
kerja spesifik pompa yang masuk adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W_{pump,in} &= V_1 (P_2 - P_1) \\
 &= 0.001070 \text{ m}^3/\text{kg} (1700 \text{ kPa} - 275 \text{ kPa}) \\
 &= 0.001070 \text{ m}^3/\text{kg} \times 1425 \text{ kPa} \\
 &= 1,5247 \text{ kJ/Kg}
 \end{aligned}$$

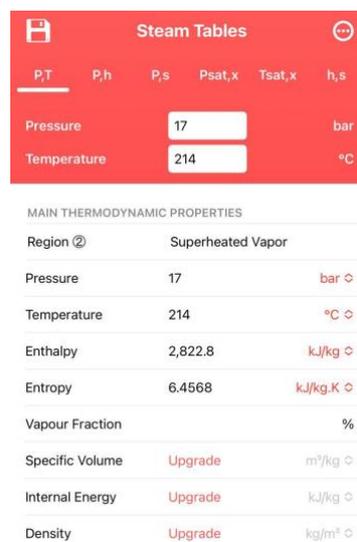
$$\begin{aligned}
 h_2 &= h_1 + w_{pump\ in} \\
 &= 548,86 \text{ kJ/Kg} + 1,5 \text{ kJ/Kg} \\
 &= 550,36 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_p &= m_s (h_2 - h_1) \\
 &= 20.000 \text{ kg/jam} (550,36 - 548,86) \\
 &= 30.000 \text{ kJ/h}
 \end{aligned}$$

Lalu di konversikan dari kJ/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned}
 1 \text{ kJ/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\
 30.000 \times 0.000277777778 \\
 &= 8,3 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, tekanan keluar turbin  $P_3 = 1700 \text{ kPa}$  dan temperature  $T_3 = 214^\circ\text{C}$  karena nilai tekanan  $1700 \text{ kPa}$  masih memakai uap jenuh maka harus menggunakan tabel A-5 dan dapat dilihat pada tabel 1700 tidak di perlihatkan maka untuk mendapatkan hasil dari tekanan  $1700 \text{ kPa}$  di lakukan pengukuran melalui aplikasi steam tabel maka hasil nya sebagai berikut:



MAIN THERMODYNAMIC PROPERTIES		
Region	Superheated Vapor	
Pressure	17	bar
Temperature	214	°C
Enthalpy	2,822.8	kJ/kg
Entropy	6.4568	kJ/kg.K
Vapour Fraction		%
Specific Volume	Upgrade	m³/kg
Internal Energy	Upgrade	kJ/kg
Density	Upgrade	kg/m³

Gambar 4. 6 Aplikasi Steam Tabel

$$P_3 = 1700 \text{ kPa}$$

$$T_3 = 214^\circ\text{C}$$

$$h_3 = 2.822,8 \text{ kJ/kg}$$

$$S_3 = 6,4568 \text{ kJ/kg}$$

Pada penelitian ini turbin tidak menggunakan kondensor maka uap yang keluar dari turbin langsung di gunakan Kembali untuk proses lain nya. Jadi Uap yang kerluar dari turbin adalah 2,75bar = 275 kpa .pada titik ke empat tekanan keluar tubine ( $P_4 = 275 \text{ kPa}$ ) dan fluida dalam keadaan mixture saturated dan tekanan nya konstan dan entropi 3 ( $S_3$ ) sama dengan entropi 4 ( $S_4$ ) maka dari tabel uap A-5 pada lampiran 1 didapat data-data sebagai berikut :

$$\text{Entropi 3 (S3)} = (S4)$$

$$S_f = 1,6408 \text{ kJ/kg}$$

$$S_{fg} = 5,3800 \text{ kJ/kg}$$

$$S_g = 7,0207 \text{ kJ/kg}$$

$$H_{fg} = 2172 \text{ kJ/kg}$$

$$H_f = 548,86 \text{ kJ/kg}$$

$$h_g = 2720,9 \text{ kJ/kg}$$

maka kualitas uap 4 (X4)

$$\begin{aligned} X4 &= \frac{S4 - S_f}{S_{fg}} \\ &= \frac{6,4568 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 1,6408 \text{ kJ/kg}}{5,3800 \text{ kJ/kg}} \\ &= 0,8951 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Selanjutnya mencari entalpi keluar turbin

$$h_4 = h_1 + X_4 \cdot h_{fg}$$

$$h_4 = 548,86 \text{ kJ/kg} + (0,8951 \text{ kJ/kg} \times 2172 \text{ kJ/kg})$$

$$h_4 = 2493,01 \text{ kJ/kg}$$

Setelah menganalisa ke empat proses siklus tersebut. Didapatkan panas yang masuk pada boiler ( $Q_{in}$ ).

$$Q_{in} = m_s(h_3 - h_2)$$

$$Q_{in} = 20.000 \text{ kg/h} (2822,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 550,36 \text{ kJ/kg})$$

$$= 45.448.800 \text{ kj/h}$$

Lalu di konversikan dari kj/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned} 1 \text{ kj/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 45.448.800 \times 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 12.642,66 \text{ kW} \end{aligned}$$

Panas yang keluar pada boiler

$$\begin{aligned} Q_{out} &= m_s(h_4-h_1) \\ &= 20.000 \text{ kj/h} (2493,01 \text{ kj/kg} - 548,86 \text{ kj/kg}) \\ &= 38.883.000 \text{ kj/h} \end{aligned}$$

Lalu di konversikan dari kj/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned} 1 \text{ kj/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 38.883.000 \times 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 10.800,8 \text{ Kw} \end{aligned}$$

#### B. Efisiensi Turbin Uap

Laju Uap steam ( $m_s$ ) yang dihasilkan 20.000kg/jam.

Daya steam masuk turbin adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} WT_{in} &= m_s \times h_3 \\ &= 20.000 \text{ kg/h} \times 2822,8 \text{ kj/kg} \\ &= 56.456.000 \text{ kj/h} \end{aligned}$$

Lalu di konversikan dari kj/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned} 1 \text{ kj/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 56.456.000 \times 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 15.682,222 \text{ kW} \end{aligned}$$

Daya steam keluar turbin adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} WT_{out} &= m_s \times h_4 \\ &= 20.000 \text{ kg/h} \times 2493,01 \text{ kj/kg} \\ &= 49.860.200 \text{ kj/h} \end{aligned}$$

Lalu di konversikan dari kj/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned} 1 \text{ kj/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 49.860.200 \times 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 13.850,055 \text{ kW} \end{aligned}$$

Terakhir kita bisa hitung efisiensi turbin, untuk menyatakan derajat keberhasilan komponen atau system turbin mendekati desain atau proses idealdengan satuan (%) dengan menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \eta_{turbin} &= \frac{W_{Tout}}{W_{Tin}} \times 100\% \\ &= \frac{13.850,055 \text{ kw}}{15.682,222 \text{ kw}} \times 100\% \\ &= 88,3\% \end{aligned}$$

#### C. Daya yang dihasilkan turbin

$$\begin{aligned} WT &= m_s (h_3 - h_4) \\ &= 20.000 \text{ kg/h} (2822,8 - 2493,01) \\ &= 6.595.800 \text{ kj/h} \\ &= 1.832,1 \text{ Kw} \end{aligned}$$

Cos  $\Phi$  rata-rata = 0.8 (nilai rata-rata Cos phi dari hasil pengamatan pada panel turbin).

Daya yang dihasilkan oleh turbin dan di alirkan ke generator adalah :

$$\begin{aligned} W_{TG} &= WT / \text{Cos } \Phi \\ &= 1.832,1 \text{ Kw} / 0,8 \\ &= 2.290,1 \text{ kw} \end{aligned}$$

#### D. Tabel Hasil perhitungan

Tabel 4. 4 Tabel Hasil Perhitungan

$h_2$ (kj/kg)	$h_4$ (kj/kg)	$Q_{in}$ (Kw)	$Q_{out}$ (Kw)	$WT_{in}$ (Kw)	$WT_{out}$ (Kw)	$\eta_t$ (%)	WT (Kw)	$W_{TG}$ (Kw)
550,36	2493,01	12.642,66	10.800,8	15.682,22	13.850,05	88,3%	1.832,1	2.290,1

Keterangan :

$h_2$  = Entalpi masuk pompa (kj/kg)

$h_4$  = Entalphi masuk turbin (kj/kg)

$Q_{in}$  = fluida yang Keluar (Kw)

$Q_{out}$  = fluida yang Keluar (Kw)

$W_{Tin}$  = daya steam masuk turbin (Kw)

$W_{Tout}$  = daya steam keluar turbin (Kw)

$W_T$  = Daya turbin (KW)

$\eta_t$  = Efisiensi Turbin (%)

Dari hasil penelitian ini data yang diperoleh diketahui bahwa rata-rata tekanan yang masuk ke turbin adalah 17 Bar ,tekanan uap keluar Turbin 2,75 bar = 275 kPa dan kapasitas Uap dari boiler = 20.000 kg/jam. Pada titik keempat tekanan keluar turbin ( $P_4 = 275$  kPa) dan fluidanya dalam keadaan mixture saturated dan tekanannya konstan dan entropi 3 (S3) sama dengan Entropi 4 (S4), didapatkan panas yang masuk pada turbin ( $Q_{in}$ ) dengan hasil perhitungan 45.448.800 kj/h. Lalu di konversikan dari kj/jam di ubah ke kW dengan hasil perhitungan 12.642,66 kW. Pada saat panas keluar dari turbin ( $Q_{out}$ ) nilai yang didapatkan 38.883.000kj/h , lalu di konversikan dari kj/jam ke kW dengan hasil perhitungan 10.800,8 kW. Dapat disimpulkan bahwa daya masuk lebih besar dari daya keluar. Laju uap steam (ms) yang dihasilkan 20.000 kg/ jam dengan daya kerja yang masuk 15.682,222 kW dan daya keluar 13.850,055 kW sehingga menghasilkan daya turbin 1.832,1 kW berdasarkan perhitungan. Uap yang masuk ke turbin sebanyak 17 Bar sehingga menghasilkan daya potensial sebesar 1.832,1 kW.  $\cos \Phi$  rata-rata 0.80 (nilai rata-rata  $\cos \Phi$  dari hasil pengamatan pada panel turbin) dengan nilai 2.290,1 kW . Setelah melakukan perhitungan kerja pada turbin dan kerja pada pompa sehingga dapat melakukan perhitungan efisiensi siklus rankine sebesar 88,3%.

## Perhitungan 4

### A. Enthalpi dan Entropi

**TABLE A-5**

Saturated water—Pressure table

Press., P kPa	Sat. temp., $T_{\text{sat}}$ °C	Specific volume, m <sup>3</sup> /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, $v_f$	Sat. vapor, $v_g$	Sat. liquid, $u_f$	Evap., $u_{fg}$	Sat. vapor, $u_g$	Sat. liquid, $h_f$	Evap., $h_{fg}$	Sat. vapor, $h_g$	Sat. liquid, $s_f$	Evap., $s_{fg}$	Sat. vapor, $s_g$
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

Gambar 4. 7 Tabel Termodinamika

Pada tabel 4.1 data pengoperasian turbin uap pada hari senin dapat di ketahui tekanan masuk turbin adalah sebesar 18,5 bar.Temperatur turbin 214°C,tekanan keluar turbine 3,25 bar tabel uap Appendix-5 hasil yang di dapat sebagai berikut:

$$P_1 = 3,25 \text{ bar} = 325 \text{ kPa}$$

$$T = 214^\circ\text{C}$$

$$h_1 = 573,19 \text{ kJ/kg}$$

$$V_1 = 0.001076 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$P_2 \longrightarrow P_3 =$  tekanan yang konstan (isobar) 18,5 Bar = 1850 kPa (entropi)  $S_2=S_1$

kerja spesifik pompa yang masuk adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W_{pump,in} &= V_1 (P_2 - P_1) \\
 &= 0.001076 \text{ m}^3/\text{kg} (1850 \text{ kPa} - 325 \text{ kPa}) \\
 &= 0.001076 \text{ m}^3/\text{kg} \times 1525 \text{ kPa} \\
 &= 1,6409 \text{ kJ/Kg}
 \end{aligned}$$

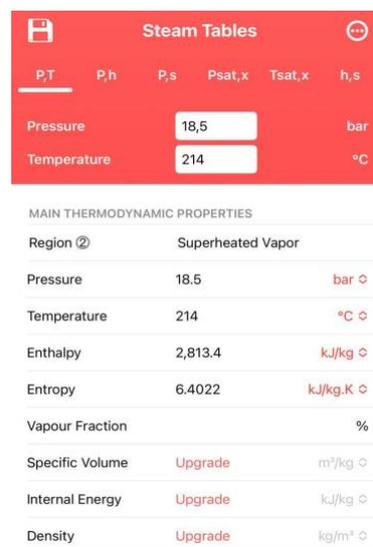
$$\begin{aligned}
 h_2 &= h_1 + w_{pump\ in} \\
 &= 573,19 \text{ kJ/Kg} + 1,6 \text{ kJ/Kg} \\
 &= 574,79 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_p &= m_s (h_2 - h_1) \\
 &= 20.000 \text{ kg/jam} (574,79 - 573,19) \\
 &= 32.000 \text{ kJ/h}
 \end{aligned}$$

Lalu di konversikan dari kJ/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned}
 1 \text{ kJ/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\
 32.000 \times 0.000277777778 \\
 &= 8,8 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, tekanan keluar turbin  $P_3 = 1850 \text{ kPa}$  dan temperature  $T_3 = 214^\circ\text{C}$  karena nilai tekanan  $1850 \text{ kPa}$  masih memakai uap jenuh maka harus menggunakan tabel A-5 dan dapat dilihat pada tabel 1850 tidak di perhatikan maka untuk mendapatkan hasil dari tekanan  $1850 \text{ kPa}$  di lakukan pengukuran melalui aplikasi steam tabel maka hasil nya sebagai berikut:



P,T	P,h	P,s	Psat,x	Tsat,x	h,s
Pressure		18,5			bar
Temperature		214			°C
MAIN THERMODYNAMIC PROPERTIES					
Region ②	Superheated Vapor				
Pressure		18.5			bar ↕
Temperature		214			°C ↕
Enthalpy		2,813.4			kJ/kg ↕
Entropy		6.4022			kJ/kg.K ↕
Vapour Fraction					%
Specific Volume		Upgrade			m³/kg ↕
Internal Energy		Upgrade			kJ/kg ↕
Density		Upgrade			kg/m³ ↕

Gambar 4. 8 Aplikasi Steam Tabel

$$P_3 = 1850 \text{ kPa}$$

$$T_3 = 214^\circ\text{C}$$

$$h_3 = 2.813,4 \text{ kJ/kg}$$

$$S_3 = 6,4022 \text{ kJ/kg}$$

Pada penelitian ini turbin tidak menggunakan kondensor maka uap yang keluar dari turbin langsung di gunakan Kembali untuk proses lain nya. Jadi Uap yang kerluar dari turbin adalah 3,25 bar = 325 kpa .pada titik ke empat tekanan keluar tubine ( $P_4 = 325 \text{ kPa}$ ) dan fluida dalam keadaan mixture saturated dan tekanan nya konstan dan entropi 3 ( $S_3$ ) sama dengan entropi 4 ( $S_4$ ) maka dari tabel uap A-5 pada lampiran 1 didapat data-data sebagai berikut :

$$\text{Entropi 3 (S3)} = (S4)$$

$$S_f = 1,7005 \text{ kJ/kg}$$

$$S_{fg} = 5,2645 \text{ kJ/kg}$$

$$S_g = 6,9650 \text{ kJ/kg}$$

$$H_{fg} = 2155,4 \text{ kJ/kg}$$

$$H_f = 573,19 \text{ kJ/kg}$$

$$h_g = 2728,6 \text{ kJ/kg}$$

maka kualitas uap 4 (X4)

$$\begin{aligned} X4 &= \frac{S4 - S_f}{S_{fg}} \\ &= \frac{6,4022 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 1,7005 \text{ kJ/kg}}{5,2645 \text{ kJ/kg}} \\ &= 0,8930 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Selanjutnya mencari entalpi keluar turbin

$$h_4 = h_1 + X_4 \cdot h_{fg}$$

$$h_4 = 573,19 \text{ kJ/Kg} + (0,8930 \text{ kJ/kg} \times 2155,4 \text{ kJ/kg})$$

$$h_4 = 2497,96 \text{ kJ/kg}$$

Setelah menganalisa ke empat proses siklus tersebut. Didapatkan panas yang masuk pada boiler ( $Q_{in}$ ).

$$Q_{in} = m_s(h_3 - h_2)$$

$$Q_{in} = 20.000 \text{ kg/h} \left( 2.813,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 574,79 \text{ kJ/kg} \right)$$

$$= 44.778.200 \text{ kJ/h}$$

Lalu di konversikan dari kJ/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned} 1 \text{ kJ/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 44.778.200 \times 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 12.438,38 \text{ kW} \end{aligned}$$

Panas yang keluar pada boiler

$$\begin{aligned} Q_{out} &= m_s(h_4-h_1) \\ &= 20.000 \text{ kJ/h} (2497,96 \text{ kJ/kg} - 573,19 \text{ kJ/kg}) \\ &= 38.495.400 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

Lalu di konversikan dari kJ/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned} 1 \text{ kJ/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 38.495.400 \times 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 10.693,1 \text{ Kw} \end{aligned}$$

#### B. Efisiensi Turbin Uap

Laju Uap steam ( $m_s$ ) yang dihasilkan 20.000kg/jam.

Daya steam masuk turbin adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} WT_{in} &= m_s \times h_3 \\ &= 20.000 \text{ kg/h} \times 2.813,4 \text{ kJ/kg} \\ &= 56.268.000 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

Lalu di konversikan dari kJ/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned} 1 \text{ kJ/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 56.268.000 \times 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 15.630 \text{ kW} \end{aligned}$$

Daya steam keluar turbin adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} WT_{out} &= m_s \times h_4 \\ &= 20.000 \text{ kg/h} \times 2497,96 \text{ kJ/kg} \\ &= 49.959.200 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

Lalu di konversikan dari kj/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned} 1 \text{ kj/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 49.959.200 \times 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 13.877,555 \text{ kW} \end{aligned}$$

Terakhir kita bisa hitung efisiensi turbin, untuk menyatakan derajat keberhasilan komponen atau system turbin mendekati desain atau proses idealdengan satuan (%) dengan menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \eta_{turbin} &= \frac{W_{Tout}}{W_{Tin}} \times 100\% \\ &= \frac{13.877,555 \text{ kw}}{15.630 \text{ kw}} \times 100\% \\ &= 88,7\% \end{aligned}$$

#### C. Daya yang dihasilkan turbin

$$\begin{aligned} WT &= m_s (h_3 - h_4) \\ &= 20.000 \text{ kg/h} (2.813,4 - 2.497,96) \\ &= 6.308.800 \text{ kj/h} \\ &= 1.752,4 \text{ Kw} \end{aligned}$$

Cos  $\Phi$  rata-rata = 0.8 (nilai rata-rata Cos phi dari hasil pengamatan pada panel turbin).

Daya yang dihasilkan oleh turbin dan di alirkan ke generator adalah :

$$\begin{aligned} W_{TG} &= WT / \text{Cos } \Phi \\ &= 1.752,4 \text{ Kw} / 0,8 \\ &= 2.190,5 \text{ kw} \end{aligned}$$

#### D. Tabel Hasil perhitungan

Tabel 4. 5 Tabel Hasil Perhitungan

$h_2$ (kj/kg)	$h_4$ (kj/kg)	$Q_{in}$ (Kw)	$Q_{out}$ (Kw)	$WT_{in}$ (Kw)	$WT_{out}$ (Kw)	$\eta_t$ (%)	WT (Kw)	$W_{TG}$ (Kw)
574,79	2497,96	12.438,38	10.693,1	15.630	13.877,555	88,7%	1.752,4	2.190,5

Keterangan :

$h_2$  = Entalpi masuk pompa (kj/kg)

$h_4$  = Entalphi masuk turbin (kj/kg)

$Q_{in}$  = fluida yang Keluar (Kw)

$Q_{out}$  = fluida yang Keluar (Kw)

$W_{Tin}$  = daya steam masuk turbin (Kw)

$W_{Tout}$  = daya steam keluar turbin (Kw)

$W_T$  = Daya turbin (KW)

$\eta_t$  = Efisiensi Turbin (%)

Dari hasil penelitian ini data yang diperoleh diketahui bahwa rata-rata tekanan yang masuk ke turbin adalah 18,5 Bar ,tekanan uap keluar Turbin 3,25 bar = 325 kPa dan kapasitas Uap dari boiler = 20.000 kg/jam. Pada titik keempat tekanan keluar turbin (P4 = 325 kPa) dan fluidanya dalam keadaan mixture saturated dan tekanannya konstan dan entropi 3 (S3) sama dengan Entropi 4 (S4), didapatkan panas yang masuk pada turbin ( $Q_{in}$ ) dengan hasil perhitungan 44.778.200 kj/h. Lalu di konversikan dari kj/jam di ubah ke kW dengan hasil perhitungan 12.438,38 kW. Pada saat panas keluar dari turbin ( $Q_{out}$ ) nilai yang didapatkan 38.495.400kj/h , lalu di konversikan dari kj/jam ke kW dengan hasil perhitungan 10.693,1 kW. Dapat disimpulkan bahwa daya masuk lebih besar dari daya keluar. Laju uap steam (ms) yang dihasilkan 20.000 kg/ jam dengan daya kerja yang masuk 15.630 kW dan daya keluar 13.877,555 kW sehingga menghasilkan daya turbin 1.752,4 kW berdasarkan perhitungan. Uap yang masuk ke turbin sebanyak 17 Bar sehingga menghasilkan daya potensial sebesar 1.752,4 kW. Cos  $\Phi$  rata-rata 0.80 (nilai rata- rata Cos  $\Phi$  dari hasil pengamatan pada panel turbin) dengan nilai 2.190,5 kW . Setelah melakukan perhitungan kerja pada turbin dan kerja pada pompa sehingga dapat melakukan perhitungan efisiensi siklus rankine sebesar 88,7%.

## Perhitungan 5

### A. Enthalphi dan Entropi

**TABLE A-5**

Saturated water—Pressure table

Press., P kPa	Sat. temp., $T_{\text{sat}}$ °C	Specific volume, $\text{m}^3/\text{kg}$		Internal energy, $\text{kJ}/\text{kg}$			Enthalpy, $\text{kJ}/\text{kg}$			Entropy, $\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$		
		Sat. liquid, $\nu_f$	Sat. vapor, $\nu_g$	Sat. liquid, $u_f$	Evap., $u_{fg}$	Sat. vapor, $u_g$	Sat. liquid, $h_f$	Evap., $h_{fg}$	Sat. vapor, $h_g$	Sat. liquid, $s_f$	Evap., $s_{fg}$	Sat. vapor, $s_g$
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

Gambar 4. 9 Tabel Thermodinamika

Pada tabel 4.1 data pengoperasian turbin uap pada hari senin dapat di ketahui tekanan masuk turbin adalah sebesar 19 bar. Temperatur turbin 214°C, tekanan keluar turbine 3,25 bar tabel uap Appendix-5 hasil yang di dapat sebagai berikut:

$$P_1 = 3,25 \text{ bar} = 325 \text{ kPa}$$

$$T = 214 \text{ °C}$$

$$h_1 = 573,19 \text{ kJ/kg}$$

$$V_1 = 0.001076 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$P_2 \longrightarrow P_3 = \text{tekanan yang konstan (isobar) } 19 \text{ Bar} = 1900 \text{ kPa (entropi) } S_2 = S_1$

kerja spesifik pompa yang masuk adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W_{pump,in} &= V_1 (P_2 - P_1) \\
 &= 0.001076 \text{ m}^3/\text{kg} (1900 \text{ kPa} - 325 \text{ kPa}) \\
 &= 0.001076 \text{ m}^3/\text{kg} \times 1575 \text{ kPa} \\
 &= 1,6947 \text{ kJ/Kg}
 \end{aligned}$$

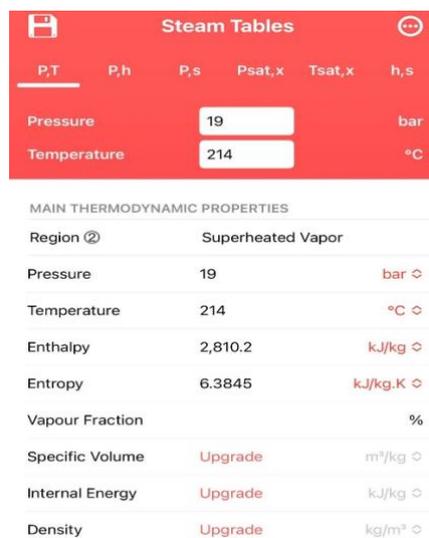
$$\begin{aligned}
 h_2 &= h_1 + w_{pump\ in} \\
 &= 573,19 \text{ kJ/Kg} + 1,69 \text{ kJ/Kg} \\
 &= 574,88 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_p &= m_s (h_2 - h_1) \\
 &= 20.000 \text{ kg/jam} (574,88 - 573,19) \\
 &= 33.800 \text{ kJ/h}
 \end{aligned}$$

Lalu di konversikan dari kJ/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned}
 1 \text{ kJ/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\
 33.800 \times 0.000277777778 \\
 &= 9,3 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, tekanan keluar turbin  $P_3 = 1900 \text{ kPa}$  dan temperature  $T_3 = 214^\circ\text{C}$  karena nilai tekanan  $1900 \text{ kPa}$  masih memakai uap jenuh maka harus menggunakan tabel A-5 dan dapat dilihat pada tabel 1900 tidak di perhatikan maka untuk mendapatkan hasil dari tekanan  $1900 \text{ kPa}$  di lakukan pengukuran melalui aplikasi steam tabel maka hasil nya sebagai berikut:



P,T	P,h	P,s	Psat,x	Tsat,x	h,s
Pressure	19				bar
Temperature	214				°C
MAIN THERMODYNAMIC PROPERTIES					
Region	Superheated Vapor				
Pressure	19				bar
Temperature	214				°C
Enthalpy	2,810.2				kJ/kg
Entropy	6.3845				kJ/kg.K
Vapour Fraction					%
Specific Volume	Upgrade				m³/kg
Internal Energy	Upgrade				kJ/kg
Density	Upgrade				kg/m³

Gambar 4. 10 Aplikasi Steam Tabel

$$P_3 = 1900 \text{ kPa}$$

$$T_3 = 214^\circ\text{C}$$

$$h_3 = 2.810,2 \text{ kJ/kg}$$

$$S_3 = 6,3845 \text{ kJ/kg}$$

Pada penelitian ini turbin tidak menggunakan kondensor maka uap yang keluar dari turbin langsung di gunakan Kembali untuk proses lain nya. Jadi Uap yang kerluar dari turbin adalah 3,25 bar = 325 kpa .pada titik ke empat tekanan keluar tubine ( $P_4 = 325 \text{ kPa}$ ) dan fluida dalam keadaan mixture saturated dan tekanan nya konstan dan entropi 3 ( $S_3$ ) sama dengan entropi 4 ( $S_4$ ) maka dari tabel uap A-5 pada lampiran 1 didapat data-data sebagai berikut :

$$\text{Entropi 3 (S3)} = (S4)$$

$$S_f = 1,7005 \text{ kJ/kg}$$

$$S_{fg} = 5,2645 \text{ kJ/kg}$$

$$S_g = 6,9650 \text{ kJ/kg}$$

$$H_{fg} = 2155,4 \text{ kJ/kg}$$

$$H_f = 573,19 \text{ kJ/kg}$$

$$h_g = 2728,6 \text{ kJ/kg}$$

maka kualitas uap 4 (X4)

$$\begin{aligned} X4 &= \frac{S4 - S_f}{S_{fg}} \\ &= \frac{6,3845 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 1,7005 \text{ kJ/kg}}{5,2645 \text{ kJ/kg}} \\ &= 0,8897 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Selanjutnya mencari entalpi keluar turbin

$$h_4 = h_1 + X_4 \cdot h_{fg}$$

$$h_4 = 573,19 \text{ kJ/Kg} + (0,8897 \text{ kJ/kg} \times 2155,4 \text{ kJ/kg})$$

$$h_4 = 2490,92 \text{ kJ/kg}$$

Setelah menganalisa ke empat proses siklus tersebut. Didapatkan panas yang masuk pada boiler ( $Q_{in}$ ).

$$Q_{in} = m_s(h_3 - h_2)$$

$$Q_{in} = 20.000 \text{ kg/h} (2.810,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 574,88 \text{ kJ/kg})$$

$$= 44.710.400 \text{ kJ/h}$$

Lalu di konversikan dari kJ/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned} 1 \text{ kJ/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 44.710.400 \times 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 12.419,38 \text{ kW} \end{aligned}$$

Panas yang keluar pada boiler

$$\begin{aligned} Q_{out} &= m_s(h_4 - h_1) \\ &= 20.000 \text{ kJ/h} (2490,92 \text{ kJ/kg} - 573,19 \text{ kJ/kg}) \\ &= 38.354.600 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

Lalu di konversikan dari kJ/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned} 1 \text{ kJ/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 38.354.600 \times 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 10.654,1 \text{ Kw} \end{aligned}$$

#### B. Efisiensi Turbin Uap

Laju Uap steam ( $m_s$ ) yang dihasilkan 20.000kg/jam.

Daya steam masuk turbin adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} WT_{in} &= m_s \times h_3 \\ &= 20.000 \text{ kg/h} \times 2.810,4 \text{ kJ/kg} \\ &= 56.208.000 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

Lalu di konversikan dari kJ/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned} 1 \text{ kJ/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 56.268.000 \times 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 15.613 \text{ kW} \end{aligned}$$

Daya steam keluar turbin adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} WT_{out} &= m_s \times h_4 \\ &= 20.000 \text{ kg/h} \times 2490,92 \text{ kJ/kg} \\ &= 49.818.400 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

Lalu di konversikan dari kj/jam ke kW. Cara mengkonversikan dapat di liat dengan cara berikut

$$\begin{aligned} 1 \text{ kj/h} &= 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 49.959.200 \times 0.000277777778 \text{ kW} \\ &= 13.838,44 \text{ kW} \end{aligned}$$

Terakhir kita bisa hitung efisiensi turbin, untuk menyatakan derajat keberhasilan komponen atau system turbin mendekati desain atau proses idealdengan satuan (%) dengan menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \eta_{turbin} &= \frac{W_{Tout}}{W_{Tin}} \times 100\% \\ &= \frac{13.838,44 \text{ kw}}{15.613 \text{ kw}} \times 100\% \\ &= 88,6\% \end{aligned}$$

#### C. Daya yang dihasilkan turbin

$$\begin{aligned} WT &= m_s (h_3 - h_4) \\ &= 20.000 \text{ kg/h} (2.810,4 - 2.490,92) \\ &= 6.386.600 \text{ kj/h} \\ &= 1.774,8 \text{ Kw} \end{aligned}$$

Cos  $\Phi$  rata-rata = 0.8 (nilai rata-rata Cos phi dari hasil pengamatan pada panel turbin).

Daya yang dihasilkan oleh turbin dan di alirkan ke generator adalah :

$$\begin{aligned} W_{TG} &= WT / \text{Cos } \Phi \\ &= 1.774,8 \text{ Kw} / 0,8 \\ &= 2.218,6 \text{ kVA} \end{aligned}$$

#### D. Tabel Hasil perhitungan

Tabel 4. 6 Tabel Hasil Perhitungan

$h_2$ (kj/kg)	$h_4$ (kj/kg)	$Q_{in}$ (Kw)	$Q_{out}$ (Kw)	$WT_{in}$ (Kw)	$WT_{out}$ (Kw)	$\eta_t$ (%)	WT (Kw)	$W_{TG}$ (kVA)
574,88	2.490,92	12.419,38	10.654,1	15.613	13.838,44	88,6%	1.774,8	2.218,6

Keterangan :

$h_2$  = Entalpi masuk pompa (kj/kg)

$h_4$  = Entalphi masuk turbin (kj/kg)

$Q_{in}$  = fluida yang Keluar (Kw)

$Q_{out}$  = fluida yang Keluar (Kw)

$W_{Tin}$  = daya steam masuk turbin (Kw)

$W_{Tout}$  = daya steam keluar turbin (Kw)

$W_T$  = Daya turbin (KW)

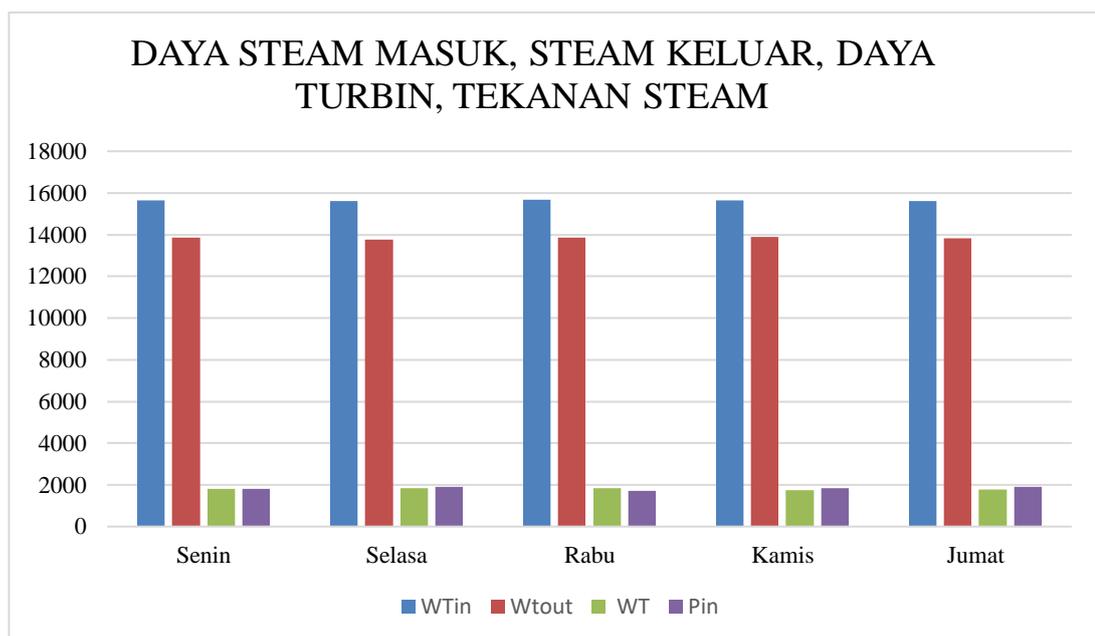
$\eta_t$  = efisiensi Turbin (%)

Dari hasil penelitian ini data yang diperoleh diketahui bahwa rata-rata tekanan yang masuk ke turbin adalah 19 Bar ,tekanan uap keluar Turbin 3,25 bar = 325 kPa dan kapasitas Uap dari boiler = 20.000 kg/jam. Pada titik keempat tekanan keluar turbin ( $P_4 = 325$  kPa) dan fluidanya dalam keadaan mixture saturated dan tekanannya konstan dan entropi 3 (S3) sama dengan Entropi 4 (S4), didapatkan panas yang masuk pada turbin ( $Q_{in}$ ) dengan hasil perhitungan 44.710.400 kj/h. Lalu di konversikan dari kj/jam di ubah ke kW dengan hasil perhitungan 12.438,38 kW. Pada saat panas keluar dari turbin ( $Q_{out}$ ) nilai yang didapatkan 38.495.400kj/h , lalu di konversikan dari kj/jam ke kW dengan hasil perhitungan 10.693,1 kW. Dapat disimpulkan bahwa daya masuk lebih besar dari daya keluar. Laju uap steam (ms) yang dihasilkan 20.000 kg/ jam dengan daya kerja yang masuk ( $W_{Tin}$ ) 15.613 kW dan daya keluar ( $W_{Tout}$ ) 13.838,44 kW sehingga menghasilkan daya turbin 1.752,4 kW berdasarkan perhitungan. Uap yang masuk ke turbin sebanyak 19 Bar sehingga menghasilkan daya potensial sebesar 1.774,8 kW.  $\cos \Phi$  rata-rata 0.80 (nilai rata-rata  $\cos \Phi$  dari hasil pengamatan pada panel turbin) dengan nilai 2.218,6 kW . Setelah melakukan perhitungan kerja pada turbin dan kerja pada pompa sehingga dapat melakukan perhitungan efisiensi siklus rankine sebesar 88,7%.

## 4.2 Grafik Hasil Penelitian

Tabel 4. 7 Tabel Hasil Penelitian Daya Steam Masuk, Steam Keluar, Data Turbin, Tekanan Steam

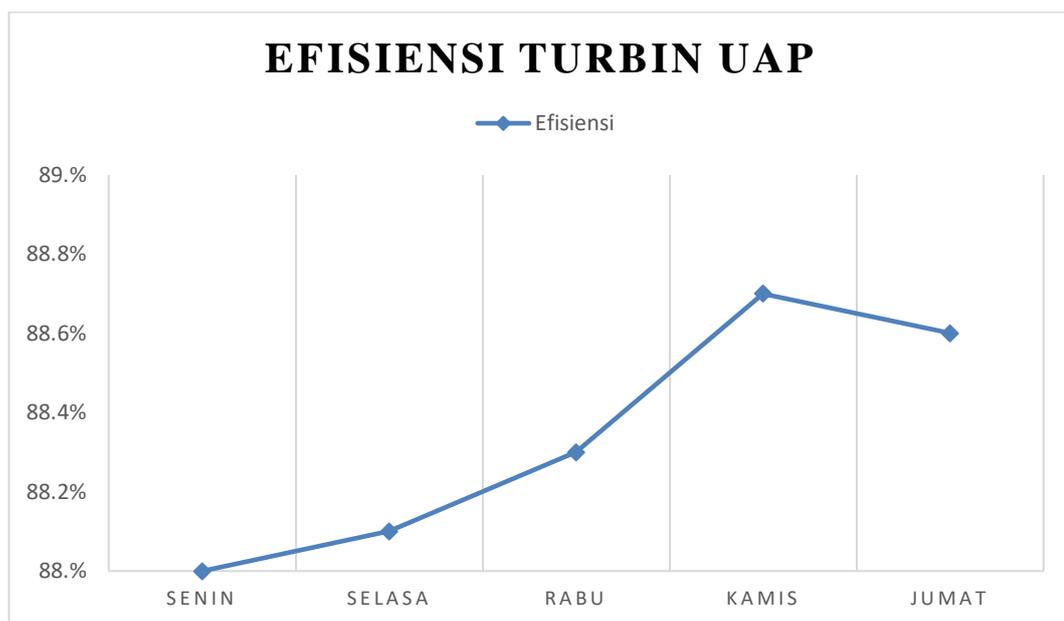
Hari	WTin	Wtout	WT	Pin
Senin	15.647 kW	13.846 kW	1.801 kW	1.800 kPa
Selasa	15.612 kW	13.767 kW	1.845 kW	1.900 kPa
Rabu	15.682 kW	13.850 kW	1.832 kW	1.700 kPa
Kamis	15.630 kW	13.877 kW	1.752 kW	1.850 kPa
Jumat	15.613 kW	13.838 kW	1.774 kW	1.900 kPa



Gambar 4. 11 Grafik Daya Steam Masuk, Steam Keluar, Data Turbin, Tekanan Steam

Pada Grafik 4.11 menunjukkan bahwasanya *input* tertinggi daya steam masuk terjadi pada hari rabu dengan nilai daya 15.682 kW, dan *output* steam yang keluar paling tinggi terjadi pada hari selasa yaitu 13.877 kW, daya turbin tertinggi terjadi pada hari selasa dengan daya 1.845 kW dan tekanan tertinggi yang masuk terjadi pada hari selasa dan jumat yaitu 1900 kPa. Pada tabel ini menunjukkan warna yang berbeda-beda pada hari senin warna biru menunjukkan daya steam masuk sebesar 15.647 kW, dan warna merah menunjukkan daya steam keluar sebesar 13.846 kW, dan daya turbin berwarna hijau sebesar 1.801 kW pada warna ungu

menunjukkan tekanan steam yang masuk sebesar 1800 kPa, selanjutnya hari selasa warna biru menunjukkan daya steam masuk sebesar 15.612 kW, dan warna merah menunjukkan daya steam keluar sebesar 13.767 kW, dan daya turbin berwarna hijau sebesar 1.845 kW pada warna ungu menunjukkan tekanan steam yang masuk sebesar 1.900 kPa, selanjutnya hari rabu warna biru menunjukkan daya steam masuk sebesar 15.682 kW, dan warna merah menunjukkan daya steam keluar sebesar 13.850 kW, dan daya turbin berwarna hijau sebesar 1.832 kW pada warna ungu menunjukkan tekanan steam yang masuk sebesar 1.700 kPa, selanjutnya hari kamis warna biru menunjukkan daya steam masuk sebesar 15.630 kW, dan warna merah menunjukkan daya steam keluar sebesar 13.877 kW, dan daya turbin berwarna hijau sebesar 1.752 kW pada warna ungu menunjukkan tekanan steam yang masuk sebesar 1.850 kPa, selanjutnya hari jumat warna biru menunjukkan daya steam masuk sebesar 15.613 kW, dan warna merah menunjukkan daya steam keluar sebesar 13.838 kW, dan daya turbin berwarna hijau sebesar 1.774 kW pada warna ungu menunjukkan tekanan steam yang masuk sebesar 1.900 kPa.



Gambar 4. 12 Grafik Efisiensi Turbin Uap

Tabel 4. 8 Tabel Penelitian Efisiensi Turbin Uap

Hari	Efisiensi
Senin	88,00%
Selasa	88,10%
Rabu	88,30%
Kamis	88,70%
Jumat	88,60%

### 4.3 Analisa Teoritis

#### A. Analisa Steam Masuk Turbin

Steam Adalah Penyebab masuk turbin pada hasil penelitian yang dilakukan di PT.Bumi Sama Ganda di peroleh tekanan yang berbeda – beda yaitu 17 bar, 18 bar, 18,5 bar dan 19 bar penyebab terjadi steam yang berubah bisa disebabkan oleh campuran bahan dasar pembakaran untuk uap steam turbin.Pada dasarnya bahan yang digunakan biasa nya berasal dari kandungan cangkang dan serabut sisa pengolahan hasil buah kelapa sawit, akan tetapi ada beberapa factor masalah lain yang juga berpengaruh sangat besar untuk emnghasilkan uap turbin yang maksimal yaitu :

##### 1. Masalah Scale

Problem ini terjadi karena feed water mengandung ion magnesium (*hard Water*).Problem ini menyebabkan scale yang berakibatkan diameter pipa menyempit, tranfer panas yang terhambat dan menjadi hotspot.

##### 2. Masalah Korosi

Pada pabrik tempat penelitian feed water banyak mengandung gas yang bersifat korosi,korosi mengakibatkan pipa yang menuju ke boiler menjadi tipis dan bocor.Produk korosi yang terakumulasi dan mengendap menyebabkan masalah korosi yang baru yang disebut *Corrosion under deposit*.

##### 3. Masalah Boiler Carryover

Masalah ini terjadi Ketika busa,padatan,butiran air atau gas – gas korosif terbawa oleh steam yang akan masuk ke turbin (inlet turbin),dampak dari terjadinya itu menyebabkan beberapa masalah pada komponen turbin atau peralatan,masalah ini berkaitan dengan kemurnian steam.

#### 4.4 Analisa Steam Keluar Turbin

Pada penelitian selanjutnya tidak hanya mencatat uap yang masuk turbin akan tetapi melihat tekanan keluar yang mengalir ke (BPV). Tekanan yang keluar bernilai 2,75 bar, 3 bar dan 3,25 bar. Penyebab terjadinya keluaran steam yang berbeda-beda memiliki banyak penyebab. Pada turbin uap yang digunakan untuk pengolahan kelapa sawit ini terdapat beberapa jenis kerusakan yang sering kali ditemui. Beberapa kerusakan tersebut seperti terjadi getaran tinggi pada turbin, kerusakan pada sudut turbin, kerusakan thrust bearing, bending shaft. Beberapa bagian ini menjadi komponen yang sering rusak dikarenakan bagian ini menjadi bagian yang paling bertanggung jawab.

Atas pergerakan rotor yang berputar terus menerus dengan kecepatan yang tinggi. Terdapat beberapa jenis turbin dan rotor yang difungsikan untuk menghasilkan udara untuk tujuan produksi. Sebagai salah satu alat untuk menunjang berlangsungnya sebuah produksi dari sebuah perusahaan, turbin uap kerap kali mengalami kendala atau kerusakan. Mengingat kerjanya yang dirasa cukup berat serta kondisi tekanan udara turut menjadi penyebab kerusakannya bagian ini. Untuk kerusakan yang sering kali dialami dari bagian ini adalah kerusakan thrust bearing dan bending shaft dari komponen ini. Adapun masalah yang disebabkan oleh carryover dimana membuat sudu – sudu, serta nozel turbin berkarat menyebabkan kebocoran, serta uap yang keluar dari shaft wheel. Kebocoran juga disebabkan oleh gesekan antar komponen seperti kebocoran pada karbon ring yang terletak pada shaft wheel. Ini disebabkan gesekan terlalu sering terjadi dengan kecepatan putaran yang kencang dan juga uap yang dihasilkan oleh boiler masih mengandung air. Selanjutnya disebabkan oleh getaran turbin, getaran turbin terjadi akibat adanya celah tipis antar bearing dan shaft ini terjadi karena salah pemasangan perbaikan atau proses pengukuran yang tidak baik. Getaran menyebabkan shaft wheel tidak bekerja dengan maksimal untuk menerima uap steam yang masuk ke turbin.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil Analisa yang dilakukan di peroleh beberapa kesimpulan :

1. Proses Turbin Uap khusus nya pada pabrik PT. Bumi Sama Ganda menggunakan bahan bakar yang berasal dari uap boiler yang di panaskan sehingga menghasilkan tekanan yang berbeda beda yaitu , 17 bar, 18 bar 18,5 bar dan yang terakhir 19 bar.panas temperature saturated 214°C penelitian dilakukan dari hari senin sampai jumat.
2. Tekanan turbin masuk 17 bar dan keluaran 2,75 bar menghasilkan daya yang di alirkan kegenerator dengan nilai 1.832 kW, pada tekanan turbin masuk 18 bar dan tekanan keluar 3 bar menghasilkan daya 1.801 kW dan pada tekanan masuk 18,5 bar dan keluaran turbin 3,25 bar menghasilkan daya 1.752 kW. pada tekanan masuk 19 bar dan keluaran turbin 3 bar menghasilkan daya 1.845 kW. pada tekanan masuk 19 bar dan keluaran turbin 3,25 bar menghasilkan daya 1.774 kW.
3. Tekanan turbin masuk 17 bar dan keluaran 2,75 bar menghasilkan efisiensi 88,30%, pada tekanan turbin masuk 18 bar dan tekanan keluar 3 bar menghasilkan efisiensi 88,00% dan pada tekanan masuk 18,5 bar dan keluaran turbin 3,25 bar menghasilkan efisiensi 88,70%. pada tekanan masuk 19 bar dan keluaran turbin 3 bar menghasilkan efisiensi 88,10% . pada tekanan masuk 19 bar dan keluaran turbin 3,25 bar menghasilkan efisiensi 88,60%. Dari hasil ini didapatkan rata-rata efisiensi dalam seminggu yaitu 88,34%.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran untuk penelitian tugas akhir ini yaitu sebagai berikut :

1. Untuk operator boiler pastikan steam yang di hasilkan boiler tidak mengandung air (uap basah), karena berpengaruh pada tekanan yang masuk ke turbin, dan bila turbin mendapatkan uap basah, dapat menyebabkan kerusakan pada rotor wheel
2. Selalu melakukan pengecekan secara berkala pada turbin

## DAFTAR PUSTAKA

- Riyki Apriandi, Aqli Murs. (2016). Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan Performance Test PITU PT. Indocement P-12 Tarjun. jme KINEMATIKA VOL.1 NO.1, 1 Juni 2016.
- Irfan Nadhif, Danial, Managam Rajagukguk. (2021) Perhitungan Kebutuhan Campuran Cangkang dan Serat Biomassa Kelapa Sawit sebagai Bahan Bakar pada PLTU.
- Agus Noor Sidiq, Muhammad Anwar, (2021). Perbandingan Efisiensi Turbin Uap Kondisi Aktual Berbasis Data Komissioning Sesuai Standard ASME PTC 6. KILAT, Vol. 10, No. 1. April 2021
- Rolando Samosir, Danial, Eddy Kurniawan.(2019) Analisa Efisiensi Isentropik Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBM).Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin,Vol. 1,No 1.
- Muhammad Syukrillah, Kho Hie Khwee,(2019). Ayong Hiendro. Analisis Perhitungan Efisiensi Energi Di Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBM) PT. HARJOHN TIMBER KUBU RAYA. jurnal teknik elektro universitas tanjungpura,Vol.2, No.1,(2019).
- Muhammad Arrazi,dkk. (2023). Analisis Efisiensi Turbin Uap Unit 1 Di PT. Pjb Ubjom Pltu Pulang Pisau Kalimantan Tengah. Jurnal ROTARY, Volume 3 No 1,2023.
- Fakrizal Novansyah,dkk,(2022). ANALISA EFISIENSI TURBIN UAP PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP KAPASITAS 7,5 MW.jurnal Majamecha, Volume 4 Nomor 2 ,Desember 2022.
- Briliana Kurniasari,dkk.(2017). ANALISA EFISIENSI TURBIN GENERATOR BERDASARKAN KUALITAS DAYA PADA PLTU PABRIK GULA MADUKISMO. Jurnal Elektrikal, Volume 4 No. 2, Desember 2017.
- Fadel Gani Setiawan,dkk (2022). ANALISIS KINERJA TURBIN UAP UNIT 1 DI CIREBON POWER.Jurnal Energi, Volume 11 Nomor 2, April 2022
- JAMALUDIN dan REZA PANGESTU DH (2018), ANALISIS PERHITUNGAN HEATRATE PADA TURBIN UAP BERDASARKAN PERFORMANCE TEST UNIT 1 DI PT. INDONESIA POWER UBOH UJP BANTEN 3 LONTAR. Motor Bakar: Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Tangerang, Vol. 2, No. 1, Januari - Juni 2018.
- Muslih Nasution, Suhardi Napid (2022) APLIKASI BOILER SEBAGAI PEMBANGKIT UAP DALAM MENENTUKAN EFISIENSI. Buletin Utama Teknik Vol. 17, No. 3, Mei 2022.

Dwi Cahyadi, H. (2015). Ilmiah. ANALISA PERHITUNGAN EFISIENSI TURBINE GENERATOR QFSN-300-2-20B UNIT 10 dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU REMBANG .

Teguh Priambodo, M. Aan Auliq (2016). ANALISA PERHITUNGAN EFISIENSI DAYA TURBINE GENERATOR SIEMENS ST-300 7 MW DI PTPN XI (Unit) PG. SEMBORO

Muhammad Fauzi Zakaria, Mohamad Effendy (2018). ANALISA ENERGI DAN EKSERGI TURBIN UAP PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP UNIT 2 TANJUNG AWAR-AWAR. JTM. Volume 06 Nomor 02 Tahun 2018, Hal 77 – 85.