

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH LAJU ALIRAN UAP TERHADAP DAYA LISTRIK YANG DIHASILKAN GENERATOR

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik Universits
Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

YAMIN AZHARI

2107220063



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Yamin Azhari
NPM : 2107220063
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Laju Aliran Uap Terhadap Daya Listrik
Yang Dihasilkan Generator
Bidang ilmu : Sistem Tenaga

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

Medan, 23 September 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



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

Dosen Pembimbing I / Penguji

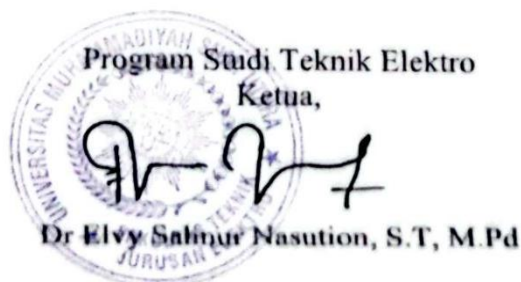


Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd

Dosen Pembimbing II / Peguji



Arya Rudi Nasution, S.T., M.T



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Yamin Azhari
Tempat /Tanggal Lahir : Rantau Prapat/09 juli 2002
NPM : 2107220063
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

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

“Analisis Pengaruh Laju Aliran Uap Terhadap Daya Listrik Yang Dihasilkan Generator”,

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 orisinil 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 Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 23 September 2025

Saya yang menyatakan,



Yamin Azhari

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh laju aliran uap terhadap daya listrik yang dihasilkan oleh generator pada sistem pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) di pabrik PTPN IV Unit Pks Berangir sistem ini menggunakan siklus nilai laju aliran uap untuk mengubah energi panas menjadi energi listrik. Penelitian ini dilakukan dengan metode pengambilan data lapangan selama 12 hari dari log sheet operator melalui pengukuran laju aliran uap (kg/s), temperatur (T) dan tekanan (Bar). Data menunjukkan adanya peningkatan daya listrik dengan peningkatan laju aliran uap. Nilai daya listrik meningkat dari 435,36 kw pada laju uap 20,34 T/h menjadi 616,48 kw pada laju uap 24,80 T/h dan data pada tekanan operasi 18-19 bar, hasil perhitungan menunjukkan laju aliran uap rata-rata sebesar 22,34 T/h dengan daya listrik sebesar 557,67 kw. Analisis grafik memperlihatkan bahwa peningkatan laju aliran uap diikuti dengan peningkatan daya listrik yang dihasilkan. berdasarkan rumusan masalah yang diambil maka dapat disimpulkan bahwa pengaturan laju aliran uap yang tepat sangat penting untuk memaksimalkan output daya listrik dan menjaga oprasional pada pembangkit. Hal ini menunjukkan bahwa daya listrik turbin dipengaruhi oleh nilai laju aliran uap dan variasi entalpi pada inlet dan exhaust turbin., untuk mengatasi solusi ini mengatur tekanan tetap di pada 19 bar, serta memakai sistem kontrol otomatis untuk menyesuaikan bukaan katup uap saat daya listrik berubah. Selain itu, menjaga suhu uap sedikit lebih tinggi juga bisa membantu meningkatkan daya, Intinya, kalau aliran uap stabil dan kualitas uap terjaga, daya listrik yang dihasilkan bisa lebih optimal

Kata Kunci : laju aliran uap, tempatur, tekanan, daya listrik generator

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of steam flow rate on the electrical power generated by the generator in the steam power plant (PLTU) system at the PTPN IV Berangir Pks Unit plant. This system uses a cycle of steam flow rate values to convert heat energy into electrical energy. This study was conducted using the method of collecting field data for 12 days from the operator's log sheet through measuring the steam flow rate (kg/s), temperature (T) and pressure (Bar). The data shows an increase in electrical power with an increase in the steam flow rate. The electrical power value increased from 435,36 kw at a steam rate of 20.34 T/h to 616,48 kw at a steam rate of 24.80 T/h and data at an operating pressure of 18-19 bar, the calculation results show an average steam flow rate of 22,84 T/h with an electrical power of 557,67 kw. Graphic analysis shows that an increase in the steam flow rate is followed by an increase in the electrical power generated. Based on the formulation of the problem taken, it can be concluded that the proper regulation of the steam flow rate is very important to maximize the output of electrical power and maintain the operation of the power plant. This shows that the electric power of the turbine is affected by the value of the steam flow rate and the variation of enthalpy at the inlet and exhaust of the turbine. To overcome this solution, set the pressure to remain at 19 bar, and use an automatic control system to adjust the opening of the steam valve when the electric power changes. In addition, maintaining a slightly higher steam temperature can also help increase power. In essence, if the steam flow is stable and the quality of the steam is maintained, the electric power generated can be more optimal.

Keywords: steam flow rate, temperature, pressure, generator electrical power

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya Allah berguna bagi semesta alam. Shalawat dan salam kita sampaikan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua dan telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar sarjana pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah “Analisis Pengaruh Laju Aliran Uap Terhadap Daya Listrik Yang Dihasilkan Generator”

Selesainya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T.,M.T. Selaku pembimbing dalam penyusunan tugas akhir
2. Ibu Dr.Elvy Sahnur Nasution, S.T.,M.Pd. Selaku dosen penguji 1 yang telah banyak mengarahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini
3. Bapak Arya Rudi Nasution, S.T.,M.T. Selaku dosen penguji 2 yang telah banyak mengarahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini
4. Ibu Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd. Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
5. Bapak dan Ibu Dosen di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara
6. Ayahanda dan Ibunda, yang dengan cinta kasih dan sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik dan membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.
7. Bapak /Ibu staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
8. Seluruh Staf di PT. Adibrata Unggul Jaya yang telah banyak memberikan ilmu kepada penulis.

9. Terimakasih kepada Fitria Adi Ningsih selaku support sistem saya yang senantiasa memberi dukungan dan motivasi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan
10. Teman-teman seperjuangan Fakultas Teknik, Khususnya TEKNIK ELEKTRO B-1 Pagi 2021 yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis

Penulis ini menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan keritik dan saran yang membangun dari segenap pihak

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khusus nya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih

Medan, 23 September 2025

Yamin Azhari

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Masalah.....	3
1.4 Ruang lingkup Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Pustaka Relavan	5
2.2 Landasan Teori.....	10
2.2.1 Turbin PLTU.....	10
2.2.2 Penyebab Kegagalan Kinerja Turbin	11
2.2.3 Perinsip Kerja Turbin.....	15
2.2.4 Komponen-Komponen Turbin Uap	16
2.2.5 Jenis-Jenis Turbin	29
2.2.6 Boiler.....	32
2.2.7 Jenis-Jenis Boiler	34
2.2.8 Peroses Pembentukan Uap.....	37
2.2.9 <i>Satureted Steam</i>	38
2.2.10 <i>Superheated Steam</i>	40
2.2.11 Tempratur.....	40
2.2.12 Termodinamika	43
2.2.13 Sifat-Sifat Termodinamika.....	43
2.2.14 <i>Siklus Rankine</i>	46
2.2.15 Generator.....	46
2.2.16 Daya Listrik	49
BAB III METODOLOGI	51
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	51
3.2 Bahan dan Alat	51
3.1.1 Tempat Penelitian	51
3.2.1 Alat.....	52
3.2.2 Bahan	56
3.3 Rancangan Penelitian	57

3.4	Perosedur Penelitian.....	57
3.5	Pengumpulan Data	57
3.6	Pengolahan Data	57
3.7	Tahapan Penelitian.....	57
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	59
4.1	Sefesifikasi Turbin	59
4.2	Sefesifikasi Boiler	60
4.3	Analisis Laju Uap Terhadap Daya	71
4.4	Analisis Tempratur Terhadap Daya	72
4.5	Analisis Tekanan Terhadap Daya	73
4.6	Penyelesaian Masalah	73
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1	Kesimpulan	75
5.2	Saran	75

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Turbin Uap (Yanti et al., 2024)	11
Gambar 2.2 sefty valve (PTPN III Torgamba,2024).....	13
Gambar 2.3 Governor (PTPN III Torgamba,2024).....	14
Gambar 2.4 carbon ring (PTPN III Aek Raso,2024)	14
Gambar 2.5 Komponen Turbin Uap (Arrazi, 2023).....	17
Gambar 2.6 Casing (PT.Batu Ampare,2024)	18
Gambar 2.7 Rotor dan Wheel (PT.Batu Ampare,2024).....	19
Gambar 2.8 Journal Bearing (PT.Sawita Estate,2024)	20
Gambar 2.9 Thrust Bearing (PT.Sodetan Pom,2024)	21
Gambar 2.10 steam cheast (PTPN IV Mayang,2024).....	22
Gambar 2.11 Moving Blade (PTPN III Pks Rambutan,2024)	23
Gambar 2.12 Carbon Ring Dan Spring (PTPN III Pks Rambutan,2024)	23
Gambar 2.13 specer Carbon Ring (PT.Silaut Pom,2024)	24
Gambar 2.14 buffle Oil (PT.Sodetan Pom,2024).....	24
Gambar 2.15 Nozzle (PT. Silaut Pom,2024).....	25
Gambar 2.16 Guide Ring (PT.Silaut Pom,2024)	26
Gambar 2.17 Lay Shaft (PT.sawita Estate,2024).....	26
Gambar 2.18 Copling (PT.Tapian Nandenggan Langga Payung Mill,2024)	27
Gambar 2.19 Governol Control (PT.Sawita Estate,2024).....	28
Gambar 2.20 Steam Strainer (PT.Sawita Estate,2024)	29
Gambar 2.21 Turbin Uap (Kering & Hendana, 2023)	30
Gambar 2.22 Turbin Gas (BA Wibowo, 2022).....	31
Gambar 2.23 Turbin Air (Hidayat, 2019)	31
Gambar 2.24 Diagram boiler (Pamungkas et al. 2021).....	33
Gambar 2.25 Boiler water Tube(Rahardja et al., 2022)	34
Gambar 2.26 Boiler free Tube (Tognoli et al., 2017)	35
Gambar 2.27 Peroses Pembentukan Uap (Prasojo. F. F., 2022).....	37
Gambar 2.28 Siklus Rankine (Di et al., 2021)	44
Gambar 2.29 Generator (Kering & Hendana, 2023).....	47
Gambar 3.1 Turbin Uap.....	52
Gambar 3.2 Control Panel Turbin Uap	53
Gambar 3.3 Pressure <i>Gauge</i>	53
Gambar 3.4 Tempratur <i>Gauge</i>	54
Gambar 3.5 Generator	55
Gambar 3.6 Boiler.....	55
Gambar 3.7 Panel Parameter Boiler.....	56
Gambar 3.8 Leptop.....	56
Gambar 3.9 Flowchat	58
Gambar 4.1 Turbin Uap	59
Gambar 4.2 Boiler.....	60
Gambar 4.3 Gerafik Laju Aliran Uap Terhadap Daya Listrik	71
Gambar 4.4 Gerafik Temprature Terhadap Daya Listrik.....	72
Gambar 4.5 Tekanan Terhadap Daya.....	73

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Waktu Pelaksanaan Penelitian	51
Tabel 3.2 Spesifikasi Turbin Uap.....	52
Tabel 4.1 Data Dalam 12 Hari	61
Tabel 4.2 Hasil Analisis Perhitungan.....	70

BAB I

PENDAHUAN

1.1 Latar Belakang

Penelitian ini bertujuan untuk memahami pengaruh laju aliran uap terhadap daya listrik yang dihasilkan oleh generator pada sistem pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Sistem ini menggunakan siklus uap untuk mengubah energi panas menjadi energi listrik. Turbin uap berfungsi sebagai penggerak utama, di mana gaya dari uap bertekanan digunakan untuk memutar sudu-sudu turbin. Penyesuaian pada bukaan valve umpan turbin uap bertekanan penting untuk mengoptimalkan kinerja turbin dan meningkatkan daya keluaran. Tekanan uap memegang peranan vital dalam efisiensi dan output daya yang dihasilkan oleh generator.

Pada sistem pembangkit listrik tenaga uap, uap yang dihasilkan oleh boiler digunakan untuk menggerakkan turbin yang langsung terhubung dengan generator. Perubahan laju aliran uap dapat memengaruhi kecepatan turbin, yang kemudian berdampak pada daya yang dihasilkan oleh generator. Jika laju aliran uap terlalu rendah, putaran turbin tidak akan maksimal. Di sisi lain, tekanan uap yang terlalu tinggi bisa menyebabkan beban berlebih pada sistem, yang dapat merusak komponen generator.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak perubahan laju aliran uap terhadap daya keluaran generator dan menentukan parameter optimal yang dapat diterapkan dalam pengoperasian pembangkit listrik tenaga uap. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem pembangkit listrik, serta memberikan rekomendasi kepada industri dalam pengelolaan tekanan uap secara lebih efektif.

Analisis Pengaruh Nilai Beban Unit Terhadap Efisiensi Dan Heat Rate Turbin Pada Pltu Moramo Menurut (Ilham et al., 2021), Dari hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan terhadap data yang diperoleh, dan berdasarkan rumusan masalah yang diambil maka dapat disimpulkan bahwa beban unit pada PLTU Moramo mempengaruhi nilai heat rate turbin uap maupun efisiensi siklus turbin uapnya. Dari analisis data yang dilakukan diketahui bahwa semakin besar beban unit PLTU Moramo akan semakin baik performa dari turbin uapnya. Kenaikan efisiensi siklus turbin uap dipengaruhi oleh perbandingan antara besar

total kerja turbin dengan panas masuk siklus turbin uap. Selain itu naiknya performa turbin juga ditunjukkan dengan turunnya nilai heat rate turbin uap

Pengaruh Nilai Buka Valve Terhadap Daya Yang Dihasilkan Oleh Turbin Uap Dalam Waste to Heat Energy System Menurut (Alit et al., 2022) Daya Turbin uap dipengaruhi oleh nilai laju alir dan perbedaan enthalpy pada inlet dan outlet turbin. Dimana nilai enthalpy bergantung pada tekanan dan temperatur fluida penggerak yang mengalir pada sistem kerja. Sehingga daya turbin akan bergantung pada nilai tekanan steam. Seiring meningkatnya nilai bukaan valve maka nilai laju alir juga akan meningkat. Hal ini berbanding terbalik pada nilai tekanan, meningkatnya nilai bukaan valve akan menurunkan nilai tekanan fluida penggerak yang berujung menurunnya nilai perbedaan enthalpy sistem. Nilai perubahan tekanan (yang menghasilkan nilai enthalpy) memiliki pengaruh yang lebih besar daripada nilai laju alir massa. Hal ini dikarenakan nilai kandungan enthalpy pada steam yang bertekanan tinggi lebih besar sehingga berpengaruh besar pada daya yang dihasilkan dibandingkan dengan parameter laju alir massa.

Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Heat Rate pada Unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jeneponto 2 135 MWP. Menurut (Nur Hamzah^{1*}, A.M. Shiddiq Yunus², 2020) penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh perubahan beban terhadap heat rate beserta nilai optimumnya. Heat rate dapat dinyatakan dalam GPHR (Gross Plant Heat Rate) dan NPHR (Net Plant Heat Rate). Metode yang digunakan yaitu mengidentifikasi dan mengumpulkan data tiga tahun terakhir yang berhubungan dengan penentuan heat rate, kemudian dilakukan pengolahan data. Pada tahun 2018 diperoleh keadaan optimum unit 1 pada beban 125 MW, NPHR 2432,68 kcal/kWh, sedangkan Unit 2 pada beban 135 MW dengan nilai NPHR 2489,65 kcal/kWh. Pada tahun 2019 nilai optimum unit 1 pada beban 137 MW dengan nilai NPHR 2517,07 kcal/kWh, adapun unit 2 juga berada pada beban 137 MW dengan NPHR 2527,48, selanjutnya pada tahun 2020 nilai optimum Unit 1 berada pada beban 135 MW, NPHR 2529,5 kcal/kWh, sedangkan Unit 2 pada beban 137 MW, NPHR 2567,53 kcal/kWh. Dapat disimpulkan bahwa kenaikan beban menyebabkan penurunan heat rate.

Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk mengkaji lebih lanjut tentang pengaruh laju aliran uap terhadap daya listrik yang dihasilkan generator. dengan mengetahui hubungan antara laju aliran uap dengan generator, di harapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas tentang apakah laju aliran uap mempengaruhi daya listrik yang di hasilkan oleh generator tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah penelitian ini yaitu :

1. Berapa besar perubahan daya listrik yang terjadi akibat pengaruh laju aliran uap?
2. Bagaimana solusi untuk mengoptimalkan pengaruh laju aliran uap terhadap daya listrik yang dihasilkan generator?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang di dapat dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis perubahan daya listrik yang terjadi akibat pengaruh laju aliran uap
2. Untuk memberi solusi dalam mengoptimalkan pengaruh laju aliran uap terhadap daya listrik yang dihasilkan generator

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah di paparkan di atas, maka penelitian tugas akhir sarjana ini meliputi beberapa hal yaitu diantaranya hasil laju aliran uap yang di peroleh dapat mempengaruhi daya listrik generator serta memberikan solusi dalam mengoptimalkan pengaruh laju aliran uap terhadap daya listrik yang dihasilkan generator

1.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi Pembaca

Menambah wawasan tentang hubungan antara laju aliran uap dan daya listrik yang dihasilkan generator serta memperoleh wawasan mengetahui bagaimana pemahaman lebih dalam tentang sistem pembangkitan listrik tenaga uap.

2. Bagi Perusahaan (Industri Pembangkit Listrik)

Membantu dalam mengoptimalkan pengaturan aliran uap untuk meningkatkan efisiensi energi, serta memahami cara untuk mengurangi konsumsi bahan bakar dan menekan biaya operasional. Penelitian ini juga bertujuan untuk meningkatkan stabilitas daya listrik dan keandalan sistem kelistrikan, sehingga dapat menghindari gangguan operasional.

3. Bagi Institusi Akademik

Menambah referensi di bidang teknik elektro, terutama pada topik penelitian ini, yaitu analisis pengaruh laju aliran uap terhadap daya listrik yang dihasilkan oleh generator, dan juga dapat menjadi dasar bagi penelitian selanjutnya dalam pengembangan teknologi pembangkit listrik.

4. Bagi Peneliti

Memberikan data empiris mengenai pengaruh laju aliran uap terhadap daya listrik yang dihasilkan generator, Dapat dijadikan referensi untuk penelitian lanjutan terkait optimasi sistem turbin uap dan generator. Berkontribusi terhadap pengembangan teknologi energi terbarukan berbasis uap seperti di bidang sistem tenaga

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relavan

Penelitian ini yang berjudul” Pengaruh Nilai Buka-an Valve Terhadap Daya Yang Dihasilkan Oleh Turbin Uap Dalam Waste to Heat Energy System” penelitian ini menunjukkan bahwa Daya Turbin uap dipengaruhi oleh nilai laju aliran dan perbedaan enthalpy pada inlet dan outlet turbin. Dimana nilai enthalphy bergantung pada tekanan dan temperatur fluida penggerak yang mengalir pada sistem kerja. Sehingga daya turbin akan bergantung pada nilai tekanan steam. Seiring meningkatnya nilai buka-an *valve* maka nilai laju alir juga akan meningkat. Hal ini berbanding terbalik pada nilai tekanan, meningkatnya nilai buka-an *valve* akan menurunkan nilai tekanan fluida penggerak yang berujung menurunnya nilai perbedaan enthalpy sistem. Nilai perubahan tekanan (yang menghasilkan nilai enthalpy) memiliki pengaruh yang lebih besar daripada nilai laju alir massa. Hal ini dikarenakan nilai kandungan enthalphy pada steam yang bertekanan tinggi lebih besar sehingga berpengaruh besar pada daya yang dihasilkan dibandingkan dengan parameter laju alir massa. Titik puncak pada grafik yang disajikan oleh gambar 5,6, dan 7 menandakan nilai optimal keseluruhan sistem. Pada percobaan ini didapatkan bahwasanya nilai daya optimal didapatkan ketika nilai buka-an valve sebesar 2850 (step), tekanan inlet (10 barg), dan laju alir sebesar 0,886 (g/s) yang menghasilkan daya sebesar 421,011 (J/s).(Alit et al., 2022)

Penelitian ini yang berjudul” Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Konsumsi Batu Bara, Heat Rate dan Efisiensi Termal PLTU Indoeka Unit 1” Sebelum peneliti melakukan perhitungan untuk mencari nilai SFC, plant heat rate dan efisiensi termal, peneliti harus melakukan pemilihan data dari database. Pemilihan data ini mengacu pada beban pembangkitan paling rendah dan data selanjutnya beban naik 10 MW dari data sebelumnya, hingga didapat beban maksimum dari kelipatan 10 MW. Didapatkan nilai beban sebesar 40 MW, 50 MW, 60 MW, 70 MW, 80 MW dan 90 MW dari pemilihan data. Seiring dengan naiknya nilai pembebanan listrik, maka nilai SFC Nett cenderung semakin rendah. Hal ini menunjukkan bahwa pada pembebanan listrik yang tinggi, jumlah konsumsi batu

bara per kWh lebih sedikit dibandingkan pada kondisi pembebanan listrik yang rendah.. Hal ini menunjukkan bahwa pada beban yang tinggi, keandalan dari suatu unit pembangkit juga akan semakin tinggi. Sebaliknya pada beban yang rendah, keandalan dari suatu unit pembangkit juga akan semakin menurun. Seiring dengan naiknya nilai pembebanan listrik, maka nilai dari efisiensi termal PLTU Indoeka Unit 1 juga semakin tinggi dan dapat dikatakan efisien. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi beban yang tinggi, persentase antara energi yang dihasilkan dengan energi yang dikonsumsi semakin tinggi juga.(Imam et al., 2024)

Penelitian ini yang berjudul “Analisis Pengaruh Perubahan Pembebanan Listrik Terhadap Konsumsi Spesifik Bahan Bakar Pembangkitan, Heat Rate dan Efisiensi Pada Unit 1 PLTU Kendari-3” Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar beban unit PLTU Kendari-3 akan semakin semakin baik performa plantnya. Hal tersebut ditunjukkan dengan kenaikan efisiensi 25,30 % pada beban 30 MW Net naik menjadi 29,89 % pada beban 40 MW Net, dan naik menjadi 30,40 % pada beban 50 MW Net. Selain itu naiknya performa plant juga ditunjukkan dengan turunnya nilai Gross Plant Heat Rate (GPHR) dari 3.399,06 kkal/kWh pada beban 30 MW Net turun menjadi 2.876,62 kkal/kWh pada beban 40 MW Net, dan turun menjadi 2.828,46 kkal/kWh pada 50 MW Net.(Alber & Kiono, 2022)

Penelitian ini yang berjudul” Analisis Pengaruh High Pressure Heater terhadap Turbine Heat Rate dan Pemakaian Batu Bara di PLTU 1 X 600 MW” Penelitian ini membahas tentang besarnya kenaikan turbine heat rate dan pemakaian bahan bakar batubara pada salah satu high preassure heater out service di PLTU yang berkapasitas 1 x 600 MW, serta kerugian yang di dapatkan pada setiap kenaikan 1 °C. Analisis dilakukan menggunakan metode perhitungan indirect , dengan hasil penelitian yang di dapatkan adalah pada saat high pressure heater tidak berfungsi dan pada saat high pressure heater out service di dapatkan hasil perhitungan sebesar 7779,561 [kJk W/h] pada saat tidak berfungsi dengan coal flow sebesar 349,4746 [t/h]. Lalu pada saat high pressure heater out service di dapatkan hasil lebih besar, yaitu sebesar 8111,3648 [kJk W/h] dan coal flow sebesar 364,3561 [t/h]. Serta kerugian sebesar Rp. 1.990.358.956.08.- per tahun setiap penurunan 1 °C.(Mulyo Sugeng et al., 2023)

Penelitian ini yang berjudul “Analisis Pengaruh Laju Uap Terhadap Efisiensi Turbin Uap Condensing Pada Pltu PT . XXX” Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh laju uap terhadap efisiensi turbin berdasarkan data aktual maupun data desain. Pengumpulan data dilakukan melalui metode observasi di PT. XXX pada pembangkit listrik tenaga uap. Analisis efisiensi turbin dilakukan dengan mempertimbangkan nilai laju uap serta beberapa variabel uap lainnya yang masuk dan keluar turbin, yang berhubungan dengan daya yang dihasilkan oleh generator dan kerja turbin. Efisiensi turbin juga dapat dihitung dengan membandingkan daya output dan input yang dihasilkan oleh turbin. Berdasarkan hasil analisis, ditemukan bahwa efisiensi turbin bervariasi antara nilai tertinggi sebesar 90,5% dan terendah 56,1%, yang dipengaruhi oleh data laju uap, daya aktual, kerja, dan heat rate turbin. Hasil analisis menunjukkan bahwa perubahan efisiensi turbin uap dipengaruhi oleh aliran massa uap, serta faktor-faktor lain seperti tekanan, temperatur, dan entalpi. (Irwan Suiaman , Agus Suprayitno, 2022)

Penelitian ini yang berjudul “Pengaruh Beban Listrik Terhadap Laju Aliran Uap Masuk Pada Turbin Uap Sebagai Penggerak Generator” Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh beban terhadap laju aliran massa, daya turbin generator, serta efisiensi turbin uap. Metode penelitian yang digunakan adalah dengan mengumpulkan data langsung dari boiler dan turbin selama satu minggu. Nilai entalpi diperoleh dari tabel uap dan digunakan untuk perhitungan yang mendukung tujuan penelitian. Berdasarkan hasil penelitian, laju aliran massa tertinggi tercatat pada hari Rabu sebesar 3,48 kg/s, sementara daya keluaran generator tertinggi tercatat pada hari Minggu sebesar 1661 KW. Perhitungan efisiensi generator rata-rata tertinggi pada hari Minggu mencapai 57,11%. Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa semakin besar beban pada turbin, laju aliran massa uap akan semakin besar, yang juga dipengaruhi oleh tekanan uap yang masuk dan keluar turbin. Beban rata-rata yang ditanggung oleh generator selama satu minggu adalah 885 KW dengan laju aliran massa 3,81 kg/s. Daya rata-rata yang dihasilkan oleh generator selama satu minggu adalah 1600 KW, dengan efisiensi rata-rata sebesar 55,52% pada hari Minggu. (Of et al., 2022)

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pemakaian turbin uap (PLTU) dalam memenuhi kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di PTPN IV Unit PKS Berangir. Berdasarkan kajian dan analisis data yang dilakukan di lapangan, diketahui bahwa pemakaian turbin uap maksimum mencapai 574,19 kW, atau 71,77% dari kapasitas turbin yang tersedia. Pemakaian bahan bakar cangkang dan fiber adalah sebesar 132,96 ton per hari dengan menghasilkan energi sebesar 13.780,56 kWh per hari, sementara pemakaian bahan bakar minyak adalah 1200 liter per hari dengan energi yang dihasilkan sebesar 1200 kWh per hari. Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pemakaian energi di PTPN IV Unit PKS Berangir masih dalam batas kapasitas turbin yang terpakai, dengan pemakaian bahan bakar cangkang dan fiber yang jauh lebih banyak serta menghasilkan energi yang lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar minyak. (Wahyu Ramadhoni, Faisal Irsan Pasaribu, Budhi Santri Kusuma, Elvy Sahnur Nasution, Noorly Evalina, 2024)

Penelitian ini yang berjudul “Analisis Performansi Turbin Uap dengan Kapasitas 115 MW dan Putaran 3000 Rpm pada Unit 1 PLTU Labuhan Angin Sibolga” bertujuan untuk menganalisis perhitungan Turbin Heat Rate (THR) dan efisiensi turbin pada PLTU Labuhan Angin. Berdasarkan analisis performa Turbine Heat Rate (THR) dan efisiensi turbin untuk Unit 1 PLTU Labuhan Angin selama periode 1 Mei 2024 hingga 10 Mei 2024, disimpulkan bahwa Turbine Heat Rate (THR) rata-rata adalah 2,83 kJ/kWh, yang menunjukkan efisiensi konversi energi yang baik. Efisiensi turbin rata-rata sebesar 35,294%. Hasil ini menunjukkan bahwa turbin uap dengan kapasitas 115 MW dan putaran 3000 Rpm pada Unit 1 PLTU Labuhan Angin Sibolga memenuhi standar kelayakan operasional sesuai dengan standar turbin uap di Indonesia (30%–40%). (Sihombing et al., 2024)

Penelitian ini yang berjudul “Analisis Kinerja Turbin Uap Unit 1 Di Cirebon Power” Parameter kinerja turbin uap dapat dilihat dari *heat rate*, efisiensi termal, dan efisiensi *isentropik*. Turbine *heat rate* adalah parameter yang menunjukkan jumlah energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu kilowatt-hour (kWh) listrik. Efisiensi mengukur rasio antara kerja yang dilakukan oleh mesin dengan total kerja yang dimasukkan ke dalam mesin. Untuk menghitung parameter-

parameter tersebut, dapat digunakan metode langsung. Nilai turbine heat rate aktual terendah tercatat pada bulan Januari sebesar 7909,33 kJ/kWh, sementara yang tertinggi terjadi pada bulan April dengan nilai 8116,52 kJ/kWh. Efisiensi termal tertinggi tercatat pada bulan Januari sebesar 45,52%, dan yang terendah pada bulan April sebesar 44,36%. Efisiensi isentropik untuk turbin LP berada dalam kisaran 90,53–91,10%, untuk turbin IP antara 86,46–86,76%, dan untuk turbin HP berkisar antara 81,25–82,73%. (Setiawan et al., 2022)

Penelitian ini yang berjudul” Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Heat Rate pada Unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jeneponto 2 135 MW. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh perubahan beban terhadap heat rate beserta nilai optimumnya. Heat rate dapat dinyatakan dalam GPHR (Gross Plant Heat Rate) dan NPHR (Net Plant Heat Rate). Metode yang digunakan yaitu mengidentifikasi dan mengumpulkan data tiga tahun terakhir yang berhubungan dengan penentuan heat rate, kemudian dilakukan pengolahan data. Pada tahun 2018 diperoleh keadaan optimum unit 1 pada beban 125 MW, NPHR 2432,68 kcal/kWh, sedangkan Unit 2 pada beban 135 MW dengan nilai NPHR 2489,65 kcal/kWh. Pada tahun 2019 nilai optimum unit 1 pada beban 137 MW dengan nilai NPHR 2517,07 kcal/kWh, adapun unit 2 juga berada pada beban 137 MW dengan NPHR 2527,48, selanjutnya pada tahun 2020 nilai optimum Unit 1 berada pada beban 135 MW, NPHR 2529,5 kcal/kWh, sedangkan Unit 2 pada beban 137 MW, NPHR 2567,53 kcal/kWh. Dapat disimpulkan bahwa kenaikan beban menyebabkan penurunan heat rate. (Nur Hamzah^{1*}, A.M. Shiddiq Yunus², 2020)

Penelitian ini yang berjudul” Analisis Termodinamika Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap Kapasitas 1500 kW. Pembangkit Listrik digunakan untuk membangkitkan listrik dari berbagai sumber energi seperti pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). PLTU ini memiliki kapasitas 1500 kW dengan data data yang telah diperoleh tekanan dan temperatur berdasarkan tabel properties of saturated water (*liquid–vapor*) temperature maka dapat dilakukan perhitungan kualitas campuran pada kondensor dan efisiensi termal pada suatu siklus pembangkit listrik tersebut. Uap jenuh memasuki turbin pada siklus Rankine ideal pada tekanan 20 bar dan mengalami ekspansi pada turbin sampai pada tekanan kondensor 2,5 bar. Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan efisiensi termal siklus pembangkit

listrik tenaga uap tersebut, kemudian setelah dilakukan perhitungan didapatkan hasil efisiensi termal siklus tersebut adalah 19,3%. Efisiensi termal dapat ditingkatkan dengan melakukan penurunan suhu dan tekanan pada kondensor, meningkatkan tekanan pada boiler, dan meningkatkan suhu ketika fluida kerja dalam keadaan superheated.(Irawan et al., 2021)

2.2 Landasan Tiori

2.2.1 Turbin PLTU

Turbin uap adalah mesin yang mengubah energi yang terkandung dalam uap menjadi gerak putar pada porosnya. Uap (steam) yang dihasilkan dari kartel uap, setelah melalui proses yang diinginkan, digunakan untuk memutar turbin melalui alat pemancar (*nozzle*) dengan kecepatan relatif. Kecepatan relatif uap yang keluar dari *nozzle* ini membentur sudu penggerak, yang menghasilkan putaran. Uap yang keluar dari *nozzle* diarahkan ke sudu-sudu turbin yang berbentuk lengkungan dan dipasang di sekitar roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah-celah antara sudu turbin dibelokkan mengikuti lengkungan sudu tersebut..(Jamaludin, 2017)

Sistem turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Dengan kata lain mengubah energi entalpi fluida menjadi energi mekanik. Turbin uap merupakan salah satu komponen dasar dalam pembangkit listrik tenaga uap, dimana komponen utama dari sistem tersebut yaitu : Ketel, kondensor, pompa air ketel, dan turbin itu sendiri. Uap yang berfungsi sebagai fluida kerja dihasilkan oleh ketel uap, yaitu suatu alat yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap yang akan menghasilkan energi listrik.(Kering & Hendana, 2023)

Turbin uap adalah mesin yang berfungsi untuk mengubah energi termal uap menjadi energi mekanik, yang selanjutnya digunakan untuk menghasilkan listrik. Turbin uap bekerja dengan mengubah energi kinetik uap yang melalui sudu-sudu turbin menjadi energi mekanik yang dapat menggerakkan generator listrik. Di Pabrik Kelapa Sawit (PKS), turbin uap digunakan untuk menggerakkan generator listrik dengan memanfaatkan uap yang dihasilkan dari pemanasan air di boiler yang menggunakan bahan bakar dari serabut dan cangkang kelapa sawit.



Gambar 2.1 Turbin Uap (Yanti et al., 2024)

Pada gambar pembangkit listrik di atas yang mengubah energi kinetik dari fluida menghasilkan energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. pemanasan air didalam boiler menghasilkan steam bertekana yang nantinya digunakan oleh turbin uap untuk menghasilkan energi listrik, dapat dilihat bahawasannya besaran daya dan juga efesiensi yang dihasilkan turbin dapat dipastikan apakah turbin dalam kondisi baik atau tidak

2.2.2 Penyebab Kegagalan Kinerja Turbin Uap

Kegagalan pada sisi pembangkit umumnya disebabkan oleh gangguan pada peralatan penggerak utama. Apabila penggerak utama mengalami kerusakan atau tidak beroperasi secara optimal, maka akan berdampak langsung pada kinerja turbin yang tidak mampu menghasilkan daya mekanik secara maksimal. Konsekuensinya, daya yang dikonversi menjadi energi listrik oleh generator pun menurun secara signifikan. Hal ini sangat krusial, terutama di pusat-pusat pembangkit listrik skala besar, di mana generator merupakan salah satu komponen inti yang harus dijaga kestabilan dan keandalannya untuk memastikan kontinuitas suplai energi listrik kepada konsumen. Oleh karena itu, pemeliharaan berkala dan pemantauan kondisi penggerak utama menjadi aspek penting dalam sistem manajemen keandalan pembangkit listrik. (Mirza et al., 2024)

1. Tidak berfungsi pada *sefty valve*
 peralatan yang di design untuk melindungi suatu peralatan lain dari Internal *Pressure* yang di akibatkan suatu kondisi yang tidak normal. Katup pengaman di desain untuk membuka sendiri bila ia mendapat tekanan sebesar tekanan yang telah ditulis pada *rapture disk (set pressure)*. Penyebab gagal fungsi adalah macet pada bagian tidak bergerak/statis dengan bagian bergerak/dinamis, sehingga tidak dapat bekerja saat unit *verpressure*. Kelancaran proses produksi dipengaruhi oleh keandalan dan ketersediaan (*avaibility*) alat yang dipergunakan. Alat yang rusak secara mendadak dapat mengganggu rencana peroduksi Yang telah ditetapkan. Kinerja unit pembangkit tenaga listrik dapat di lihat dari kemampuannya untuk memberikan indeks EAF (*Equivalent Availability Factor*) atau Faktor Kesiapan yang tinggi, memperkecil downtime dan outage, namun tetap beroperasi dengan aman. Untuk mencapai indeks EAF tinggi, tidak terlepas dari sistem proteksi untuk mendukung keandalan unit pembangkit itu sendiri. Salah satu cara melindungi unit dari hal-hal yang dapat mengurangi nilai keandalan Satu unit adalah Dengan menempatkan suatu alat proteksi, yaitu safety valve yang terpasang pada steam drum HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*). Alat tersebut sangat penting digunakan melindungi unit dari kegagalan operasi, dalam hal ini over pressure..(Sahlan et al., 2015)



Gambar 2.2 *sefty valve* (PTPN III Torgamba,2024)

2. Getaran Pada Turbin

Penyebab terjadinya getaran pada turbin bisa berasal dari berbagai faktor mekanis, dinamis, maupun operasional. Berikut adalah beberapa penyebab umum getaran pada turbin. Terdapat berbagai macam getaran pada rotor, dan baik produsen maupun operator turbin telah melakukan berbagai upaya untuk mengatasi masalah ini karena getaran tersebut secara langsung membatasi kinerja turbin. Dua jenis getaran rotor yang paling menonjol menunjukkan ketergantungan yang kuat terhadap beban kerja turbin. Salah satunya dikenal sebagai “*steam whirl*” (pusaran uap), yang terjadi akibat distribusi tekanan dinamis yang tidak merata secara melingkar di area labirin pada ujung atau poros. Jika kondisi ini dibiarkan atau dipaksakan untuk terus beroperasi, getaran tersebut dapat berakibat fatal.

3. Tidak Respon Pada *Governor*

Salah satu penyebab *governor* tidak respon yaitu hidraulik kontrol *valve Hingh Pressure* yang dimana ditemukan kondisinya mengalami kebocoran di sisi dalam *straigh* bar serta *busingnya*. Kebocoran tersebut diperkirakan terjadi dikarenakan gesekan antara komponen *straingh* bar

dengan *Bushing* bar bagian dalam, karena selama beroperasi hindaulik kontrol *valve* terus bekerja naik-turun sesuai dengan tekana oli yang diterimanya, oleh karenanya bagian yang saling bergesekan tersebut lebih cepat mengalami keausan.(Pribadyo & Said, 2018)



Gambar 2.3 Governor (PTPN III Torgamba,2024)

4. Kehausan Pada *Carbon Ring*

Kearausan karbon ring (*carbon ring wear*), yang umumnya digunakan sebagai segel poros (*shaft seal*) pada turbin, dapat menyebabkan berbagai masalah serius pada sistem sehingga dapat menimbulkan kebocoran pada steam dan akan mejadi timbulnya getaran dan ketidak stabilan pada shaf



Gambar 2.4 carbon ring (PTPN III Aek Raso,2024)

Dari beberapa penyebab kegagalan dari kinerja turbin uap kita dapat Disimpulkan bahwa Pada turbin uap untuk memaksimalkan efisiensi, rugi-rugi (*losses*) aerodinamik, kebocoran uap dan pada sistem control pada aliran uap di turbin harus tetap menjadi perhatian utama agar tetap terjamin tidak terjadi losses, baik pada peralatan komponen yang berputar seperti rotor dan shaft, sangat berpengaruh pada daya output yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga uap dan berpengaruh pada penurunan enthalpy dan laju aliran uap yang merupakan parameter-parameter dalam menentukan beban energi yang dihasilkan pada unit pembangkit tenaga turbin uap

2.2.3 Prinsip kerja turbin

Uap bertekanan yang dihasilkan boiler, dialirkan melalui pipa menuju Turbin melalui *governor valve* turbin, disini *governor valve* berfungsi untuk mengatur seberapa besar volume steam yang dibutuhkan turbin untuk menggerakkan *shaft* generator yang disesuaikan dengan beban daya yang ditanggung generator, semakin besar beban daya listrik maka semakin besar steam yang dibutuhkan, maka secara otomatis *governor valve* akan membuka lebih besar agar steam yang masuk juga akan semakin banyak, begitu juga sebaliknya dari *governor valve* kemudian steam dialirkan melewati *nozzle-nozzle* yang mengarah langsung ke sudu-sudu pada cakram yang ada pada turbin yang terhubung langsung ke input *shaft*, disini tekanan steam akan memaksa masuk melewati sudu-sudu, sehingga cakram akan berputar, dan input *shaft* juga berputar . Kemudian hasil putaran dari Input Shaft in akan diteruskan melalui *gear-gear* yang ada pada *gear box* turbin untuk diturunkan menjadi kecepatan putaran (rpm) yang dibutuhkan oleh *shaft* generator, dan kemudian hasilnya putaran yang sudah dikonversi tersebut akan memutar output shaft yang terhubung ke shaft Rotor pada generator dengan sambungan *coupling joint*, sehingga akhirnya generator akan menghasilkan listrik.

Biasanya rpm pada input shaft turbin masih cukup tinggi bisa mencapai sekitar 5000 rpm, sedangkan kebutuhan rpm generator umumnya hanya 1500 rpm, untuk itulah *gear box* berfungsi untuk menurunkan rpm dari 5000 rpm menjadi 1500 rpm. Maka dari Pembangkit listrik tenaga uap bekerja yang merubah secara langsung energi panas menjadi energi mekanik, yang mana uap (steam) yang

diproduksi melalui boiler yang berbahan bakar viber, digunakan untuk memanaskan air dalam boiler hingga menjadi uap bertekanan tinggi. Setelah melalui poses tersebut maka uap yang dihasilkan dapat digunakan untuk memutar turbin melalui alat menyembur (*nozzle*) dengan kecepatan yang sudah di atur, dimana kecepatan uap membentur suduh penggerak sehingga dapat menghasilkan putaran. (Arrazi, 2023)

Kerja turbin beroperasi dengan cara *nozzle* menyembrotkan uap (steam) ke sudu-sudu gerak turbin sehingga sudu turbin tersebut berputar yang mengakibatkan proses energi kinetik menjadi energi mekanik, dan dapat dinyatakan dalam satuan (kJ/kg)

$$WT = h_4 - h_5 \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

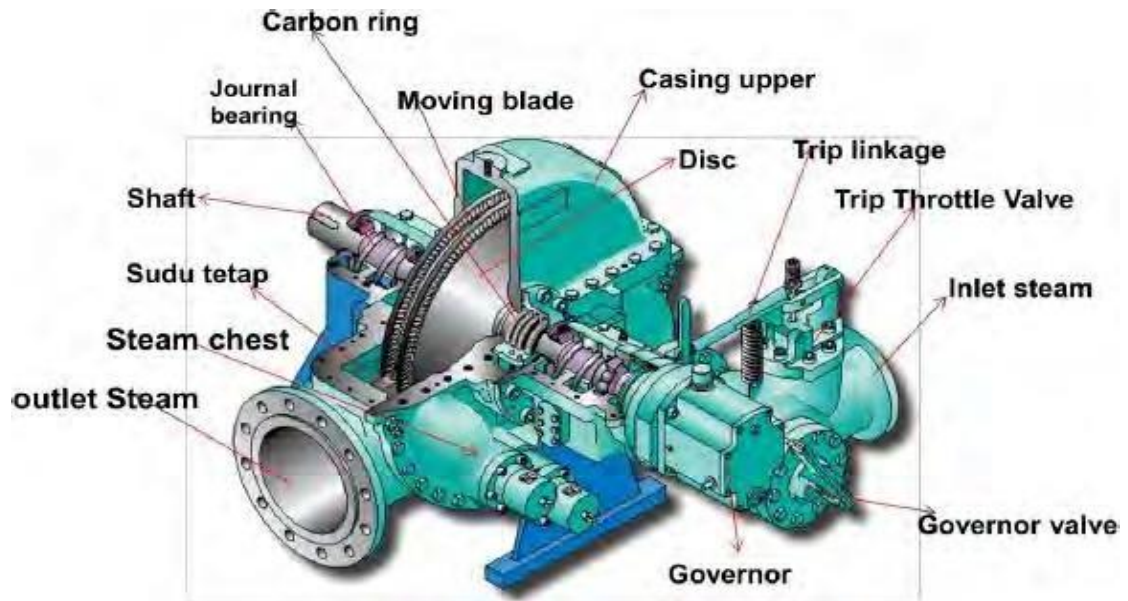
WT = Kerja turbin uap (kJ/kg)

h_4 = Entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)

h_5 = Entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)

2.2.4 Komponen-Komponen Turbin Uap

Turbin uap sendiri, terdapat cukup banyak komponen yang masing-masing berguna untuk memberikan kinerja yang baik. Masing-masing komponen ini saling menyatu agar bisa menghasilkan uap dalam jumlah yang pas agar bisa dikonversi menjadi listrik. Berikut merupakan bagian dari turbin uap dapat diperhatikan pada Gambar



Gambar 2.5 Komponen Turbin Uap (Arrazi, 2023)

Berikut merupakan komponen-komponen dari turbin uap :

1. *Casing Upper*
2. Rotor.
3. *Shaft Seal.*
4. *Turbine Bearing*
5. *Steam Cheast*
6. *Impuls Stage.*
7. *Moving Blade*
8. *Carbon Ring dan Spring*
9. *Spacer Carbon Ring*
10. *Buffle Oil*

11. *Nozzel*
12. *Guide Ring*
13. *Lay Shaft*
14. *Copling*
15. *Governol control mekanis*
16. *Steam strainer*

1) *Casing*

Casing turbin merupakan penutup luar dari turbin yang berfungsi tidak hanya sebagai pelindung sudu-sudu turbin, tetapi juga sebagai struktur penopang bagi berbagai komponen internal turbin lainnya. Selain memberikan perlindungan mekanis terhadap elemen-elemen penting di dalamnya, casing turbin juga membantu menjaga keselarasan komponen, mengurangi kebocoran fluida kerja, serta meredam getaran dan suara yang dihasilkan selama proses operasional turbin.



Gambar 2.6 *Casing* (PT.Batu Ampare,2024)

2) Rotor dan *Wheel*

Bagian turbin yang berputar yang terdiri dari poros, sudu turbin atau deretan sudu turbin yaitu *stationary Blade* dan *Moving Blade*. Untuk turbin bertekanan tinggi, khususnya untuk turbin jenis reaksi maka perlu di *balance*. untuk mengimbangi gaya reaksi yang timbul secara aksial terhadap poros. Pada sistem turbin, terutama turbin tekanan tinggi (*high-pressure turbine*) yang menggunakan prinsip kerja turbin reaksi, rotor *wheel* memainkan peran krusial dalam mentransfer energi dari fluida kerja ke poros penggerak



Gambar 2.7 Rotor dan *Wheel* (PT.Batu Ampare,2024)

3) *Shaft Seal*

Shaft seal merupakan salah satu komponen penting dalam sistem turbin, yang terletak di antara poros (*shaft*) dan casing turbin. Fungsinya adalah untuk mencegah kebocoran uap air dari dalam turbin yang dapat terjadi melalui celah antara poros dan *casing* akibat adanya perbedaan tekanan antara bagian dalam dan luar turbin. Selain itu, *shaft seal* juga berperan dalam mencegah udara luar masuk ke dalam sistem turbin selama turbin beroperasi, yang jika dibiarkan dapat mengganggu tekanan internal dan menurunkan efisiensi termal sistem. Dalam operasi bertekanan tinggi dan bersuhu ekstrem, *efektivitas shaft seal* menjadi sangat krusial untuk menjaga kestabilan performa turbin, mencegah kehilangan energi, serta melindungi komponen internal dari kontaminasi dan kerusakan.

4) *Turbine Bearing*

Bearing / bantalan pada turbin uap memiliki fungsi sebagai berikut:

- a. Menahan agar komponen rotor diam
- b. Menahan dari beratnya rotor
- c. Menahan berbagai gaya tidak stabil dari uap air terhadap sudu turbin
- d. Menahan ketidakseimbangan karena kerusakan sudu
- e. Menahan gaya aksial pada beban listrik yang bervariasi

Dari fungsi *bearing* di atas terdapat Jenis jenis bearing di antaranya adalah:

a. *Journal Bearing*

Jurnal bearing merupakan salah satu komponen vital dalam sistem turbin yang berfungsi sebagai bantalan untuk menopang dan menstabilkan poros rotor selama beroperasi. Komponen ini dirancang untuk mengurangi gesekan antara poros yang berputar dan struktur pendukungnya, sekaligus menjaga keseimbangan serta ketepatan posisi rotor. Dengan kemampuannya menahan beban radial dan menjaga kelurusan poros, jurnal bearing berperan penting dalam menjamin kinerja turbin yang efisien,



Gambar 2.8 *Journal Bearing* (PT.Sawita Estate,2024)

b. *Thrust Bearing*

Thrust bearing merupakan salah satu komponen penting dalam sistem turbin yang berfungsi untuk menahan dan menerima gaya aksial, yaitu gaya yang sejajar terhadap poros akibat gerakan maju mundur rotor selama operasi. Bantalan ini dirancang khusus untuk menjaga posisi aksial poros agar tetap stabil, serta mencegah pergeseran atau gesekan yang berlebihan yang dapat menyebabkan kerusakan pada komponen lain.



Gambar 2.9 *Thrust Bearing* (PT.Sodetan Pom,2024)

5) *Steam Chest*

Steam chest merupakan salah satu komponen penting dalam sistem turbin uap, yang berfungsi sebagai ruang atau saluran penempatan bagi kutub-kutub *governor* (*governor valve* atau kontrol *nozzle*), yang berperan dalam mengatur dan mengendalikan aliran uap masuk ke dalam turbin. Komponen ini menjadi titik awal pengendalian aliran energi termal dari uap bertekanan tinggi menuju sudu-sudu turbin, sehingga sangat menentukan stabilitas dan efisiensi kerja turbin secara keseluruhan. *Steam chest* dirancang untuk menahan tekanan tinggi serta memastikan bahwa distribusi uap ke turbin berlangsung secara terkontrol dan merata sesuai dengan kebutuhan beban.



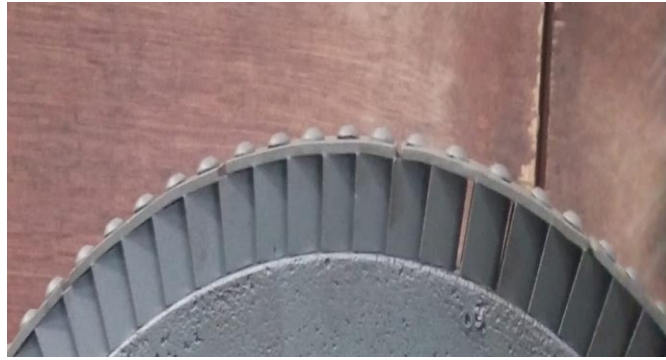
Gambar 2.10 *Steam Chest* (PTPN IV Mayang,2024)

6) *Impuls Stage*

Impulse stage merupakan tahap pertama pada bagian sudu turbin, yang berperan penting dalam mengubah energi kinetik dari uap bertekanan tinggi menjadi energi mekanik rotasi. Pada tahap ini, terdapat sebanyak 116 sudu yang dirancang secara presisi untuk mengarahkan dan mengatur aliran uap secara efisien ke rotor turbin. Karena berada pada tingkat awal, impulse stage harus mampu menahan tekanan dan suhu yang tinggi, serta memastikan transfer energi yang optimal guna mendukung kinerja keseluruhan sistem turbin

7) *Moving Blade*

Moving blade merupakan deretan sudu turbin yang berfungsi untuk menerima aliran uap bertekanan tinggi (*steam*) dan mengubah energi termal menjadi energi kinetik rotasi. Sudu-sudu ini terpasang pada rotor dan akan berputar ketika terkena semburan uap, sehingga menghasilkan gerakan mekanik yang selanjutnya digunakan untuk memutar poros turbin dan menggerakkan generator. Desain aerodinamis dari *moving blade* memungkinkan efisiensi konversi energi yang tinggi, serta tahan terhadap tekanan, suhu tinggi, dan gaya sentrifugal selama operasi berkecepatan tinggi



Gambar 2.11 *Moving Blade* (PTPN III Pks Rambutan,2024)

8) *Carbon Ring dan Spring*

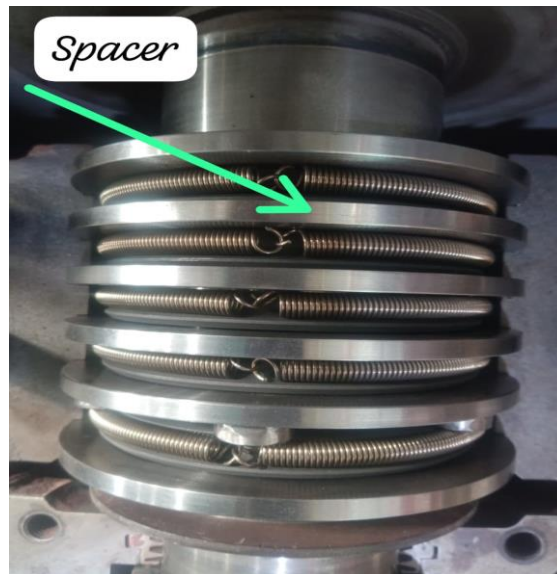
Carbon ring merupakan salah satu komponen penting dalam sistem turbin, yang terletak di antara poros (*shaft*) dan casing. Komponen ini berfungsi sebagai elemen penyekat (*seal*) yang dirancang khusus untuk mencegah kebocoran uap air bertekanan tinggi dari dalam turbin, yang berpotensi keluar melalui celah sempit antara poros dan casing akibat perbedaan tekanan antara bagian dalam dan luar turbin. Selain itu, carbon ring juga berperan dalam mencegah masuknya udara luar ke dalam ruang turbin selama turbin beroperasi, yang dapat mengganggu tekanan internal, merusak keseimbangan termodinamis, serta menurunkan efisiensi keseluruhan sistem pembangkitan.



Gambar 2.12 *Carbon Ring Dan Spring* (PTPN III Pks Rambutan,2024)

9) *Spacer Carbon Ring*

Salah satu komponen stator dari turbin uap yang berfungsi untuk menahan carbon ring agar tidak bergeser sehingga membuat steam dapat keluar melalui celah-celah carbon tersebut



Gambar 2.13 *spacer Carbon Ring* (PT.Silaut Pom,2024)

10) *Buffle Oil*

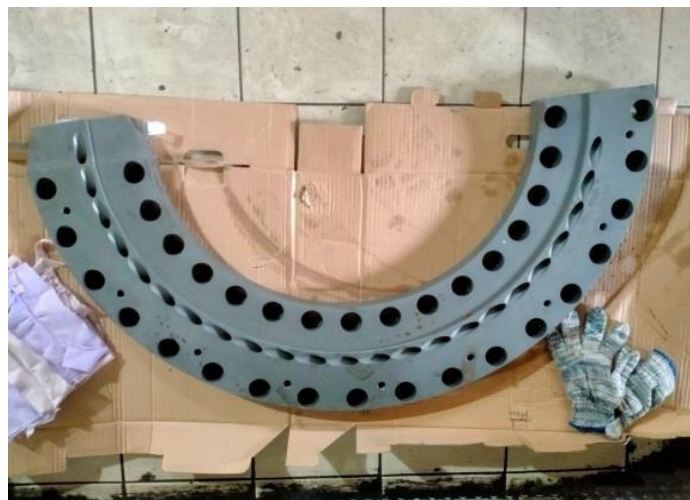
Suatu Komponen dalam sistem pelumasan turbin uap yang berfungsi untuk mencegah kebocoran pada oli ketika rotor *wheel* berputar dan *buffle oil* membantu mengarahkan aliran *oil* ke bagian yang membutuhkan pelumasan



Gambar 2.14. *buffle Oil* (PT.Sodetan Pom,2024)

11) *Nozzle*

Nozzle merupakan komponen penting dalam sistem turbin yang berfungsi untuk menyebarkan dan mengarahkan aliran uap (*steam*) bertekanan tinggi ke permukaan sudu-sudu pada tingkat pengaturan turbin. Melalui desainnya yang menyempit dan melengkung, *nozzle* mempercepat aliran uap sehingga mengubah energi tekanan menjadi energi kinetik. Energi ini kemudian diarahkan secara presisi ke sudu-sudu turbin untuk menghasilkan putaran rotor secara efisien. Peran *nozzle* sangat krusial dalam memastikan distribusi uap yang optimal, mengatur arah dan kecepatan aliran, serta meningkatkan efisiensi konversi energi dalam proses kerja turbin.



Gambar 2.15. *Nozzle* (PT. Silaut Pom,2024)

12) *Guide Ring*

Guide ring merupakan komponen penting dalam sistem turbin yang berfungsi untuk membagi atau memisahkan aliran uap ke dalam beberapa tingkat tekanan, khususnya dari turbin tekanan rendah. Komponen ini berperan dalam mengarahkan aliran uap secara terstruktur agar sesuai dengan urutan tingkat tekanan di dalam turbin. Di dalam guide ring, terdapat elemen yang disebut diafragma, yang dilengkapi dengan *nozzle*. *Nozzle* ini berfungsi sebagai sudu pengarah (*stator blade*) yang mengarahkan dan mempercepat aliran uap menuju sudu gerak (*moving blade*), sehingga meningkatkan laju

uap dan memastikan proses konversi energi dari uap menjadi energi mekanik berlangsung secara efisien dan terkontrol. *Guide ring* juga membantu menjaga kestabilan aliran dan mendukung efisiensi termalturbin secara keseluruhan



Gambar 2.16. *Guide Ring* (PT.Silaut Pom,2024)

13) *Lay Shaft*

Lay shaft merupakan salah satu komponen penting dalam sistem turbin uap yang berfungsi sebagai perantara mekanis untuk mentransmisikan dan mengubah kecepatan putaran turbin melalui mekanisme pengatur kecepatan (*governor*). Dengan adanya *lay shaft*, sistem pengendalian kecepatan turbin menjadi lebih responsif dan stabil, sehingga dapat menjaga performa dan efisiensi kerja turbin dalam berbagai kondisi operasi



Gambar 2.17. *Lay Shaft* (PT.sawita Estate,2024)

14) *Copling*

Coupling merupakan salah satu komponen mekanis penting yang digunakan untuk menghubungkan dua poros secara aksial, yaitu poros turbin dengan poros *gearbox* (*pinion gear*) pada ujungnya. Fungsinya adalah untuk mentransmisikan daya mekanis yang dihasilkan oleh turbin ke sistem pemindah daya berikutnya, seperti *gearbox* atau generator, dengan efisiensi tinggi dan tanpa kehilangan momen puntir yang signifikan. Selain mentransfer tenaga, *copling* juga dirancang untuk mengakomodasi ketidaksejajaran kecil antara kedua poros (*misalignment*), baik secara aksial, radial, maupun angular, serta untuk meredam getaran dan beban kejut (*shock load*) yang dapat terjadi selama proses operasional



Gambar 2.18. *Copling* (PT.Tapian Nandenggan Langga Payung Mill,2024)

15) *Governol Control*

Mekanis *Governol control* mekanis berupa *linkage*, *lever*, *rod end* yang berfungsi sebagai *hendle* antara *governol* dengan *steam cheast* yang untuk mengatur buka tutup *steam valve*



Gambar 2.19. *Governor Control* (PT.Sawita Estate,2024)

Empat fungsi utama sistem *governor* adalah sebagai berikut:

- a. Membatasi kenaikan kecepatan ke batas yang dapat diterima pada variasi beban (saat unit terputus secara tiba – tiba dari beban).
- b. Mengontrol daya yang dihasilkan dengan mengontrol posisi pengaturan uap katup *governing* (katup bahan bakar dalam turbin uap).
- c. Mengontrol kecepatan turbo generator selama awal berjalan dan sinkronisasi.
- d. Mencocokkan daya yang dihasilkan dengan daya yang dibutuhkan oleh beban menanggapi perubahan frekuensi hanya ketika generator beroperasi di *islanding* terpisah dari jaringan.

Fungsi pertama ini sangat krusial untuk menjamin keselamatan dan ketersediaan operasional pabrik. Jika pemutus hubungan generator terlepas dari jaringan saat turbin beroperasi secara normal, maka kecepatan poros akan meningkat tajam akibat hilangnya gaya torsi (*counter-torque*) yang sebelumnya diberikan oleh generator. Dalam situasi ini, aliran uap harus segera dikurangi untuk membatasi lonjakan kecepatan. Sebagian besar turbin dilengkapi dengan sistem trip *overspeed* terpisah sebagai perlindungan tambahan jika sistem *governor* gagal. Sistem ini bekerja dengan menggunakan baut *overspeed* yang menonjol dari poros turbin. Ketika kecepatan melampaui ambang batas yang ditentukan, baut ini akan mengaktifkan tuas mekanis, yang kemudian menyebabkan penurunan tekanan oli

hidrolik dari sistem *governor*, sehingga katup pengatur uap otomatis menutup. Saat terjadi penolakan beban (*load rejection*) yaitu ketika pemutus hubungan generator terbuka dari jaringan listrik sistem sensor percepatan akan mengatur katup uap dengan respons cepat. Tujuannya adalah mengendalikan kerja katup turbin agar kecepatan putaran turbin tetap stabil, menghindari kondisi *overspeed*

16) *Steam Strainer*

Steam strainer merupakan salah satu komponen penting dalam sistem turbin uap yang berfungsi sebagai alat penyaring (*filter*) untuk memastikan uap yang masuk ke dalam turbin dalam kondisi bersih dan bebas dari kontaminan, seperti partikel padat, endapan silika, karat, maupun kotoran lainnya. Keberadaan *steam strainer* sangat krusial untuk melindungi komponen internal turbin, seperti sudu-sudu (*blade*), rotor, dan *casing*, dari potensi kerusakan akibat abrasi, erosi, atau penumpukan kerak silika yang dapat mengganggu aliran uap dan menurunkan efisiensi termal sistem



Gambar 2.20 *Steam Strainer* (PT.Sawita Estate,2024)

2.2.5 Jenis-jenis Turbin

1) Turbin Uap

Turbin uap adalah mesin konversi energi yang mengubah energi potensial dan energi panas yang terkandung dalam uap air menjadi energi

mekanik berupa putaran poros. Energi mekanik ini kemudian dimanfaatkan untuk menggerakkan generator listrik sehingga menghasilkan tenaga listrik



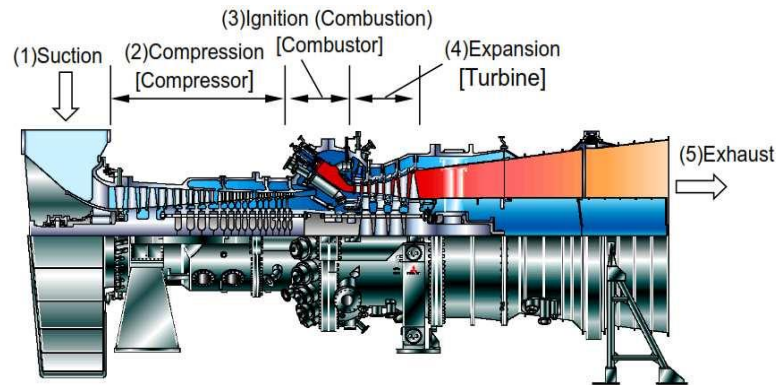
Gambar 2.21 Turbin Uap (Kering & Hendana, 2023)

Pada gambar 2.21 menunjukkan prinsip kerja pada turbin uap sebagai berikut:

- a. Prinsip Kerja: Menggunakan uap air yang dihasilkan oleh boiler untuk memutar rotor. Uap yang bertekanan tinggi diterapkan pada bilah turbin, yang kemudian mengubah energi uap menjadi energi mekanik.
- b. Penggunaan: Banyak digunakan dalam pembangkit listrik tenaga uap dan aplikasi industri yang membutuhkan energi besar.

2) Turbin Gas

Turbin gas adalah suatu mesin konversi energi yang memanfaatkan hasil pembakaran bahan bakar untuk menghasilkan energi mekanik berupa putaran poros. Energi mekanik tersebut selanjutnya dapat digunakan untuk menggerakkan generator listrik.



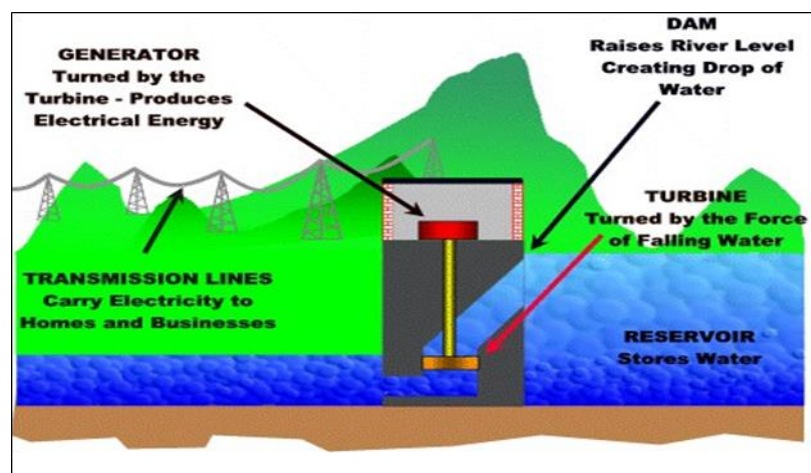
Gambar 2.22 Turbin Gas (BA Wibowo, 2022)

Pada gambar 2.22 menunjukan perinsip kerja pada turbin gas sebagai berikut:

- a. Prinsip Kerja: Menggunakan gas panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar untuk memutar rotor. Turbin ini sangat efisien dalam konversi energi gas panas menjadi tenaga mekanik.
- b. Penggunaan: Digunakan pada pembangkit listrik, pesawat terbang, dan kendaraan berbasis turbin

3) Turbin Air

Turbin air merupakan mesin konversi energi yang memanfaatkan energi potensial dan kinetic dari aliran air untuk menghasilkan energi mekanik dalam bentuk putaran poros energi mekanik selanjutnya digunakan untuk menggerakkan generator sehingga menghasilkan energi listrik



Gambar 2.23 Turbin Air (Hidayat, 2019)

Pada gambar 2.23 menunjukan perinsip kerja turbin air sebagai berikut:

- a. Prinsip Kerja: Menggunakan energi kinetik dari aliran air untuk

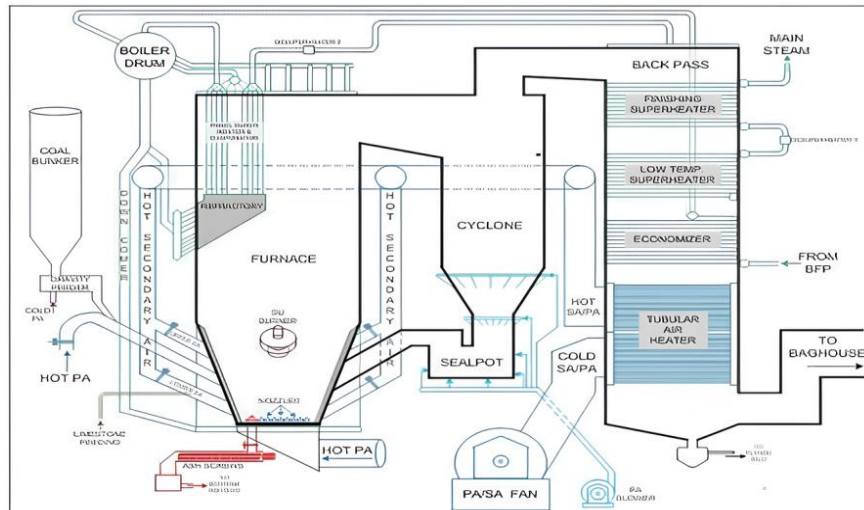
memutar rotor. Air yang jatuh atau mengalir melalui turbin akan memberikan energi untuk memutar baling-baling turbin.

- b. Penggunaan : Turbin air digunakan di berbagai tempat yang memiliki sumber air yang cukup kuat

2.2.6 Boiler

Boiler merupakan alat yang menghasilkan steam atau uap dari proses pemanasan dengan menggunakan bahan bakar cangkang dan fiber. Steam tersebut akan digunakan sebagai media pemanas, pengering dan pengawet pada hamper seluruh stasiun proses pengolahan di pabrik kelapa sawit. Jika air direbus menjadi uap pada tekanan dan temperatur tertentu, volumenya akan meningkat 1600 kali lipat. *Steam* yang digunakan untuk menggerakkan turbin pada pabrik kelapa sawit adalah *superheated* steam (uap kering) yang sudah tidak mengandung kelembaban air sedikitpun (Yanti et al., 2024)

Boiler adalah suatu perangkat mesin yang berfungsi untuk merubah air menjadi uap. Dimana proses air agar dapat menjadi uap dapat terjadi dengan cara memanaskan air yang berada didalam *boiler* dengan memanfaatkan panas dari hasil aktifitas pembakaran bahan bakar tersebut. Pada umumnya *boiler* terbagi menjadi dua jenis, yaitu *fire tube boiler* (*boiler* pipa api) dan *water tube boiler* (*boiler* pipa air). Pada *fire tube boiler* biasanya digunakan untuk kapasitas steam yang relatif kecil dengan tekanan rendah hingga sedang. Proses pengapiannya terjadi didalam pipa kemudian panas yang dihasilkan dari proses pengapian tersebut dihantarkan langsung kedalam *boiler* yang berisi air tersebut.(Irawan et al., 2021)



Gambar 2.24 Diagram boiler (Pamungkas et al. 2021)

Pada gambar diatas menunjukan bahwa perinsip kerja pada *boiler* sebagai berikut:

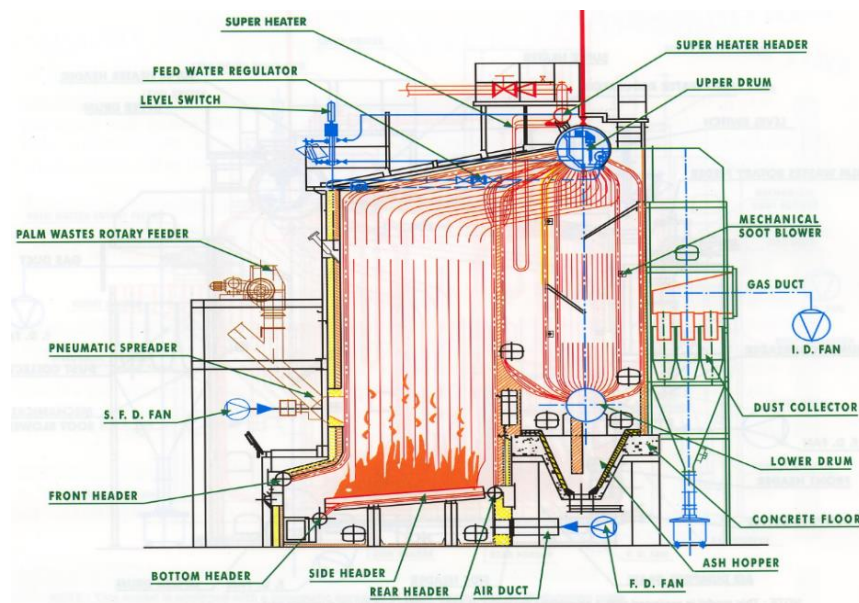
- 1) Pertama air diisi ke *boiler* hingga mengisi penuh seluruh luas permukaan pemindah panas. Didalam *boiler* air ini dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap.
- 2) Kedua, bahan bakar dibakar diruang bakar untuk menghasilkan panas
- 3) Ketiga, air yang dipanaskan berubah menjadi uap bertekanan
- 4) Ke empat: Uap panas dialirkan melalui pipa atau dinding boiler untuk memutar generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energilistrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan, sehingga ketika turbin berputar dihasilkan energi listrik dari terminal output generator
- 5) Kelima, 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*

Dengan kondisi super panas $h_3 = h_4$ dan keluaran dari turbin berbentuk uap jenuh

2.2.7 Jenis - Jenis Boiler

1) *Boiler Water Tube*

Boiler water tube adalah jenis boiler di mana air mengalir melalui pipa-pipa (tubes) yang dikelilingi oleh gas panas hasil pembakaran bahan bakar. Dalam desain ini, air yang mengalir di dalam pipa-pipa dipanaskan oleh gas panas dan kemudian berubah menjadi uap, yang selanjutnya digunakan untuk berbagai keperluan, seperti pembangkit listrik atau pemanas industri



Gambar 2.25 *Boiler water Tube* (Rahardja et al., 2022)

Secara umum dapat dijelaskan kelebihan dan kekurangan pada gambar *boiler water tube* sebagai berikut:

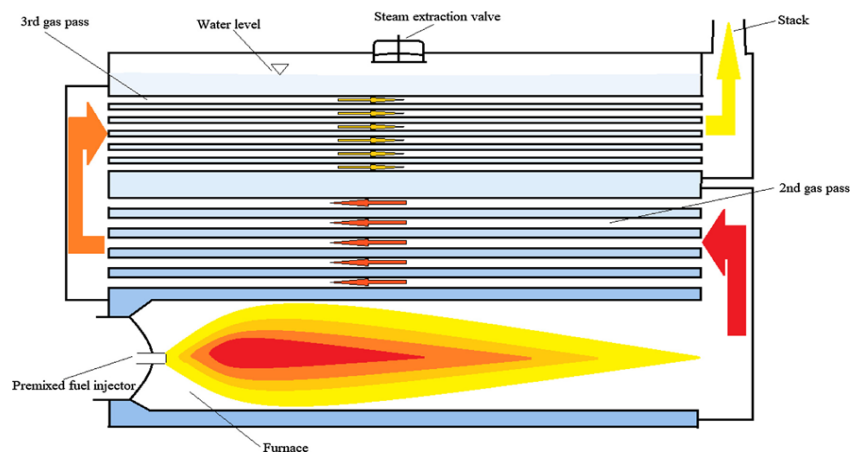
a. Kelebihan *boiler water tube*

1. Kemampuan tekanan dan suhu tinggi *boiler* jenis ini lebih cocok untuk aplikasi yang membutuhkan tekanan dan suhu tinggi karena memiliki desain yang dapat menangani tekanan tinggi dengan lebih baik.
2. Efisiensi lebih tinggi *boiler water tube* cenderung lebih efisien dalam menghasilkan uap dengan kapasitas besar, karena sistem pembakarannya lebih baik dan dapat mencapai temperatur tinggi lebih cepat.

3. Pengendalian api lebih baik desainnya memungkinkan kontrol pembakaran yang lebih efisien, yang mendukung efisiensi keseluruhan.
 4. Kapasitas besar biasanya digunakan dalam pembangkit listrik atau aplikasi industri besar karena dapat menghasilkan uap dalam jumlah besar.
- b. Kekurangan *boiler water tube*
1. Kapasitas Besar: Biasanya digunakan dalam pembangkit listrik atau aplikasi industri besar karena dapat menghasilkan uap dalam jumlah besar.
 2. Pemeliharaan yang Lebih Rumit: Perawatan *boiler water tube* lebih rumit, karena pipa-pipa air yang kecil dapat mengalami penyumbatan atau kerusakan lebih cepat.
- b. Dimensi Lebih Besar: *Boiler* jenis ini umumnya lebih besar dan memerlukan ruang lebih untuk instalasi, terutama pada sistem dengan kapasitas tinggi.

2) *Boiler Fire Tube*

Boiler fire tube adalah jenis *boiler* di mana gas panas atau api hasil pembakaran bahan bakar mengalir melalui pipa-pipa yang dikelilingi oleh air. Pada desain ini, api atau gas panas berada di dalam pipa, sementara air yang akan dipanaskan mengelilingi pipa-pipa tersebut. Proses ini memungkinkan transfer panas dari gas ke air di sekitarnya, yang kemudian menghasilkan uap.



Gambar 2.26 *Boiler fire Tube* (Tognoli et al., 2017)

Secara umum dapat dijelaskan kelebihan dan kekurangan pada gambar *boiler fire tube* sebagai berikut:

a. Kelebihan *boiler fire tube*

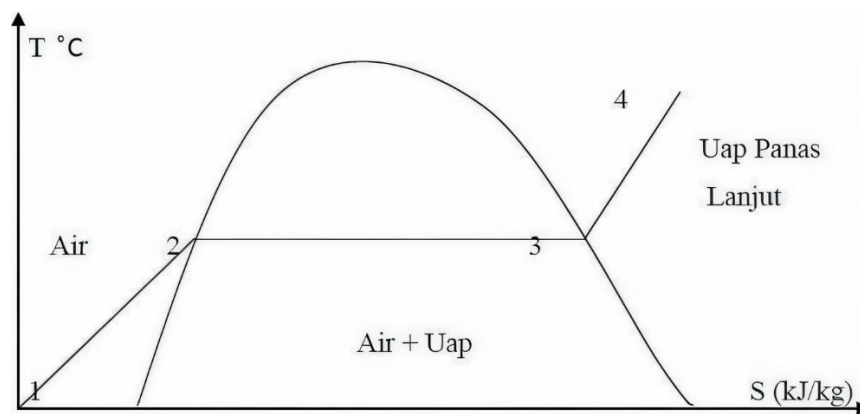
1. Sederhana dan Ekonomis: *Boiler fire tube* lebih sederhana dalam desain dan lebih murah dalam hal biaya instalasi dan pemeliharaan, terutama untuk kapasitas kecil hingga menengah.
2. Mudah dioperasikan: *Boiler* ini lebih mudah dioperasikan karena desainnya yang lebih sederhana dan tidak memerlukan pengaturan yang rumit.
3. Ukuran Kompak: Biasanya memiliki ukuran yang lebih kompak dan lebih mudah dipasang dalam ruang terbatas, sehingga cocok untuk aplikasi industri kecil dan menengah.
4. Cocok untuk Beban Uap Rendah hingga Sedang: *Boiler* ini lebih cocok untuk aplikasi dengan kebutuhan uap rendah hingga sedang.

b. Kekurangan *boiler fire tube*

1. Kapasitas Terbatas: *Boiler fire tube* umumnya hanya cocok untuk aplikasi dengan kapasitas uap kecil hingga menengah. Pada kapasitas besar, *boiler* jenis ini kurang efisien dibandingkan *boiler water tube*.
2. Keterbatasan Tekanan Tinggi: *Boiler fire tube* biasanya tidak dapat beroperasi pada tekanan sangat tinggi, karena pipa api yang lebih kecil tidak dirancang untuk menahan tekanan tinggi.
3. Pemeliharaan yang Lebih Sering: *Boiler fire tube* memerlukan pemeliharaan lebih sering, terutama pada bagian pipa api, karena bisa mengalami penumpukan kotoran atau kerak yang dapat mengurangi efisiensi.
4. Efisiensi Lebih Rendah pada Beban Besar: Pada aplikasi dengan beban uap yang sangat besar, efisiensi *boiler fire tube* dapat menurun, karena distribusi panasnya yang kurang optimal pada kapasitas tinggi.

2.2.8 Peroses Pembentukan Uap

Pembentukan uap bergantung pada tekanan dan temperatur, dan diupayakan agar berada pada tekanan konstan. Bila 1 kg air pada temperatur 200°C dipanaskan dalam bejana tertutup dengan tekanan konstan 1 atm, uap mulai terbentuk saat titik didih tercapai uap ini disebut uap basah karena masih bercampur dengan butiran air. Jika dipanaskan lebih lanjut, uap basah berubah menjadi uap jenuh, di mana uap sudah dalam wujud gas sepenuhnya. Jumlah panas yang dibutuhkan untuk mengubah 1 kg air mendidih menjadi uap jenuh pada tekanan konstan disebut panas laten. Jika pemanasan dilanjutkan, temperatur uap jenuh meningkat menjadi uap panas lanjut (*superheated vapor*).



Gambar 2.27 Peroses Pembentukan Uap (Prasojo. F. F., 2022)

Secara umum pada gambar 2.27 Proses pembentukan uap di boiler dimulai dengan pembakaran udara dan bahan bakar di dapur, diikuti oleh aliran gas hasil pembakaran melalui *evaporator*, *superheater*, *air heater*, dan akhirnya dibuang ke atmosfer melalui cerobong asap (*chimney*). Air pengisi ketel diproses di stasiun *water treatment*, dimasukkan ke daerator untuk dipanaskan, lalu ke evaporator, dan selanjutnya dipanaskan pada *superheater* untuk menghasilkan uap panas lanjut. Molekul-molekul air pada permukaan logam bergerak bebas dengan kecepatan tertentu dan tetap dalam lingkungan air karena adanya gaya tarik-menarik antara molekul air

2.2.9 *Saturated Steam*

Saturated steam, atau uap jenuh, adalah uap air yang terbentuk ketika air mendidih pada suhu dan tekanan tertentu di mana fase cair dan fase uap berada dalam kondisi kesetimbangan termodinamika. Pada kondisi ini, uap belum menerima tambahan panas melebihi titik jenuhnya (*saturation temperature*), sehingga masih mengandung kandungan air dalam bentuk mikro-droplet atau berada tepat di ambang perubahan fase. Uap jenuh memiliki karakteristik penting, yaitu suhu dan tekanan yang saling bergantung satu sama lain. Artinya, setiap tekanan jenuh memiliki suhu jenuh yang spesifik, dan sebaliknya.

Uap lanjut dari penguapan cairan disebut uap jenuh (*saturated steam*) sepanjang temperatur dan tekanan uap sama seperti cairan jenuh yang terjadi. Uap jenuh dapat digambarkan juga sebagai uap pada temperatur dimana pendinginan uap lanjut disebabkan oleh sebagian uap mengembun dan dengan cara tersebut struktur molekul cairan kembali lagi. Hal tersebut penting untuk dipahami bahwa temperatur jenuh benda cair (temperatur pada waktu cairan akan menguap jika panas ditambahkan) dan temperatur jenuh uap (temperatur pada saat uap akan mengembun jika panas dibuang) akan memberikan tekanan yang sama dan cairan tidak akan cair lagi pada temperatur di atas temperatur jenuh, sedangkan uap tidak akan tetap uap pada temperatur di bawah temperatur jenuh. Uap pada temperatur di atas temperatur jenuh adalah uap panas lanjut. Jika setelah penguapan, uap dipanaskan sehingga temperatur naik di atas penguapan cairan, uap dikatakan panas lanjut (*superheated*) (Manggala et al., 2020)

2.2.10 *Superheated Steam*

Meningkatkan suhu pada saat fluida kerja berada dalam keadaan *superheated* kerja bersih maupun masukan panas meningkat sebagai hasil dari pemanasan berlebih pada uap ke suhu yang lebih tinggi. Efek keseluruhannya adalah peningkatan efisiensi termal, karena suhu rata-rata di mana panas ditambahkan meningkat. *Superheating* uap ke suhu yang lebih tinggi memiliki efek lain yang sangat diinginkan. (Irawan et al., 2021).

Superheater konveksi dibagi menjadi dua jenis berdasarkan aliran gas asap dan uap, antara lain:

1. *Superheater* Aliran Sejajar (*Parallel Flow*)

Dalam jenis ini, aliran gas buang (gas asap) dan aliran uap bergerak searah, yaitu menuju arah yang sama sepanjang permukaan penukar panas. Konfigurasi ini dikenal sebagai aliran sejajar (*parallel flow*) dalam sistem perpindahan panas. Karena arah aliran keduanya sejajar, perbedaan suhu antara gas panas dan uap akan menurun secara bertahap sepanjang jalur perpindahan panas. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa suhu gas panas dan suhu uap cenderung mendekati satu sama lain saat mereka mengalir bersama, sehingga gradien suhu sebagai pendorong utama perpindahan panas semakin kecil di sepanjang permukaan penukar. Akibatnya, laju perpindahan panas menjadi tidak optimal, dan efisiensi termal sistem cenderung lebih rendah dibandingkan dengan konfigurasi lain seperti aliran berlawanan arah (*counterflow*), yang mampu mempertahankan perbedaan suhu yang lebih besar sepanjang penukar panas. Meskipun desain aliran sejajar memiliki keuntungan dalam hal konstruksi yang lebih sederhana dan biaya yang lebih rendah, penggunaannya biasanya dibatasi pada aplikasi di mana perbedaan suhu awal sangat besar atau efisiensi bukan menjadi prioritas utama.

2. *Superheater* Aliran Berlawanan (*Counter Flow*)

Pada tipe ini, arah aliran uap dan gas asap saling berlawanan. Perbedaan suhu yang lebih besar antara gas panas dan uap bisa dipertahankan lebih lama. Dengan temperatur antara gas masuk dan uap keluar menyebabkan perbedaan suhu pipa, yang dapat menimbulkan tegangan dan cepat merusak pipa *superheater* sehingga efisiensi perpindahan panasnya lebih tinggi dibandingkan sistem aliran sejajar. Konfigurasi ini memungkinkan terciptanya perbedaan suhu yang lebih besar antara uap dan gas panas sepanjang jalur perpindahan panas, sehingga efisiensi termal dari proses pemanasan uap menjadi lebih tinggi dibandingkan sistem aliran searah (*parallel flow*).

2.2.10 Temperature

Suhu adalah parameter dasar yang mencerminkan tingkat energi termal dalam suatu sistem. Ini sangat penting dalam berbagai bidang ilmu dan aplikasi, mulai dari kehidupan sehari-hari hingga sistem industri canggih seperti turbin. Pengaruh suhu merupakan faktor paling penting dalam hal menghasilkan energi listrik. Semakin tinggi suhu yang diberikan maka semakin besar nilai output yang dihasilkan (Pasaribu et al., 2019)

Suhu suatu parameter fisika dasar yang mencerminkan tingkat energi termal atau panas dalam suatu sistem. Suhu menunjukkan seberapa panas atau dinginnya suatu benda, yang secara mikroskopis berhubungan dengan energi kinetik rata-rata partikel-partikel penyusun benda tersebut. Pengukuran suhu sangat penting dalam berbagai bidang ilmu dan aplikasi, mulai dari aktivitas sehari-hari, pengelolaan lingkungan, hingga dalam sistem industri dan teknologi canggih seperti pembangkit listrik, turbin gas, dan mesin termal lainnya. Dalam konteks pembangkitan energi listrik, pengaruh suhu menjadi faktor krusial yang sangat menentukan efisiensi dan output energi yang dihasilkan. misalnya pada turbin uap atau turbin gas, maka semakin besar energi kinetik yang dapat dihasilkan oleh fluida kerja, yang kemudian meningkatkan daya output listrik yang dihasilkan oleh generator.

2.2.11 Termodinamika

Termodinamika adalah cabang ilmu kimia yang menerapkan hukum pertama termodinamika untuk mendeskripsikan perubahan energi yang terlibat dalam suatu reaksi kimia, kebanyakan reaksi kimia berlangsung dalam kondisi tekanan tetap, sehingga fungsi keadaan yang dipilih untuk menggambarkan perubahan energi dalam reaksi tersebut umumnya adalah entalpi H

Berdasarkan termodinamika seperti energi dalam uap dan entalpi H merupakan kuantitas yang berubah dengan perubahan suhu dan tekanan ketika perubahan entalpi suatu reaksi dinyatakan sebagai 100 kJ. Untuk zat murni dalam wujud padat dan cair, keadaan standar didefinisikan sebagai keadaan zat tersebut pada tekanan 1 bar dan suatu suhu T , untuk setiap nilai T , ada suatu keadaan standar pada tekanan 1 bar, jadi sebenarnya kosa kata keadaan standar hanya berasosiasi dengan satu nilai tekanan yaitu 1 bar, dan tidak merujuk pada satu nilai suhu

1. Hukum Termodinamika ke 0

Termodinamika adalah ilmu tentang energi, yang membahas hubungan antara panas dan kerja, Energi dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk lain baik secara alami maupun hasil rekayasa. Termodinamika adalah suatu energi yang bisa dirubah dari satu bentuk menjadi bentuk lain tanpa ada pengurangan atau penambahan. Prinsip termodinamika ini disebut sebagai prinsip konservasi atau kekekalan energi. dalam kehidupan manusia sehari-harinya membutuhkan energi. Dalam setiap harinya membutuhkan energi salah satu contohnya energi panas. Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan maka berkembang juga berbagai teknologi, berbagai macam-macam bentuk renovasi mekanisme bertujuan membantu manusia dalam menjalankan kegiatan sehari-harinya. (Edi et al., 2023)

2. Hukum Termodinamika Pertama

Hukum pertama termodinamika merupakan hukum konservasi energi bahwa untuk setiap sistem tertutup yang membentuk satu siklus, jumlah netto kerja yang diberikan ke sekeliling sistem adalah sebanding dengan jumlah netto kalor yang diambil dari sistem pertambahan energi kinetik dan energi potensial, akibat dari gaya luar seperti gaya gravitasi dan lain- lain (Edi et al., 2023)

a. Entalpi

Entalpi adalah istilah dalam termodinamika yang menyatakan jumlah energi internal dari suatu sistem termodinamika ditambah energi yang digunakan untuk melakukan kerja. Dari tinjauan, entalpi tidak bisa diukur namun yang bisa dihitung adalah nilai perubahannya. perubahan entalpi antara dua keadaan sistem dapat dihitung dengan cukup akurat menggunakan data termodinamika seperti kapasitas kalor dan suhu. Nilai perubahan entalpi ini sangat berguna dalam menentukan apakah suatu proses bersifat eksotermik (melepaskan panas) atau endotermik (menyerap panas), serta dalam perancangan sistem teknik seperti mesin pembakaran, pendingin, dan pembangkit listrik. Untuk mendapatkan nilai entalpi pada penelitian ini dapat menggunakan steam tabel yang bersifat saturated. Pada perhitungan ini dapat menggunakan cara interpolasi dimana hal ini dimaksud untuk menentukan

nilai yang berada diantara dua nilai yang diketahui. Interpolasi ini didasarkan pada teori perbandingan. Untuk mencari nilai entalpi keluaran turbin dalam kondisi isentropis dapat menggunakan persamaan berikut:

$$h_2s = h_f + x (h_g - h_f) \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

h_f = nilai entalpi saturated liquid berdasarkan tekanan uap keluar turbin

x = nilai kualitas uap

h_g = nilai entalpi saturated vapor berdasarkan tekanan uap keluar turbin

Adapun untuk mempermudah perhitungan entalpi dapat menggunakan aplikasi. Aplikasi yang digunakan untuk mempermudah perhitungan yaitu menggunakan software Steam tab. Aplikasi ini merupakan perangkat lunak yang menyediakan data yang akurat seperti nilai entalpi, dan entropi pada kondisi saturated maupun pada kondisi superheated. Berikut ini merupakan hasil perhitungan entalpi berdasarkan tekanan uap masuk turbin dan tekanan uap keluar turbin menggunakan aplikasi Steam tab. (Muharrir & Ibnu Hajar, 2019)

3. Hukum Termodinamika Kedua

Hukum kedua termodinamika menyatakan perbedaan kualitas diantara dua bentuk energi dalam suatu siklus, kerja diberikan kepada sekeliling dengan imbalan pengambilan kalor dari sekeliling oleh sistem, tetapi besarnya kerja yang dihasilkan tidak sama dengan besarnya kalor yang diambil. Berarti bahwa kerja yang dihasilkan selalu lebih kecil dari kalor yang diserap, sehingga efisiensi suatu siklus termodinamika selalu kurang dari 100%. Dengan kata lain, untuk menghasilkan sejumlah kerja, jumlah kalor yang diberikan ke sistem harus lebih besar dari kerja yang diperoleh. Hukum ini juga menyatakan bahwa tidak mungkin suatu sistem memindahkan kalor dari tempat bersuhu rendah ke tempat bersuhu tinggi tanpa tambahan kerja dari luar. Artinya, proses seperti itu memerlukan energi eksternal, seperti pada mesin pendingin atau pompa kalor. (Edi et al., 2023)

a. Entropi

Pengertian lain yang dihasilkan oleh hukum kedua termodinamika ialah salah satu peranan penting, yaitu entropi. Suatu kesimpulan dari hukum kedua

termodinamika adalah pada suatu sistem tertutup yang mengalami proses-proses reversibel akan terdapat perubahan nilai sifat dari tingkat keadaan 1 ke tingkat keadaan 2. Proses ini menggambarkan perubahan keadaan sistem yang mengikuti hukum konservasi energi, namun dengan memperhitungkan aspek kualitas energi yang dinyatakan melalui perubahan entropi. Dengan kata lain, entropi memberikan gambaran tentang bagaimana energi dalam sistem berubah bentuk dan tingkat ketersediaannya untuk melakukan kerja. Pada proses reversibel, perubahan entropi total sistem dan lingkungannya adalah nol, yang menunjukkan efisiensi maksimal, sementara pada proses ireversibel entropi total meningkat, menandakan terjadinya kehilangan energi yang tidak dapat digunakan kembali. Oleh karena itu, pemahaman tentang entropi sangat penting dalam analisis proses termodinamika, perancangan sistem energi, serta optimasi efisiensi mesin dan pembangkit listrik, perubahan entropi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$x = \frac{S_1 - S_f}{S_g - S_f} \dots \dots \dots (3)$$

keterangan :

S_1 = nilai entropi berdasarkan tekanan uap masuk turbin

S_f = nilai entropi saturated liquid berdasarkan tekanan uap keluar turbin

S_g = nilai entropi saturated vapor berdasarkan tekanan uap keluar turbin

2.2.12 Sifat-Sifat Termodinamika

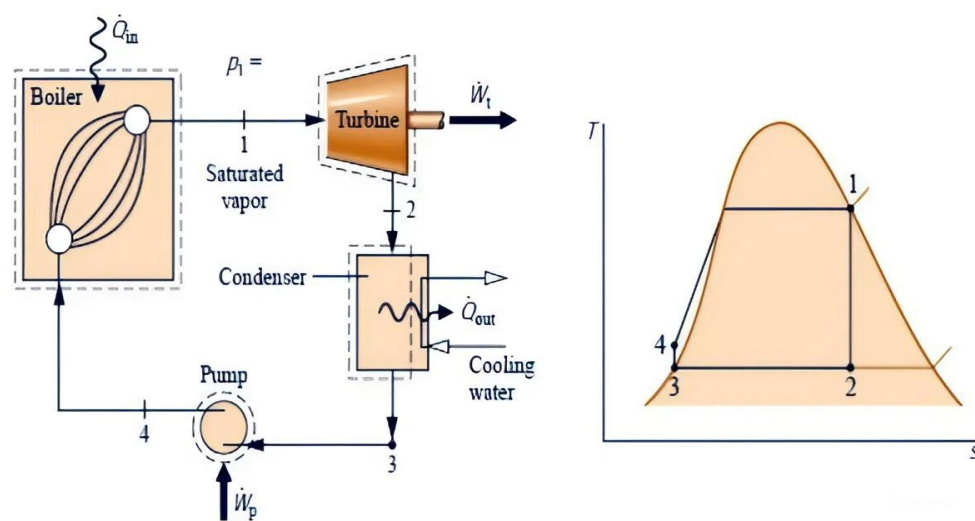
Berbagai sifat termodinamika itu tidak semuanya dapat ditentukan dengan menentukan harga dari beberapa sifat termodinamik saja. Nanti akan dikembangkan suatu aturan mengenai beberapa banyaknya sifat yang harus diketahui untuk menerapkan tingkat keadaan termodinamika, dalam berbagai yang akan digunakan teori termodinamika dilakukannya variabel dengan bebas, oleh karena itu tingkat keadaan termodinamika prediksi terhadap cara plasma tersebut mendekati keseimbangannya. Dengan berbagi-bagi sistem itu seperti tadi dibahas, berbagai tingkat keadaannya dapat dihitung dengan mengetahui sifat-sifat keseimbangan setiap bagiannya. Efisiensi(Edi et al., 2023)

2.2.13 Siklus Rankine

Siklus Rankine adalah sebuah siklus termodinamika yang dimana mengubah panas menjadi kerja. *Siklus Rankine* pertama kali ditemukan oleh William John

Maquom Rankine. *Siklus Rankine* ideal yang pada umumnya digunakan pada suatu pembangkit listrik tenaga uap. Pada siklus ini memiliki dua fase fluida kerja, yaitu liquid (cair) dan vapor (uap). Pada siklus ini pada umumnya fluida kerja yang digunakan adalah air. (Irawan et al., 2021)

Siklus yang terjadi didalam turbin adalah siklus *rankine* air pada siklus 1 dipompakan kondisinya adalah *isentropic* $s_1 = s_2$ masuk ke boiler dengan tekanan yang sama dengan tekanan di *condenser* tetapi boiler menyerap panas sedangkan *condenser* melepaskan panas kemudian dari boiler masuk ke turbin (Jamaludin, 2017)



Gambar 2.28 Siklus Rankine (Di et al., 2021)

Secara umum proses siklus rankine sederhana diatas adalah :

- Proses 1-2 : Ekspansi isentropik dari fluida kerja melalui turbin dari uap jenuh pada kondisi 1 hingga mencapai tekanan kondensor.
- Proses 2-3 : Perpindahan kalor dari fluida kerja ketika mengalir pada tekanan konstan melalui kondensor dengan cairan jenuh pada kondisi 3
- Proses 3-4 : Kompresi isentropik dalam pompa menuju kondisi 4 dalam daerah cairan hasil kompresi.
- Proses 4-1 : Perpindahan kalor ke fluida kerja ketika mengalir pada tekanan konstan melalui boiler untuk menyelesaikan siklus.

Pada kondisi super panas dan keluaran turbin berupa uap jenuh, di mana laju aliran massa yang masuk ke turbin sama dengan aliran massa yang keluar, hal ini

dapat digambarkan dengan menggunakan diagram berdasarkan hukum pertama termodinamika. Sesuai hukum ini, kerja yang dihasilkan dalam suatu proses siklus adalah hasil dari jumlah perpindahan kalor pada fluida kerja selama siklus tersebut. Oleh karena itu, dalam siklus 1–2–2–3–3–4–1, pada kenyataannya, siklus turbin uap akan menyimpang dari siklus ideal (*siklus Rankine*).

1) Laju aliran uap system pembangkit listrik

Laju massa uap mengacu pada jumlah uap yang masuk ke turbin dalam satuan waktu. Jumlah uap masuk ke dalam turbin dilakukan oleh control *valve* yang bekerja secara otomatis. Laju massa uap yang tidak optimal, misalnya terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menyebabkan turunnya efisiensi turbin. Laju massa uap masuk yang semakin tinggi akan mengakibatkan putaran poros turbin yang semakin cepat, namun belum tentu efisiensi turbin yang dihasilkan juga besar (Yanti et al., 2024)

Dengan laju aliran uap merupakan salah satu faktor utama dalam system pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Uap yang dihasilkan *boiler* yang memanaskan udara hingga berubah menjadi uap dengan tekanan dan suhu tinggi. Laju alir massa tidak hanya melibatkan perbedaan antara massa yang masuk dan keluar, tetapi perubahan massa yang mengalir melalui *boundary* dalam waktu tertentu. Jika aliran stabil, perubahan massa akan bernilai nol.

2) Perbedaan laju uap dan tekanan uap

Laju aliran uap merupakan jumlah massa uap yang mengalir melalui suatu titik dalam sistem persatuan waktu yaitu:

Satuan = kg/s (kilogram perdetik)

Tekanan uap merupakan gaya yang diberikan oleh uap persatuan luas pada dinding wadah atau pipa yaitu dengan satuan = bar

3) Rumus perhitungan dari laju aliran uap terhadap daya isentropis

$$W_{isentropis} = m \times (h_{in} - h_{out}) \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

- $W_{isentropis}$ = Daya isentropis (kw)
- m' = laju aliran massa uap (kg/s)

- h_1 =entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)
- h_2 =entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)

a. Faktor-faktor yang mempengaruhi laju aliran uap

Laju aliran uap dipengaruhi oleh beberapa factor utama sebagai berikut:

1. Tekanan dan suhu uap (Tekanan dan suhu uap yang tinggi sangat penting dalam system pembangkit listrik karena berpengaruh pada efesiensi dan daya)
2. Kapasitas *boiler* (Jika pasokan uap tidak mencukupi daya yang dihasilkan generator akan berkurang)
3. Kondisi oprasi dan pengaturan system (System control otomatis digunakan untuk menyesuaikan laju aliran uap sesuai dengan daya. Fluktasi daya listrik dapat menyebabkan perubahan dalam laju aliaran uap yang dikontrol melalui kutup pengatur uap)

b. Dampak laju aliran uap terhadap kinerja pembangkit listrik

1. Laju aliran uap terlalu rendah (Dapat menyebabkan turbin tidak berputar dengan kecapatan optimal)
2. Laju aliran uap terlalu tinggi (Dapat menyebabkan kerusakan dan keausan pada komponen turbin dan menyebabkan gangguan pada system tenaga listrik.Selain itu dapat meningkatkan suhu panas pada generaror beresiko menurunkan umur komponen)

2.2.14 GENERATOR

Generator adalah sebuah perangkat elektromekanis yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui peroses induksi elektromagnetik.proses perubahan energi ini terjadi berdasarkan hukum *faraday* tentang induksi elektromagnetik.

Tegangan atau arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik.Berdasarkan arus yang disalurkan generator dibagi menjadi dua jenis,yaitu generator AC (bolak balik) dan generator DC (searah). Generator AC atau altenator bekerja pada prinsip yang sama dari induksi elektromagnetik sebagai generator DC. Arus bolak-balik dapat dihasilkan dari putaran lilitan pada medan magnet atau purputaran medan magnet pada lilitan *stationer* (seimbang atau tidak berubah).



Gambar 2.29 Generator (Kering & Hendana, 2023)

Secara umum generator memiliki komponen didalamnya sebagai berikut:

a. Rotor

Rotor adalah bagian generator yang berputar dan biasanya membawa medan magnet, rotor digerakan oleh sumber tenaga mekanik sehingga menghasilkan putaran tertentu untuk menciptakan fluks magnetic

b. Stator

Stator merupakan salah satu komponen yang diam dari generator

Generator AC yang akan dibahas merupakan jenis mesin sinkron

frekuensi listrik yang dihasilkan bergantung pada jumlah kutub dan kecepatan putaran rotor. Listrik yang dihasilkan adalah listrik arus bolak-balik (AC). Mesin penggeraknya bisa berasal dari berbagai sumber energi, seperti tenaga air, uap, mesin diesel, dan lainnya. Generator AC banyak digunakan di pembangkit listrik besar dengan kapasitas yang relatif tinggi.

Disini, generator AC umumnya dikenal sebagai alternator atau hanya sebagai generator. Selain generator AC dengan kapasitas besar, ada juga generator dengan kapasitas yang lebih kecil, seperti yang digunakan untuk penerangan darurat atau di daerah terpencil. Generator jenis ini sering disebut sebagai *home light* atau generator set. (Pangkung et al., 2021)

Dibandingkan dengan generator DC (*Direct Current*), generator AC lebih cocok untuk pembangkit tenaga listrik berkapasitas besar. Hal ini didasarkan atas

pertimbangan- pertimbangan, antara lain:

1. Timbulnya masalah komutasi pada generator DC
2. Timbulnya persoalan dalam hal menaikkan atau menurunkan tegangan pada listrik DC. Hal ini menimbulkan persoalan untuk hantaran dalam pengiriman tenaga listrik (transmisi atau distribusi), masalah penampang kawat, tiang transmisi dan rugi- rugi.
3. Listrik AC relatif lebih mudah untuk diubah menjadi listrik DC.
4. Masalah efisiensi mesin dan lain-lain pertimbangan. Konstruksi Konstruksi generator AC lebih sederhana dibandingkan generator DC.

Bagian-bagian terpenting dari generator AC adalah :

1. Rangka Stator
dibuat dari besi tuang. Rangka stator merupakan rumah dari bagian-bagian generator yang lain.
2. Stator
Stator merupakan bagian diam dari mesin listrik yang tersusun dari tumpukan plat-plat tipis berbahan besi silikon, mirip dengan yang digunakan pada jangkar mesin arus searah (DC). Plat-plat ini disusun secara rapat untuk mengurangi rugi-rugi akibat arus *eddy* (*eddy current*) sehingga meningkatkan efisiensi mesin. Pada permukaan stator terdapat alur-alur khusus yang berfungsi sebagai tempat meletakkan lilitan kawat tembaga, yang dikenal sebagai lilitan stator. Lilitan ini berperan penting karena merupakan tempat terjadinya GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi ketika medan magnet yang berubah-ubah berinteraksi dengan kumparan. GGL induksi inilah yang menjadi sumber utama pembangkitan arus listrik pada generator, atau menghasilkan medan magnet yang dibutuhkan pada motor listrik. Desain alur dan susunan lilitan stator sangat menentukan karakteristik mesin, termasuk besarnya tegangan yang dihasilkan, frekuensi, serta efisiensi konversi energi listrik.
3. Rotor
Rotor merupakan bagian dari mesin listrik yang berfungsi sebagai komponen yang berputar dan menjadi pusat konversi energi mekanik dan listrik. Pada rotor terdapat sejumlah kutub-kutub magnet yang dililitkan

dengan kumparan kawat tembaga, yang dialiri oleh arus searah (DC). Dengan adanya aliran arus searah pada lilitan rotor ini, terbentuk medan magnet yang berinteraksi dengan medan magnet stator, sehingga menghasilkan gaya elektromagnetik yang menyebabkan rotor berputar. Sistem ini sangat penting dalam mesin listrik seperti motor DC dan generator, karena menentukan efisiensi dan kestabilan kerja mesin tersebut.

4. Slip Ring atau Cincin Geser

dibuat dari bahan kuningan atau tembaga yang dipasang pada poros dengan memakai bahan isolasi. Slip ring ini berputar bersama-sama dengan poros rotor. Jumlah slip ring ada dua buah yang masing-masing slip ring dapat menggeser sikat arang yang masing-masing merupakan sikat positif dan sikat negatif, berguna untuk mengalirkan arus penguat magnet ke lilitan magnet pada rotor.

5. Generator Penguat

generator penguat adalah suatu generator arus searah yang dipakai sebagai sumber arus. Biasanya yang dipakai adalah dinamo shunt. Generator arus searah ini biasanya dikopel terhadap mesin pemutarnya bersama generator utama. Akan tetapi sekarang banyak generator yang tidak menggunakan generator arus searah (dari luar) sebagai sumber penguat, sumber penguat diambil dari GGL sebagian kecil belitan statornya. GGL tersebut ditransformasikan kemudian disearahkan dengan penyearah elektronik sebelum masuk pada bagian penguat.

2.2.15 Daya Listrik

1. pengertian listrik

Daya listrik adalah besaran yang menunjukkan seberapa cepat energi listrik digunakan atau dihasilkan dalam suatu sistem. Satuan daya listrik adalah watt, di mana 1 watt setara dengan 1 joule per detik. Dalam sistem pembangkit listrik, daya dihasilkan oleh generator yang digerakkan oleh energi mekanik dari turbin. Secara umum, perhitungan daya listrik dapat menggunakan persamaan

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

P = daya listrik (Watt)

V = tegangan listrik (Volt)

I = arus listrik (Ampere)

$\cos \phi$ = faktor daya (power factor)

Faktor daya menggambarkan seberapa efektif energi listrik digunakan. Nilai faktor daya yang mendekati 1 menunjukkan penggunaan energi yang efisien.

2. Perhitungan konversi daya dari turbin ke generator

Pada sistem pembangkit listrik, proses konversi energi merupakan tahapan krusial yang menentukan efisiensi dan performa keseluruhan. Salah satu konversi utama terjadi antara turbin dan generator. Turbin berfungsi mengubah energi kinetik dari fluida kerja (seperti air, uap, atau angin) menjadi daya mekanik rotasional. Daya mekanik ini kemudian ditransfer ke generator yang memiliki tugas mengubahnya menjadi daya listrik.

Rumus konversi dasar adalah sebagai berikut:

$$P_{\text{generator}} = P_{\text{turbin}} \times \eta_{\text{generator}} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

$P_{\text{generator}}$ = Daya listrik yang dihasilkan generator

P_{turbin} = Daya listrik yang dihasilkan turbin

$\eta_{\text{generator}}$ = Efisiensi generator

BAB III METODOLOGI

3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian

Berikut adalah tempat dan waktu penelitian yang dilakukan oleh penulis pada penelitian Analisis Pengaruh Laju Aliran Uap Terhadap Daya Listrik Yang Dihasilkan Generator

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PTPN IV Unit Pks Berangir Stasiun Power House dan Stasiun Boiler

Tabel 3.1 Waktu penelitian

No	Uraian	Bulan Ke							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Kajian literatur								
2	Penyusunan proposal penelitian								
3	Penulisan Bab 1 sampai 3								
4	Seminar Proposal								
5	Penelitian dan pengambilan data								
6	Analisa Data								
7	Seminar hasil								
8	Sidang akhir								

3.2 Bahan Dan Alat Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini, terdapat beberapa bahan dan alat penelitian yang digunakan untuk menganalisa serta mengolah data terkait pada pengaruh laju aliran uap terhadap daya listrik generator. Adapun alat dan bahan yang digunakan sebagai berikut :

3.2.1 Alat

Alat yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah:

1. Turbin

Turbin yang digunakan di PTPN IV Unit Pks Berangir Merk Shinko type RB4M/1133818 kapasitas daya 720 kw dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3.2 Sepesifikasi turbin uap

Nama	Spesifikasi
Model/Serial	Shinko RB4M/1133818
Daya Output	720 kw
Tekanan Masuk	18 Bar
Tempratur Uap Kerja	240 °C
Tekanan Keluar	3,2 Bar
Turbin Spead	5294 rpm
Output Shaft Spead	1500 rpm

Turbin uap adalah mesin yang berfungsi untuk mengubah energi termal uap menjadi energi mekanik, yang selanjutnyan digunakan untuk menghasilkan listrik. Turbin uap bekerja dengan mengubah energi kinetik uap melalui Gnerator listrik di pabrik kelapa sawit pks



Gambar 3.1 Turbin Uap

2. *Control Panel Turbin Uap*

Control panel yang digunakan PTPN IV Pks Unit Berangir



Gambar 3.2 Control Panel Turbin Uap

3. *Pressure Gauge*

Pressure gauge adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur tingkat tekanan dalam suatu cairan atau gas



Gambar 3.3 *Pressure Gauge*

4. Temperatur *Gauge*

Alat ini digunakan Sebagai bagian dari instrumen kontrol pada turbin. sistem pendingin dan sistem buangan , temperature gauge / indikator suhu digunakan untuk melihat dan memberi peringatan bila suhu melewati batas aman.



Gambar 3.4 Temperatur *Gauge*

5. Generator

Generator merupakan salah satu komponen utama yang mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Generator yang dikopel langsung dengan turbin akan menghasilkan tegangan listrik ketika turbin berputar.



Gambar 3.5 Generator

6. Boiler

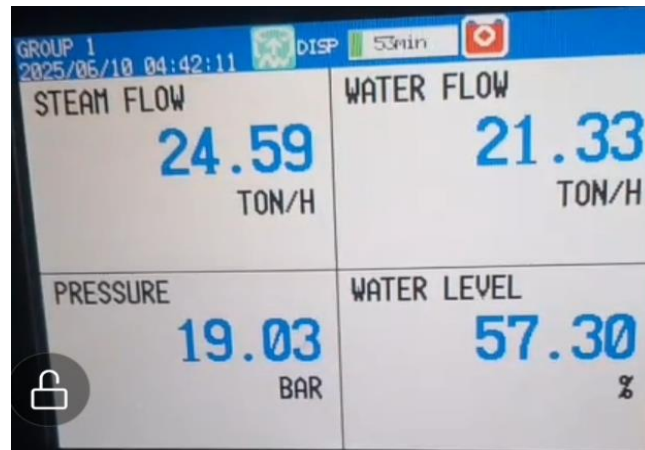
Boiler merupakan bejana tertutup yang dirancang untuk mengubah air menjadi uap melalui proses pemanasan. Proses ini memanfaatkan energi panas yang dihasilkan dari pembakaran atau sumber panas lainnya uap yang dihasilkan memiliki tekanan dan temperatur tertentu sehingga dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin Boiler yang digunakan pada PTPN IV Unit Pks Berangir Merek Maxitherm Type DLFX 22-29-P



Gambar 3.6 Boiler

7. Panel Parameter Boiler

Panel parameter untuk membaca tekanan steam, laju aliran massa dan parameter lainnya di boiler maxitherm



Gambar 3.7 Panel Parameter Boiler

8. Leptop

Leptop digunakan sebagai penyusunan laporan skripsi serta digunakan sebagai mencari referensi dan literatur, hingga analisis data dan pembuatan grafik.



Gambar 3.8 Leptop

3.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data tekanan uap masuk (bar)

2. Data tekanan uap keluar (bar)
3. Data tempratur uap (T)
4. Data laju massa uap (kg/s)

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan teknik analisa deskriptif kuantitatif berdasarkan data perimer pada control room kamar mesin. Seluruh kegiatan tersebut dilakukan pada stasiun pembangkit tenaga listrik di PTPN IV UNIT PKS BERANGIR

3.4 prosedur penelitian

1. mencatat *log sheet* harian oprator stasiun *power house* dan *log sheet* harian stasiun boiler
2. mencatat laju aliran uap dan daya output generator
3. kemudian melakukan perhitungan

3.5 Pengumpulan Data

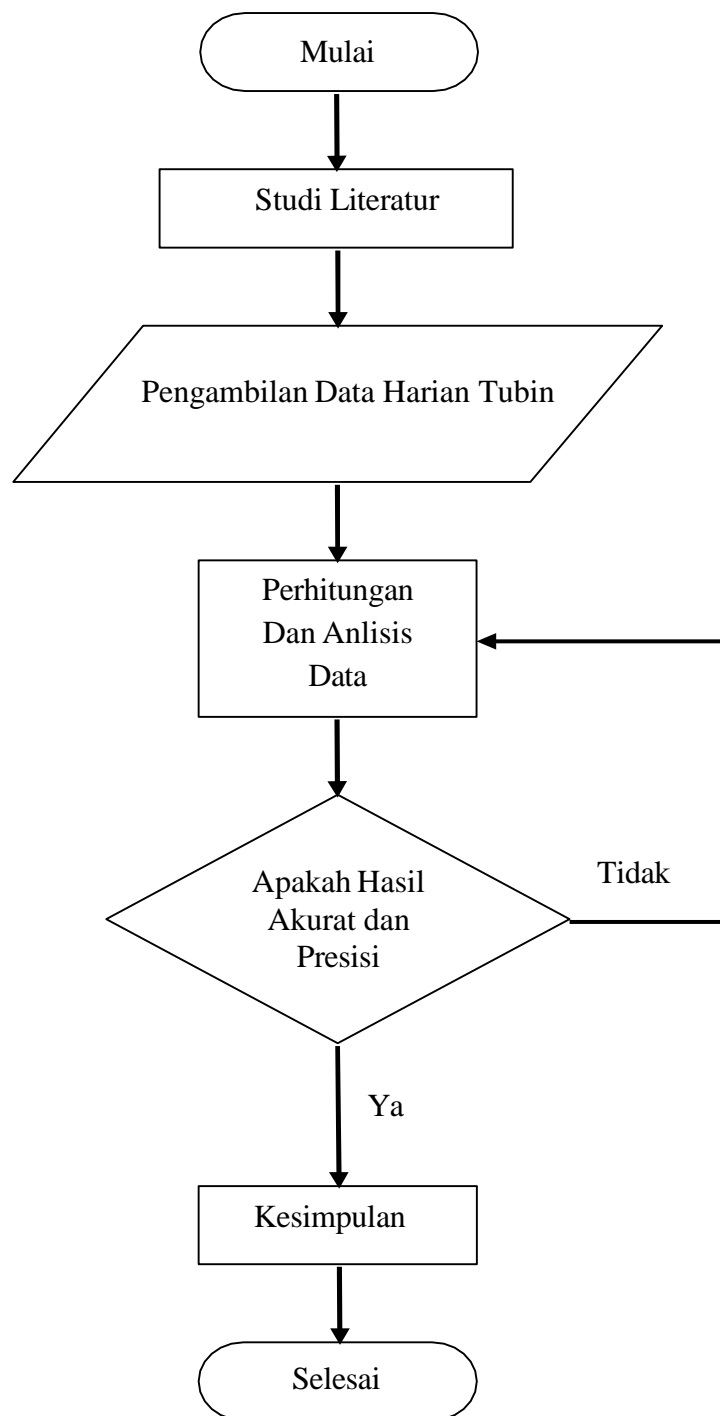
Pengumpulan data dlakukan selama 12 hari di PTPN IV Unit Pks Berangir

3.6 Pengolahan Data

langkah-langkah pengolahan data dalam penelitian ini terdiri beberapa tahapan yaitu pengolahan terkait seberapa pengaruh laju aliran uap terhadap daya listrik yang dihasilkan generator

3.7 Tahapan Penelitian

1. Melakukan observasi di lapangan.
2. Studi literatur
3. Melakukan pengambilan data primer berupa data tekanan masuk, temprature dan laju massa uap dalam waktu kurang lebih 12 hari dan juga data spesifikasi turbin uap, pada *log sheet* harian operator turbin pada kamar mesin stasiun pembangkit tenaga.
4. Melakukan Analisa terhadap data- data yang diperoleh
5. Melakukan pengolahan terhadap data-data yang diperoleh.
6. Interpretasi hasil melalui perhitungan dengan rumus dan penyajian grafik
7. Kesimpulan pada analisis tersebut



Gambar 3.9 *Flowchat*

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Spesifikasi Turbin

Pada pabrik kelapa sawit PTPN IV Unit Pks Berangir menggunakan sistem pembangkit tenaga uap (PLTU). Untuk memenuhi kebutuhan pabrik khususnya dalam pengolahan kelapa sawit (TBS), perawatan dan perbaikan menjadi aspek penting yang harus diperhatikan oleh operator boiler dan operator turbin. Untuk mendukung kelancaran operasional pada turbin uap



Gambar 4.1 Turbin Uap

Spesifikasi turbin

Model/Serial : Shinko RB4M/1133818

Daya output : 720 kw

Tekanan masuk : 18 Bar

Tekanan keluar : 240 °C

Temperatur uap : 3,2 Bar

Turbin speed : 5294 rpm

Output shaft speed : 1500 rpm

4.2 Spesifikasi Boiler

Pada pabrik kelapa sawit PTPN IV Unit Pks Berangir menggunakan boiler dengan merek MAXITHERM



Gambar 4.2 Boiler

Spesifikasi boiler

Model = DLFX 22-29-P

Serial = Mb/w – 267

Rating = 22.000 kg/hari

Design pressure = 2.900 kpa

Design temperature = 250 °C

Hydrostatic test pressure = 4.350 kpa

Heating surface = 648.99 m²

The design code = ASME SecI, 2019

Approval number = s/170/A5.03.03/v/2023

Year build = 2023

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara laju uap dengan daya listrik yang dihasilkan pada system pembangkit uap dengan tekanan sekitar antara 18-19 bar. Pengamatan dilakukan selama 12 hari berturut turut dengan mencatat tekanan, tempratur, laju aliran uap, entalpi dan daya listrik yang dihasilkan

Tabel 4.1 Data Dalam 12 Hari

N0	Hari	Tekanan Uap (Bar)	Entalpi in (kj/kg)	Laju aliran Uap (T/h)	Entalpi out (kj/kg)	Tempratur (°C)	Bpv (kg/cm ²)
1	Senin	18	2804,72	20,80	2707,37	123	2,1
2	Selasa	19	2841,75	24,70	2726,87	131	3,1
3	Rabu	19	2841,75	23,1	2725,53	131	3,0
4	Kamis	19	2841,75	21	2718,7	129	2,6
5	Jumat	18	2804,72	20,34	2705,93	120	1,9
6	Sabtu	19	2841,75	21,10	2718,7	130	2,6
7	Senin	19	2841,75	21,20	2718,7	130	2,7
8	Selasa	19	2841,75	24,50	2726,87	131	3,1
9	Rabu	19	2841,75	22	2722,82	130	2,8
10	Kamis	19	2841,75	22,40	272418	130	2,9
11	Jumat	19	2841,75	22,20	2722,82	130	2,8
12	sabtu	19	2841,75	24,80	2726,87	131	3,1

Pada tabel 4.1 menunjukan data hasil ukur yang akan dianalisa oleh peneliti yang merupakan pengambilan data di PTPN IN Unit Pks Berangir selama 12 hari berturut-turut. Data tersebut mencakup tekanan uap, tempratur uap, laju aliran uap dan entalpi uap analisis perhitungan sebagai berikut:

Rumus : $P = m \times h (h_1 - h_2)$

A. Daya listrik pada tanggal senin 18 juni 2025

Tekanan masuk turbin = 19 Bar = 1,9 MPa

Tekanan keluar turbin = 2,1 Bar

Tempratur keluar = 123°C

Entalpi masuk = 2804,72

Entalpi keluar = 2707,37

Laju aliran uap = 20,80 T/h

$$m = \text{TPH} \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$m = 20,80 \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$m = \frac{20,80}{3.600}$$

$$m = 5,80 \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned} Wisentropis &= m \times (hin - hout) \\ &= 5,80 \times (2841,75 - 2724,18) \\ &= 5,80 \times 97 \\ &= 564,63 \text{ kw} \end{aligned}$$

Maka dapat dikoversikan daya turbin ke daya generator yaitu:

$$P \text{ generator} = P \text{ turbin} \times \eta \text{ generator}$$

$$P = 564,63 \times 0,78 = 440,41 \text{ kw}$$

B. Daya listrik pada hari selasa 19 juni 2025

$$\text{Tekanan masuk turbin} = 19 \text{ Bar} = 1,9 \text{ MPa}$$

$$\text{Tekanan keluar} = 3,1$$

$$\text{Tempratur keluar} = 135^\circ\text{C}$$

$$\text{Entalpi masuk} = 2841,75$$

$$\text{Entalpi keluar} = 2726,87$$

$$\text{Laju aliran uap} = 24,70 \text{ T/h} = 6,86 \text{ kg/s}$$

$$m = \text{TPH} \times \frac{1000}{3600}$$

$$m = 24,70 \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$m = \frac{27.700}{3.600}$$

$$m = 6,86 \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned} Wisentropis &= m \times (hin - hout) \\ &= 6,86 \times (2841,75 - 2726,87) \\ &= 6,86 \times 114,88 \\ &= 788,07 \text{ kw} \end{aligned}$$

Maka dapat dikoversikan daya turbin ke daya generator yaitu:

$$P \text{ generator} = P \text{ turbin} \times \eta \text{ generator}$$

$$P = 788,07 \times 0,78 = 614,69 \text{ kw}$$

C. Daya listrik pada hari rabu 20 juni 2025

Tekanan masuk turbin = 19 Bar = 1,9 MPa

Tekanan keluar = 3,0 bar

Temperatur keluar = 134°C

Entalpi masuk = 2841,75

Entalpi keluar = 2725,53

Laju aliran uap = 23,1 T/h

$$m = \text{TPH} \times \frac{1000}{3600}$$

$$m = 23,1 \times \frac{1000}{3600}$$

$$m = \frac{23.100}{3.600}$$

$$m = 6,41 \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Wisentropis} &= m \times (h_{in} - h_{out}) \\ &= 6,41 \times (2841,75 - 2725,53) \\ &= 6,41 \times 116,22 \\ &= 744,97 \text{ kw} \end{aligned}$$

Maka dapat dikoversikan daya turbin ke daya generator yaitu:

$$P \text{ generator} = P \text{ turbin} \times \eta \text{ generator}$$

$$P = 744,97 \times 0,78 = 581,07 \text{ kw}$$

D. Daya listrik pada hari kamis 21 juni 2025

Tekanan masuk turbin = 19 Bar = 1,9 MPa

Tekanan keluar = 2,6 bar

Temperatur keluar = 129°C

Entalpi masuk = 2841,75

Entalpi keluar = 2718,7

Laju aliran uap = 21 T/h

$$m = \text{TPH} \times \frac{1000}{3600}$$

$$m = 21 \times \frac{1000}{3600}$$

$$m = \frac{21.000}{3.600}$$

$$m = 5,83 \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned} Wisentropis &= m \times (hin - hout) \\ &= 5,83 \times (2841,75 - 2718,7) \\ &= 5,83 \times 123,05 \\ &= 717,38 \text{ kw} \end{aligned}$$

Maka dapat dikoversikan daya turbin ke daya generator yaitu:

$$P \text{ generator} = P \text{ turbin} \times \eta \text{ generator}$$

$$P = 717,38 \times 0,78 = 559,55 \text{ kw}$$

E. Daya listrik pada hari jumat 22 juni 2025

Tekanan masuk turbin = 18 Bar = 1,8 MPa

Tekanan keluar = 1,9 bar

Tempratur keluar = 120°C

Entalpi masuk = 2804,72

Entalpi keluar = 2705,93

Laju aliran uap = 20,34 T/h

$$m = \text{TPH} \times \frac{1000}{3600}$$

$$m = 20,34 \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$m = \frac{20.340}{3.600}$$

$$m = 5,65 \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned} Wisentropis &= m \times (hin - hout) \\ &= 5,65 \times (2804,72 - 2705,93) \\ &= 5,65 \times 98,79 \\ &= 558,16 \text{ kw} \end{aligned}$$

Maka dapat dikoversikan daya turbin ke daya generator yaitu:

$$P_{\text{generator}} = P_{\text{turbin}} \times \eta_{\text{generator}}$$

$$P = 558,16 \times 0,78 = 435,36 \text{ kw}$$

F. Daya listrik pada hari sabtu 23 juni 2025

Tekanan masuk turbin = 19 Bar = 1,9 MPa

Tekanan keluar = 2,6 bar

Tempratur keluar = 129°C

Entalpi masuk = 2841,75

Entalpi keluar = 2718,7

Laju aliran uap = 21,10 T/h

$$m = \text{TPH} \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$m = 21,10 \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$m = \frac{21.100}{3.600}$$

$$m = 5,86 \text{ kg/s}$$

$$W_{\text{isentropis}} = m \times (h_{\text{in}} - h_{\text{out}})$$

$$= 5,86 \times (2841,75 - 2718,7)$$

$$= 5,86 \times 123,05$$

$$= 721,07 \text{ kw}$$

Maka dapat dikoversikan daya turbin ke daya generator yaitu:

$$P_{\text{generator}} = P_{\text{turbin}} \times \eta_{\text{generator}}$$

$$P = 721,07 \times 0,78 = 562,43 \text{ kw}$$

G. Daya listrik pada hari senin 25 juni 2025

Tekanan masuk turbin = 19 Bar = 1,9 MPa

Tekanan keluar = 2,7 bar

Tempratur keluar = 130°C

Entalpi massuk = 2841,75

Entalpi keluar = 2718,7

Laju aliran uap = 21,20 T/h

$$m = \text{TPH} \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$m = 21,20 \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$m = \frac{21.200}{3.600}$$

$$m = 5,88 \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Wisentropis} &= m \times (h_{in} - h_{out}) \\ &= 5,88 \times (2841,75 - 2718,7) \\ &= 5,88 \times 123,05 \\ &= 723,53 \text{ kw} \end{aligned}$$

Maka dapat dikoversikan daya turbin ke daya generator yaitu:

$$P_{\text{generator}} = P_{\text{turbin}} \times \eta_{\text{generator}}$$

$$P = 723,53 \times 0,78 = 564,35 \text{ kw}$$

H. Daya listrik pada hari selasa 26 juni 2025

Tekanan masuk turbin = 19 Bar = 1,9 MPa

Tekanan keluar = 3,1 bar

Tempratur keluar = 135°C

Entalpi masuk = 2841,75

Entalpi keluar = 2726,87

Laju aliran uap = 24,50 T/h

$$m = \text{TPH} \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$m = 24,50 \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$m = \frac{24.500}{3.600}$$

$$m = 6,80 \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Wisentropis} &= m \times (h_{in} - h_{out}) \\ &= 6,80 \times (2841,75 - 2726,87) \\ &= 6,80 \times 114,88 \\ &= 781,1 \text{ kw} \end{aligned}$$

Maka dapat dikoversikan daya turbin ke daya generator yaitu:

$$P_{\text{generator}} = P_{\text{turbin}} \times \eta_{\text{generator}}$$

$$P = 781,1 \times 0,78 = 609,2 \text{ kw}$$

I. Daya listrik pada hari rabu 27-06-2025

Tekanan masuk turbin = 19 Bar = 1,9 MPa

Tekanan keluar = 2,8 bar

Tempratur keluar = 132°C

Entalpi masuk = 2841,75

Entalpi keluar = 2722,82

Laju aliran uap = 22 T/h

$$m = \text{TPH} \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$m = 22 \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$m = \frac{22.000}{3.600}$$

$$m = 6,11 \text{ kg/s}$$

$$W_{\text{isentropis}} = m \times (h_{\text{in}} - h_{\text{out}})$$

$$= 6,11 \times (2841,75 - 2722,82)$$

$$= 6,11 \times 118,93$$

$$= 726,66 \text{ kw}$$

Maka dapat dikoversikan daya turbin ke daya generator yaitu:

$$P_{\text{generator}} = P_{\text{turbin}} \times \eta_{\text{generator}}$$

$$P = 726,66 \times 0,78 = 566,79 \text{ kw}$$

J. Daya listrik pada hari kamis 28 juni 2025

Tekanan masuk turbin = 19 Bar = 1,9 MPa

Tekanan keluar = 2,9 bar

Tempratur keluar = 133°C

Entalpi masuk = 2841,75

Entalpi keluar = 2724,18

Laju aliran uap = 22,40 T/h

$$m = \text{TPH} \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$m = 22,40 \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$m = \frac{22.400}{3.600}$$

$$m = 6,22 \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Wisentropis} &= m \times (h_{in} - h_{out}) \\ &= 6,22 \times (2841,75 - 2724,18) \\ &= 6,22 \times 117,57 \\ &= 731,28 \text{ kw} \end{aligned}$$

Maka dapat dikoversikan daya turbin ke daya generator yaitu:

$$P_{\text{generator}} = P_{\text{turbin}} \times \eta_{\text{generator}}$$

$$P = 731,28 \times 0,78 = 570,39 \text{ kw}$$

K. Daya listrik pada hari jumat 29 juni 2025

Tekanan masuk turbin = 19 Bar = 1,9 MPa

Tekanan keluar = 2,8 bar

Tempratur keluar = 132°C

Entalpi masuk = 2841,75

Entalpi keluar = 2722,82

Laju aliran uap = 22,20 T/h

$$m = \text{TPH} \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$m = 22,20 \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$m = \frac{22.200}{3.600}$$

$$m = 6,16 \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Wisentropis} &= m \times (h_{in} - h_{out}) \\ &= 6,16 \times (2841,75 - 2722,82) \\ &= 6,26 \times 118,93 \\ &= 732,60 \text{ kw} \end{aligned}$$

Maka dapat dikoversikan daya turbin ke daya generator yaitu:

$$P_{\text{generator}} = P_{\text{turbin}} \times \eta_{\text{generator}}$$

$$P = 732,60 \times 0,78 = 571,4 \text{ kw}$$

L. Daya listrik pada hari sabtu 30 juni 2025

$$\text{Tekanan masuk turbin} = 19 \text{ Bar} = 1,9 \text{ MPa}$$

$$\text{Tekanan keluar} = 3,1$$

$$\text{Temperatur keluar} = 135^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Entalpi masuk} = 2841,75$$

$$\text{Entalpi keluar} = 2726,87$$

$$\text{Laju aliran uap} = 24,80 \text{ T/h}$$

$$m = \text{TPH} \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$m = 24,80 \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$m = \frac{24.800}{3.600}$$

$$m = 6,88 \text{ kg/s}$$

$$W_{\text{isentropis}} = m \times (h_{\text{in}} - h_{\text{out}})$$

$$= 6,88 \times (2841,75 - 2726,87)$$

$$= 6,88 \times 114,88$$

$$= 790,37 \text{ kw}$$

Maka dapat dikoversikan daya turbin ke daya generator yaitu:

$$P_{\text{generator}} = P_{\text{turbin}} \times \eta_{\text{generator}}$$

$$P = 790,37 \times 0,78 = 616,48 \text{ kw}$$

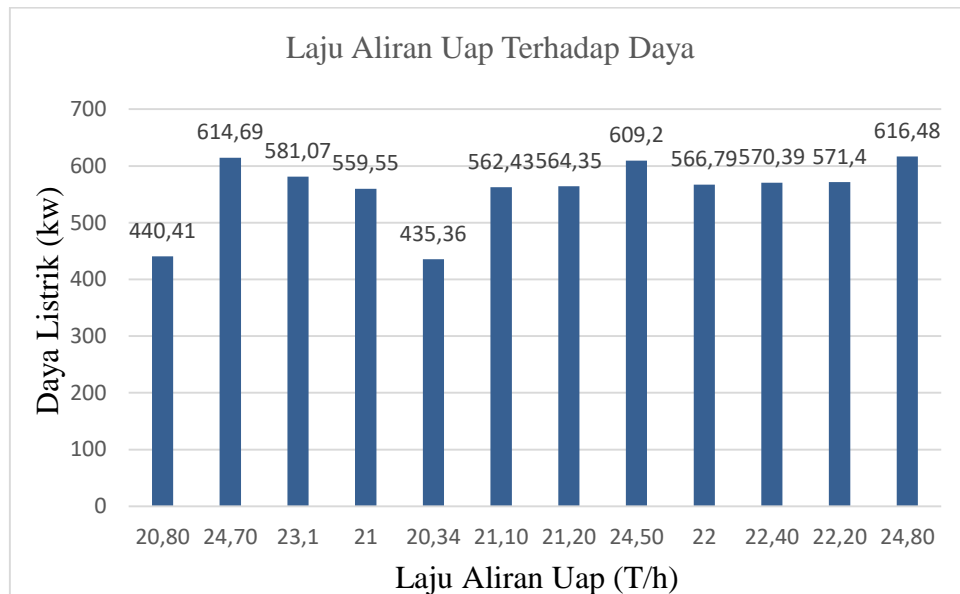
Tabel 4.2 Hasil Analisis Perhitungan

No	Hari	Tekanan Uap (Bar)	Tempratur (°C)	Laju aliran Uap (T/h)	Bpv	Entalpi (kj/kg)	Daya Listrik (kw)
1	Senin	18	123	20,80	2,1	97	440,41
2	Selasa	19	135	24,70	3,1	125	614,69
3	Rabu	19	134	23,1	3,0	125	581,07
4	Kamis	19	129	21	2,6	128	559,55
5	Jumat	18	120	20,34	1,9	91	435,36
6	Sabtu	19	129	21,10	2,6	126	562,43
7	Senin	19	130	21,20	2,7	126	564,35
8	Selasa	19	135	24,50	3,1	133	609,2
9	Rabu	19	132	22	2,8	126	566,79
10	Kamis	19	133	22,40	2,9	126	570,39
11	Jumat	19	132	22,20	2,8	126	571,4
12	Sabtu	19	135	24,80	3,1	125	616,48

Data pada tabel 4.2 menunjukkan adanya kecenderungan meningkatnya daya listrik seiring dengan meningkatnya laju aliran uap. Berikut hasil rata-rata yang diuraikan penulis dari seluruh data pada tabel dapat disimpulkan bahwa rata-rata tekanan uap selama pengamatan adalah 18,91 bar dengan tempratur uap rata-rata 130,58 °C laju uap yang dihasilkan rata-rata sebesar 22,34 ton/jam dengan entalpi uap rata-rata 121,16 kj/kg kondisi ini mampu menghasilkan daya listrik rata-rata sebesar 557,67 kw

Dalam penelitian hasil ini menunjukan adanya hubungan positif antara laju uap dan daya listrik. Semakin besar laju aliran uap yang dihasilkan maka semakin tinggi daya listrik yang dihasilkan pada generator

4.3 Analisis Laju Uap Terhadap Daya



Gambar 4.3 Grafik Laju Aliran Uap Terhadap Daya Listrik

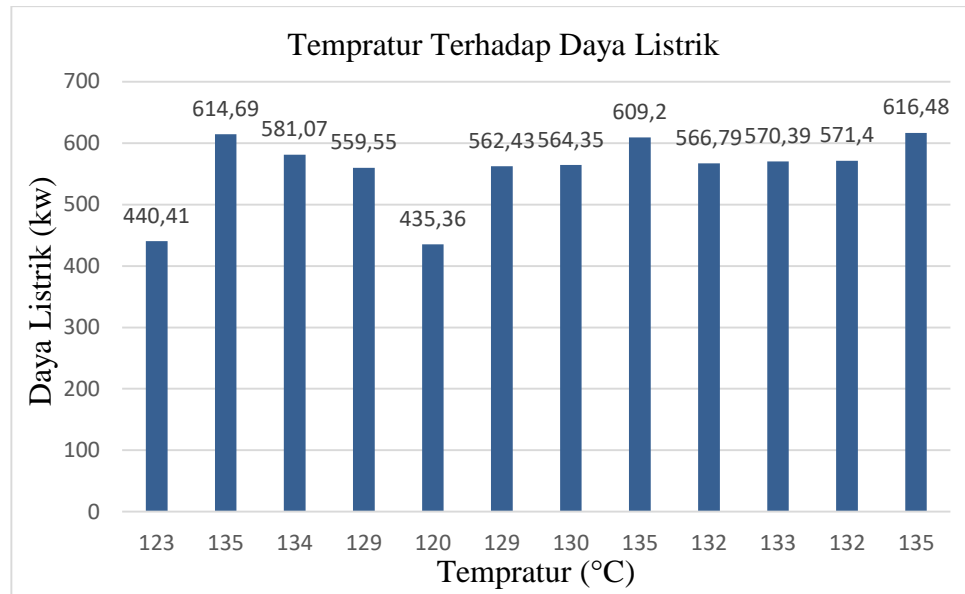
Berdasarkan grafik pada gambar 4.3 terlihat adanya kecenderungan bahwa peningkatan laju aliran uap berbanding lurus dengan peningkatan daya listrik beberapa poin dari hasil ini adalah

1. Laju aliran uap terendah sebesar 20,34 T/H menghasilkan daya listrik paling rendah yaitu 435,36 kw
2. Laju aliran uap tertinggi sebesar 24,80 T/H mampu menghasilkan daya listrik sebesar 616,48 kw

Hal ini disebabkan oleh meningkatnya jumlah energi panas yang dibawah oleh uap kedalam system turbin uap yang lebih banyak mengandung energi yang lebih besar sehingga dapat menggerakkan turbin dengan kuat. Menghasilkan putaran yang lebih cepat dan pada akhirnya meningkat keluaran daya listrik

Namun ,penting di catat bahwa hubungan ini juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti tekanan uap, tempratur,dan efesiensi sistem turbin.

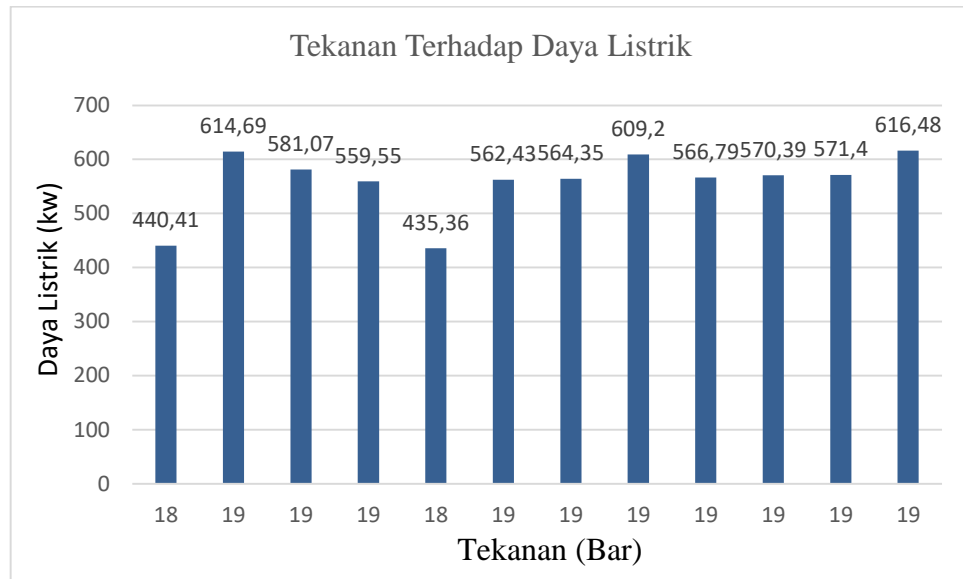
4.4 Analisis Temperature Terhadap Daya Listrik



Gambar 4.4 Grafik Temperature Terhadap Daya Listrik

Berdasarkan grafik pada gambar 4.4 yang menunjukkan hubungan antara tempratur uap terhadap daya listrik dapat diamati adanya kecenderungan bahwa kenaikan tempratur berpengaruh terhadap peningkatan daya listrik yang dihasilkan. Pada saat tempratur uap berada pada nilai terendah yaitu 120°C hari jumat daya listrik jugak yang dihasilkan juga begitu rendah yaitu sebesar 435,36 KW. Sebaliknya ketika temperature uap meningkat hingga 135°C hari sabtu daya listrik yang dihasilkan mencapai nilai tertinggi sebesar 616,48 KW

4.5 Analisis Tekanan Terhadap Daya Listrik



Gambar 4.5 Grafik Tekanan Terhadap Daya

Berdasarkan grafik pada gambar 4.5, terlihat bahwa nilai tekanan uap yang digunakan untuk menggerakkan turbin relatif stabil pada 18-19. Tekanan hanya mengalami sedikit penurunan pada hari kamis yaitu sebesar 18 bar, sedangkan pada hari-hari lain cenderung stabil di angka 19 bar, sementara itu daya listrik berfluktuasi antara 435,36 kw hingga 616,48 kw

Hal ini menunjukkan bahwa meskipun tekanan uap dijaga stabil, daya listrik tetap, artinya tekanan uap tidak berpengaruh signifikan terhadap daya melainkan lebih pengaruh oleh laju aliran uap

4.6 Penyelesaian Masalah

Masalah utama dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh laju aliran uap terhadap daya listrik pada system pembangkit. untuk menjawab permasalahan tersebut, dilakukan pengumpulan data meliputi:

1. Tekanan uap masuk
2. Tekanan uap keluar
3. Laju aliran uap
4. Nilai entalpi uap
5. Temperatur

Dari data yang diperoleh selama 12 hari pengamatan, dilakukan penelitian hubungan antara laju uap terhadap daya listrik menggunakan grafik hasil analisis menunjukkan Terdapat hubungan antara laju aliran uap dan daya listrik

Berdasarkan analisis data dan fakta terkait, terdapat beberapa alternatif solusi yang telah diidentifikasi untuk mengatasi masalah pengaruh laju aliran uap terhadap daya listrik

1. Menjaga kesetabilan dan efesiensi daya listrik dengan cara mengontrol laju aliran uap secara optimal
2. Pelaksanaan perawatan yang rutin akan membuat performa turbin generator optimal. Dalam rangka meningkatkan kinerja tekanan yang tidak optimal, langkah penting yang diambil adalah mengoptimalkan kembali pelaksanaan PMS (*Planned Maintenance System*). Dengan melakukan pembenahan pada sistem ini, diharapkan dapat memperbaiki efektivitas perawatan dan pemeliharaan, serta memastikan bahwa tekanan dan komponen mesin lainnya dapat beroperasi dengan optimal sesuai dengan standar yang ditetapkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh laju aliran uap terhadap daya listrik maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Laju aliran uap memiliki pengaruh signifikan terhadap daya listrik yang dihasilkan. Semakin tinggi laju aliran uap maka semakin besar pula daya listrik yang dihasilkan oleh sistem turbin generator. Data menunjukkan adanya pola peningkatan daya listrik yang selaras dengan peningkatan laju aliran uap. Nilai daya listrik meningkat dari 435,36 kw pada laju uap 20,34 T/h menjadi 616,48 kw pada laju uap 24,80 T/h
2. Dapat kita lihat bahwasannya hasil analisis terdapat semakin tinggi laju aliran uap dan semakin tinggi entalpinya daya yang dihasilkan juga meningkat dan sebaliknya kalau aliran uap kecil maka daya yang dihasilkan juga turun, jadi solusinya adalah menjaga aliran uap tetap stabil dan sesuai kebutuhan daya, dengan cara memastikan boiler selalu bekerja optimal supaya pasokan uap cukup, mengatur tekanan tetap di sekitar 19 bar, serta memakai sistem kontrol otomatis untuk menyesuaikan bukaan katup uap saat daya listrik berubah. Selain itu, menjaga suhu uap sedikit lebih tinggi juga bisa membantu meningkatkan daya, tapi tetap harus dalam batas aman biar turbin tidak cepat rusak. Intinya, kalau aliran uap stabil dan kualitas uap terjaga, daya listrik yang dihasilkan bisa lebih optimal dan peralatan juga lebih terawat

5.2 Saran

Adapun saran penelitian tugas akhir ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagi pengelola pembangkit disarankan untuk melakukan pemantauan dan pengendalian laju aliran uap secara berkala agar menjaga kestabilan daya listrik yang dihasilkan

DAFTAR PUSTAKA

- Alber, I. D., & Kiono, B. F. T. (2022). Analisis Pengaruh Perubahan Pembebanan Listrik Terhadap Konsumsi Spesifik Bahan Bakar Pembangkitan, Heat Rate dan Efisiensi Pada Unit 1 PLTU Kendari-3. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(3), 179–186. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.13371>
- Alit, M., Rahman, H., Silvano Ibrahim, dan M., Studi D-, P., Konversi Energi, T., Teknik Mesin, J., Negeri Jakarta, P., A Siwabessy, J. G., Magister Terapan Teknologi Manufaktur, P., & Sarjana, P. (2022). Pengaruh Nilai Buka-an Valve Terhadap Daya Yang Dihasilkan Oleh Turbin Uap Dalam Waste to Heat Energy System. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, 2850, 1223–1232. <http://prosiding.pnj.ac.id>
- Arrazi, M. (2023). *ANALISIS EFISIENSI TURBIN UAP SEBAGAI PENGGERAK GENERATOR PABRIK MINYAK KELAPA SAWIT PT . SYAUKATH SEJAHTERA (GANDAPURA)*. 7(1).
- Di, T., Moramo, P., & Perawatan, S. (2021). Analisis Pengaruh Perubahan Tekanan Vakum Kondensor Terhadap Heat Rate. 6(1), 18–26.
- Edi, J., Rahayu, E., & Artikel, R. (2023). *Jurnal Inovator Analisis Ketercapaian Kebutuhan Uap untuk Daya Listrik dan Produktivitas Pengolahan Kelapa Sawit pada Pabrik Kelapa Sawit (PKS)*. 6(2), 44–49.
- Hidayat, W. (2019). Prinsip Kerja dan Komponen - Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). *Artide*.
- Ilham, M., Salimin, S., & Aksar, P. (2021). Analisis Pengaruh Nilai Beban Unit Terhadap Efisiensi dan Heat Rate Turbin Pada Pltu Moramo. *Enthalpy : Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 6(3), 107. <https://doi.org/10.55679/enthalpy.v6i3.20976>
- Imam, D., Farisi, A., Rumawan, F. H., & Wirawan, A. P. W. (2024). Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Konsumsi Batu Bara, Heat Rate dan Efisiensi Termal PLTU Indoeka Unit 1. 3(2).
- Irawan, O. W., Pratama, L. S., & Insani, C. (2021). Analisis Termodinamika Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap Kapasitas 1500 kW. *JTM-ITI (Jurnal Teknik Mesin ITI)*, 5(3), 109. <https://doi.org/10.31543/jtm.v5i3.579>
- Irwan Suiaman , Agus Suprayitno, A. H. (2022). *ANALISIS PENGARUH LAJU UAP TERHADAP EFISIENSI TURBIN UAP CONDENSING PADA PLTU PT . XXX ANALYSIS OF THE EFFECT OF STEAM RATE ON THE EFFCIENCY OF STEAM CONDENSNG TURBINE AT PLTU PT . XXX*. 12(2), 205–215.
- Jamaludin, I. K. (2017). *ANALISIS PERHITUNGAN DAYA TURBIN YANG DIHASILKAN DAN EFESIENSI TURBIN UAP PADA UNIT 1 DAN UNIT 2 DI PT INDONESIA POWER UBOH UJP BANTEN 3 LONTAR*. 1–8.
- Kering, U., & Hendana, G. (2023). *Sainstek Analisa Daya Listrik Generator Pada Turbin Uap Berdasarkan Pemanfaatan*. 1, 4–9.
- Manggala, A., Pujiastuti Lestari, S., Muhammad Naim, B., Sastama, N., Teknik Kimia Program Studi Energi, J., & Negeri Sriwijaya Jl Srijaya Negara Bukit Besar Palembang, P. (2020). Influence of Water Level To Saturated Steam in Cross Section Water Tube Boiler Using Gas and Diesel Fuel. *Jurnal Kinetika*, 11(02), 26–30. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>
- Mirza, R., Zulfadli, T., Yusuf, M., Abd, M., & , K. (2024). Analisa Kinerja Turbin Uap Pada Pembangkit Listrik Pt.Sba Lhoknga Dengan Kapasitas 16 Mw.

- Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi*, 10(2), 420.
<https://doi.org/10.35308/jmkn.v10i2.10091>
- Muharrir, & Ibnu Hajar. (2019). *Analisis Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Generator Unit 2 PLTP PT. Indonesia Power UPJP Kamojang*. 8(2), 93–102.
- Mulyo Sugeng, U., Setiadi, B., Hadi, V., & Sugianto. (2023). Analisis Pengaruh High Pressure Heater terhadap Turbine Heat Rate dan Pemakaian Batu Bara di PLTU 1 X 600 MW. *Presisi*, 25(2), 28–35.
- Nur Hamzah1*, A.M. Shiddiq Yunus2, dan D. D. D. (2020). Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Heat Rate pada Unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jeneponto 2 135 MW. *Jurnal Sinergi*, 18(Oktober), 233–240.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31963/sinergi.v18i2.2674>
- Of, E., Load, E., Steam, O., Rate, F., Steam, A., & As, T. (2022). *Pengaruh Beban Listrik Terhadap Laju Aliran Uap Masuk Pada Turbin Uap Sebagai Penggerak Generator*. 12(2).
- Pangkung, A., Nawir, H., & Santoso, A. N. A. (2021). Analisis Pengaruh Perubahan Beban Generator Terhadap Efisiensi Kinerja PLTU Bosowa Energi Jeneponto Unit 2. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 18(2), 241–250.
<https://doi.org/10.31963/sinergi.v18i2.2691>
- Pasaribu, F. I., Roza, I., & Efendi, Y. (2019). Utilizing Exhaust Heat of Motorcycle As a Source OF ELECTRIC ENERGY USING THERMOELECTRIC. *JESCE (Journal of Electrical and System Control Engineering)*, 3(1), 13–29.
- Pribadyo, P., & Said, Z. (2018). Pengaruh Kinerja Hidraulik Kontrol Valve Setelah Overhaule Terhadap Governor Mesin Turbin Uap Pada PLTU (Media Group 1 x 15 Mw). *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi*, 4(2).
<https://doi.org/10.35308/jmkn.v4i2.1605>
- Rahardja, I. B., Abinanda, E., & Siregar, A. L. (2022). Water Tube Boiler Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 45 Ton/Jam. *Jurnal Citra Widya Edukasi*, 14(1), 39–54.
https://journal.cwe.ac.id/index.php/jurnal_citrawidyaedukasi/article/view/269
- Sahlan, Taman, I. B. S., & Ashidiq, R. F. (2015). Kegagalan Fungsi Safety Valve Lp Steam Drum HRSG 1.1 Muara Karang. *Jurnal Power Plant*, 3(1), 48–55.
- Setiawan, F., Melkias, A., & Slameto. (2022). Analisis Kinerja Turbin Uap Unit 1 Di Cirebon Power. *Jurnal Teknik Energi*, 11(2), 7–11.
<https://doi.org/10.35313/energi.v11i2.3517>
- Sihombing, G., Lubis, K., Amir, U., & Reat, H. (2024). *Analisis Performansi Turbin Uap dengan Kapasitas 115 MW dan Putaran 3000 Rpm pada unit 1 PLTU Labuhan Angin Sibolga*. 14(02), 193–202.
- Tognoli, M., Najafi, B., & Rinaldi, F. (2017). Dynamic modelling and optimal sizing of industrial fire-tube boilers for various demand profiles. *Applied Thermal Engineering*, 132, 341–351.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.12.082>
- Wahyu Ramadhoni, Faisal Irsan Pasaribu, Budhi Santri Kusuma, Elvy Sahnur Nasution, Noorly Evalina, A. A. (2024). *ANALISA KAPASITAS PENGGUNAAN GENERATOR TURBIN 800 KW TERHADAP PEMAKAIAN BEBAN DI PTPN IV UNIT PKS BERANGIR*. 13(2), 41–47.
- Yanti, I., Effendi, Z., Ucha, I., & Rangkuti, P. (2024). *Pengaruh Laju Massa Uap Terhadap Efisiensi Kerja Turbin Uap Pada Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 50 Ton / Jam*. 13(01), 182–190

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. Identitas Diri

Nama Lengkap : Yamin Azhari
Tempat/Tanggal Lahir : Rantau Prapat, 09 Juli 2002
Alamat : Dusun Jati, Desa Tumpatan, Kec Beringin, Lubuk Pakam
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Umur : 23
Agama : Islam
Kewarganegaraan : Indonesia
Setatus : Belum Menikah
Tinggi/Berat Badan : 165/58
E-mail : yaminazhari455@gmail.com
Nomor Telepon/HP : 082261075421

B. Riwayat Pendidikan

Tahun 2008-2015 : SD Negeri No 118335 PTP VI Silumajang
Tahun 2015-2018 : Madrasah Tsanawiyah PTP VI Berangir
Tahun 2018-2021 : SMK Negeri 2 Rantau Utara
Tahun 2021-2025 : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara



UNIT PKS BERANGIR
PT PERKEBUNAN NUSANTARA IV
LABURA – SUMATERA UTARA – INDONESIA

- KANTOR UNIT USAHA	: BERANGIR	TELP : (0624) 7001410
- KANTOR PUSAT	: JL. LETJEND SUPRAPTO NO.2 MEDAN	TELP : (061) 45154666 – FAX (061) 4573117

Nomor : 2PBR/X/04/VII/2025

PKS Berangir, 24 Juli 2025

Lamp :

Hal : **Izin Riset**

Kepada Yth :

Bapak/ Ibu Rektor UMSU

Di-

Medan

Sesuai dengan surat dari UMSU Medan No. 1161/IL.3.AU/UMSU-07/B/2025 pada tanggal 23 Juli 2025 Perihal Permohonan Izin Riset, dengan ini **diizinkan** untuk riset di PTPN IV Regional II PKS Berangir dari tanggal 25 Juli 2025- 30 Juli 2025 dengan mematuhi peraturan yang berlaku di perusahaan PTPN IV Regional II PKS Berangir. Selama Riset di PKS Berangir harus memakai APD lengkap, resiko kecelakaan selama Riset ditanggung mahasiswa itu sendiri.

Demikian disampaikan dan terimakasih.

PT PERKEBUNAN NUSANTARA IV

UNIT PKS BERANGIR


Dolly Juanito
Manajer

Tebusan:

-Arsip

AKHLAK – Amanah, Kompeten, Harmonis, Loyal, Adaptif, Kolaboratif



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

NAMA : YAMIN AZHARI
NPM : 2107220063
Fakultas/Jurusan : TEKNIK ELEKTRO
Judul Skripsi : ANALISIS PENGARUH LAJU ALIRAN UAP
TERHADAP TEGANGAN YANG DIHASILKAN
GENERATOR

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	4 Maret 2025	Perbaiki di rumusan masalah, tujuan masalah dan ruang lingkup	
2	6 Maret 2025	Tinjauan Pustaka Relevan Yang isinya penelitian penelitian sebelumnya yang berkaitan tentang judul, buat per paragraf 1 penelitian, samapi 5 penelitian (berarti 5 Paragraf)	
3	10 Maret 2025	Gambar di perbesar sikit, dan nama komponen komponennya diperjelas lagi	
4	12 Maret 2025	sertakan gambar proses kerjanya, bisa berbentuk blok diagram atau rangkaian ekivalen	
5	14 Maret 2025	gambar diperjelas, buat nama Gambar dan gambar berapa, setiap ada gambar, harus ada penjelasannya minimal 1 paragraf	
6	17 Maret 2025	Tambahkan gambar boiler dan prinsip kerjanya, Jenis jenis boiler juga yang sering digunakan di Pembangkit	
7	19 Maret 2025	Cek eyd dengan benar <i>ACC untuk Seminar Proposal</i>	

Mengetahui
Dosen Pembimbing

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



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

NAMA : YAMIN AZHARI
NPM : 2107220063
Fakultas/Jurusan : TEKNIK ELEKTRO
Judul Skripsi : ANALISIS PENGARUH LAJU ALIRAN UAP
TERHADAP BEBAN LISTRIK YANG DIHASILKAN
GENERATOR

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	25 juni 2025	Penambahan pada bab 4 minimal 10 halaman	
2	30 juni 2025	Perbaiki penulisan tabel dan penambahan penjelasan pada tabel	
3	15 juli 2025	Abstrak terdiri dari 200-250 kata terdiri dari latar belakang inti,tujuan penelitian,metode penelitian dan kata kunci 4-5 kata	
4	20 juli 2025	Penambahan penjelasan grafik	
5	28 juli 2025	Penambahan pada jurnal minimal 20 jurnal	
6	12 juli 2025	AAC seminar hasil	

Mengetahui
Dosen Pembimbing

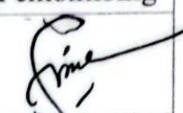


Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

NAMA : YAMIN AZHARI
NPM : 2107220063
Fakultas/Jurusan : TEKNIK ELEKTRO
Judul Skripsi : ANALISIS PENGARUH LAJU ALIRAN UAP
TERHADAP DAYA LISTRIK YANG DIHASILKAN
GENERATOR

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	22-08- 2025	Perbaiki rumusan masalah	
2	23-08-2025	Perbaiki penulisan eyd dengan benar	
3	26-08-2025	Acc sidang	
4			
5			
6			

Mengetahui
Dosen Pembimbing



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



CERTIFICATE OF APPRECIATION

THIS CERTIFICATE OF ACHIEVEMENT IS PRESENTED TO

YAMIN AZHARI

Dengan ini menyatakan bahwa benar telah mengikuti Magang di PT. Adibrata Unggul Jaya mulai 27 November 2023 s/d 11 September 2024 dengan:

“SANGAT BAIK”

16 September 2024

DATE

HRD & System

Ektaria Sinuhaji
Ektaria Sinuhaji

SIGNATURE

LAMPIRAN



Analisis Pengaruh Laju aliran Uap Terhadap Daya Listrik Yang Dihasilkan Generator

Yamin Azhari¹

¹. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jl. kapt Mukhtar Basri No 3 Medan Sumatera Utara 20238
E-mail: yaminazhari455@gmail.com

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh laju aliran uap terhadap daya listrik yang dihasilkan oleh generator pada sistem pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) di PTPN IV Unit Pks Berangir. Metode penelitian dilakukan dengan pengambilan data lapangan selama 12 hari dari log sheet operator melalui pengukuran laju aliran uap, temperatur, dan tekanan. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan daya listrik dengan peningkatan laju aliran uap. Daya meningkat dari 435,36 kW pada laju uap 20,34 T/h menjadi 616,48 kW pada laju uap 24,80 T/h, dengan rata-rata laju aliran uap sebesar 22,34 T/h menghasilkan daya listrik 557,67 kW. Kesimpulan penelitian ini adalah pengaturan laju aliran uap yang tepat sangat penting untuk memaksimalkan daya listrik, dengan menjaga tekanan tetap pada 19 bar serta menggunakan sistem kontrol otomatis untuk katup uap.

Kata kunci : laju aliran uap, temperatur, tekanan, daya listrik generator

Abstract— This study aims to analyze the effect of steam flow rate on the electrical power generated by the generator in the steam power plant (PLTU) system at PTPN IV Berangir Pks Unit. The research method was carried out by collecting field data for 12 days from the operator's log sheet through measuring the steam flow rate, temperature, and pressure. The results of the study showed an increase in electrical power with an increase in the steam flow rate. Power increased from 435.36 kW at a steam rate of 20.34 T/h to 616.48 kW at a steam rate of 24.80 T/h, with an average steam flow rate of 22.34 T/h producing 557.67 kW of electrical power. The conclusion of this study is that proper steam flow rate regulation is very important to maximize electrical power, by maintaining a constant pressure of 19 bar and using an automatic control system for the steam valve.

Keywords : steam flow rate, temperature, pressure, electrical power generator

Pendahuluan

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) merupakan salah satu sistem pembangkitan yang memanfaatkan uap sebagai penggerak turbin untuk menghasilkan energi listrik. Dalam proses ini, laju aliran uap menjadi parameter yang sangat berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan generator. Penelitian ini berfokus pada analisis hubungan laju aliran uap terhadap daya keluaran generator, dengan membandingkan hasil pengukuran di lapangan. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa peningkatan laju uap akan meningkatkan performa turbin dan efisiensi sistem. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk mengetahui parameter optimal yang dapat digunakan pada sistem PLTU agar efisiensi dan keandalan sistem tetap terjaga.

A. Turbin Uap

Turbin uap adalah mesin yang mengubah energi yang terkandung dalam uap menjadi gerak putar pada porosnya. Uap (steam) yang dihasilkan dari kartel uap, setelah melalui proses yang diinginkan, digunakan

untuk memutar turbin melalui alat pemancar (*nozzle*) dengan kecepatan relatif. Kecepatan relatif uap yang keluar dari *nozzle* ini membentur sudu penggerak, yang menghasilkan putaran. turbin uap digunakan untuk menggerakkan generator listrik dengan memanfaatkan uap yang dihasilkan dari pemanasan air di boiler yang menggunakan bahan bakar dari serabut dan cangkang kelapa sawit. [1]

B. Laju Aliran Uap Sistem Pembangkit Listrik

Laju massa uap mengacu pada jumlah uap yang masuk ke turbin dalam satuan waktu. Jumlah uap masuk ke dalam turbin dilakukan oleh control *valve* yang bekerja secara otomatis. Laju massa uap yang tidak optimal, misalnya terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menyebabkan turunnya efisiensi turbin. Laju massa uap masuk yang semakin tinggi akan mengakibatkan putaran poros turbin yang semakin cepat [2].

Dengan laju aliran uap merupakan salah satu faktor utama dalam system pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Uap yang dihasilkan boiler yang memanaskan udara hingga berubah menjadi uap dengan tekanan

Rumus perhitungan dari laju aliran uap terhadap daya isetropis.[3]

$$W_{isentropis} = m \times (h_{in} - h_{out})$$

Keterangan:

- $W_{isentropis}$ = Daya isentropis (kw)
- m' = laju aliran massa uap (kg/s)
- h_1 = entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)
- h_2 = entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)

C. Siklus Renkine

Siklus Rankine ideal yang pada umumnya digunakan pada suatu pembangkit listrik tenaga uap. Pada siklus ini memiliki dua fase fluida kerja, yaitu liquid (cair) dan vapor (uap). Pada siklus ini pada umumnya fluida kerja yang digunakan adalah air[4]

D. Generator

Generator AC yang akan dibahas merupakan jenis mesin sinkron frekuensi listrik yang dihasilkan bergantung pada jumlah kutub dan kecepatan putaran rotor. Listrik yang dihasilkan adalah listrik arus bolak-balik (AC). Mesin penggeraknya bisa berasal dari berbagai sumber energi, seperti tenaga air, uap, mesin diesel, dan lainnya. Generator AC banyak digunakan di pembangkit listrik besar dengan kapasitas yang relatif tinggi. Disini generator AC umumnya dikenal sebagai alternator atau hanya sebagai generator.

E. Perhitungan Konversi Daya Turbin ke Daya Generator

Pada sistem pembangkit listrik, proses konversi energi merupakan tahapan krusial yang menentukan efisiensi dan performa keseluruhan. Salah satu konversi utama terjadi antara turbin dan generator. Turbin berfungsi mengubah energi kinetik dari fluida kerja (seperti air, uap, atau angin) menjadi daya mekanik rotasional. Daya mekanik ini kemudian ditransfer ke generator yang memiliki tugas mengubahnya menjadi daya listrik.

Rumus konversi dasar adalah sebagai berikut:

$$P_{\text{generator}} = P_{\text{turbin}} \times \eta_{\text{generator}}$$

Keterangan:

$$P_{\text{generator}} = \text{Daya listrik yang dihasilkan generator}$$

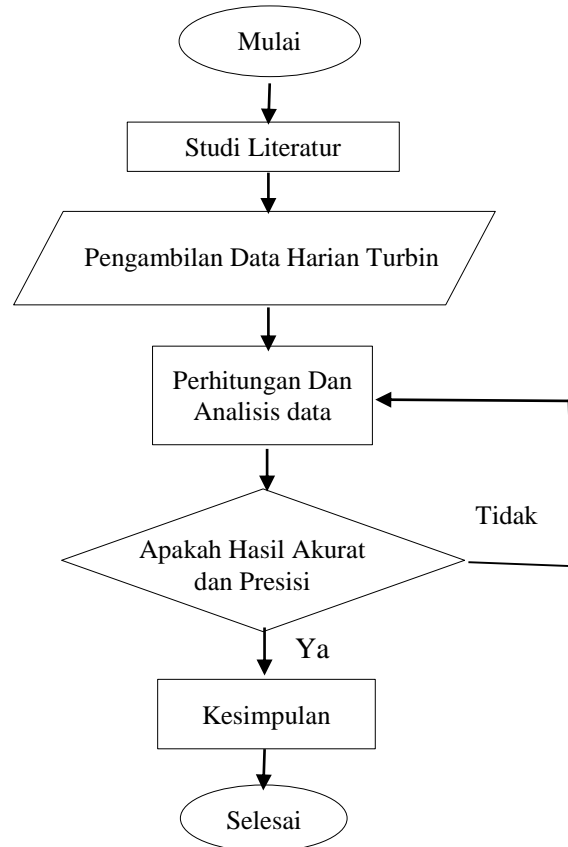
$$P_{\text{turbin}} = \text{Daya listrik yang dihasilkan turbin}$$

$$\eta_{\text{generator}} = \text{Efisiensi generator}$$

Metode

. Peneliti Penelitian ini menggunakan teknik analisa deskriptif kuantitatif berdasarkan data perimer pada control room kamar mesin. Seluruh kegiatan tersebut dilakukan pada stasiun pembangkit tenaga listrik di PTPN IV UNIT PKS BERANGIR selama 12 hari dengan menggunakan data log sheet operator. Parameter yang diamati adalah laju aliran uap (kg/s atau T/h), temperatur uap (°C), dan tekanan uap masuk dan keluar (bar). Pengumpulan data dilakukan secara langsung dari panel kontrol turbin dan boiler. Analisis dilakukan dengan metode perhitungan konversi energi

dan grafik hubungan antara laju aliran uap terhadap daya listrik yang dihasilkan. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada gambar 3.9 sebagai berikut



Gambar 1. Flowchat

Hasil dan Pembahasan

Tabel 1. Data selama 12 Hari

Hari	Tekanan Uap (Bar)	Entalpi in (kJ/kg)	Laju aliran Uap (T/h)	Entalpi out (kJ/kg)	Temperatur (°C)	Bpv (kg/cm ²)
Senin	18	2804,72	20,80	2707,37	123	2,1
Selasa	19	2841,75	24,70	2726,87	131	3,1
Rabu	19	2841,75	23,1	2725,53	131	3,0
Kamis	19	2841,75	21	2718,7	129	2,6
Jumat	18	2804,72	20,34	2705,93	120	1,9
Sabtu	19	2841,75	21,10	2718,7	130	2,6
Senin	19	2841,75	21,20	2718,7	130	2,7
Selasa	19	2841,75	24,50	2726,87	131	3,1
Rabu	19	2841,75	22	2722,82	130	2,8
Kamis	19	2841,75	22,40	2724,18	130	2,9
Jumat	19	2841,75	22,20	2722,82	130	2,8
sabtu	19	2841,75	24,80	2726,87	131	3,1

Tekanan masuk turbin = 19 Bar = 1,9 MPa

Tekanan keluar turbin = 2,1 Bar

Tempratur keluar = 123°C

Entalpi masuk = 2804,72

Entalpi keluar = 2707,37

Laju aliran uap = 20,80 T/h

$$m = \text{TPH} \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$m = 20,80 \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$m = \frac{20,80}{3.600}$$

$$m = 5,80 \text{ kg/s}$$

$$\text{Wisentropis} = m \times (\text{hin} - \text{hout})$$

$$= 5,80 \times (2841,75 - 2724,18)$$

$$= 5,80 \times 97$$

$$= 564,63 \text{ kw}$$

Maka dapat dikoversikan daya turbin ke daya generator yaitu:

$$P \text{ generator} = P \text{ turbin} \times \eta \text{ generator}$$

$$P = 564,63 \times 0,78 = 440,41 \text{ kw}$$

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jamaludin, I. K. (2017). ANALISIS PERHITUNGAN DAYA TURBIN YANG DIHASILKAN DAN EFESIENSI TURBIN UAP PADA UNIT 1 DAN UNIT 2 DI PT INDONESIA POWER UBOH UJP BANTEN 3 LONTAR. 1–8.
- [2] Yanti, I., Effendi, Z., Ucha, I., & Rangkuti, P. (2024). Pengaruh Laju Massa Uap Terhadap Efisiensi Kerja Turbin Uap Pada Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 50 Ton / Jam. 13(01), 182–190
- [3] Muharrir, & Ibnu Hajar. (2019). *Analisis Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Generator Unit 2 PLTP PT. Indonesia Power UPJP Kamojang*. 8(2), 93–102
- [4] Irawan, O. W., Pratama, L. S., & Insani, C. (2021). Analisis Termodinamika Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap Kapasitas 1500 kW. JTM-ITI (Jurnal Teknik Mesin ITI), 5(3), 109.

Tabel 2. Hasil Analisis Perhitungan

Hari	Tekanan Uap (Bar)	Tempratur (°C)	Laju aliran uap (T/h)	Bpv	Daya Listrik (kw)
Senin	18	123	20,80	2,1	440,41
Selasa	19	135	24,70	3,1	614,69
Rabu	19	134	23,1	3,0	581,07
Kamis	19	129	21	2,6	559,55
Jumat	18	120	20,34	1,9	435,36
Sabtu	19	129	21,10	2,6	562,43
Senin	19	130	21,20	2,7	564,35
Selasa	19	135	24,50	3,1	609,2
Rabu	19	132	22	2,8	566,79
Kamis	19	133	22,40	2,9	570,39
Jumat	19	132	22,20	2,8	571,4
Sabtu	19	135	24,80	3,1	616,48

Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya listrik yang dihasilkan generator meningkat seiring dengan meningkatnya laju aliran uap. Pada laju uap 20,34 T/h daya yang dihasilkan sebesar 435,36 kW, sedangkan pada laju uap 24,80 T/h daya yang dihasilkan meningkat menjadi 616,48 kW. Nilai rata-rata laju aliran uap sebesar 22,34 T/h menghasilkan daya listrik sebesar 557,67 kW. Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi laju uap yang masuk ke turbin, semakin besar energi kinetik yang dihasilkan sehingga daya listrik meningkat.

Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa laju aliran uap memiliki pengaruh signifikan terhadap daya listrik yang dihasilkan generator. Pengaturan laju uap yang tepat akan memaksimalkan output daya dengan menjaga tekanan pada 19 bar dan menggunakan sistem kontrol otomatis pada katup uap. Dengan demikian, stabilitas dan keandalan sistem pembangkit dapat ditingkatkan.

