

TUGAS AKHIR

PENGARUH TEKANAN *STEAM* TERHADAP KINERJA TURBIN UAP *DRESSER RAND* 768 KW

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

ADI PERNANDA SIREGAR
2107230096



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Adi Pernanda Siregar
NPM : 2107230096
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengaruh Tekanan *Steam* Terhadap Kinerja Turbin Uap *Dresser Rand 768 KW*
Bidang ilmu : Konversi Energi

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

Medan, 20 Agustus 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



Dr. Munawar A Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji II



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

Dosen Penguji III



Chandra A Siregar, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin

Ketua



Chandra A Siregar, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama lengkap : Adi Pernanda Siregar
Tempat/tanggal lahir : Simartokis/04 Mei 2003
Npm : 2107230096
Fakultas : Teknik
Program studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul :

“Pengaruh Tekanan *Steam* Terhadap Kinerja Turbin Uap *Dresser Rand 768 KW*”,

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

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/keserjanaan 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 Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 21 Agustus 2025

Saya Yang Menyatakan:



Adi Pernanda Siregar

ABSTRAK

Turbin uap memegang peranan krusial dalam operasional pabrik kelapa sawit, dan berpotensi menggantikan peran listrik dari PLN sebagai sumber daya utama. Di lingkungan pabrik kelapa sawit, turbin uap berfungsi sebagai elemen utama dalam sistem pembangkit listrik. Kinerja turbin ini bergantung pada uap panas yang dihasilkan oleh boiler. Analisis terhadap daya output serta efisiensi turbin sangat penting untuk mengidentifikasi penurunan kinerja, yang nantinya menjadi dasar untuk perbaikan atau evaluasi operasional agar turbin tetap bekerja secara optimal. Perbedaan antara kerja aktual turbin berdasarkan aliran massa uap dengan kerja isentropiknya akan berdampak langsung pada efisiensi isentropik; semakin kecil selisihnya, maka efisiensi akan meningkat, sedangkan perbedaan yang besar justru menurunkan efisiensinya. Tekanan juga turut memengaruhi hal tersebut. Setiap turbin memiliki nilai efisiensi yang berbeda – beda, tergantung pada kondisi steam yang masuk ke turbin. Sedangkan kondisi steam tersebut dipengaruhi oleh faktor tekanan uap yang masuk ke turbin. Power plant pada industri kelapa sawit memiliki efisiensi dan optimasi turbin yang rendah. Sehingga efektivitas turbin uap menurun dan menyebabkan daya listrik yang keluar tidak sesuai dengan keluaran generator, karena itu dilakukan penelitian untuk menilai efektivitas pengaruh tekanan steam dan memberikan rekomendasi untuk optimasi, sehingga bisa di manfaatkan bagi industri pabrik kelapa sawit. Efisiensi tertinggi dari turbin uap tercapai pada tanggal 25 April 2025 dengan nilai 23,90% dan menghasilkan kerja turbin sebesar 2974,3 kJ/kg. Sebaliknya, efisiensi terendah tercatat pada tanggal 21 April 2025, yaitu 20,51% dengan nilai kerja turbin sebesar 2968,4 kJ/kg. Seluruh data menunjukkan bahwa fraksi uap (X) bernilai di bawah 1, yang menandakan bahwa uap berada dalam kondisi jenuh atau masih mengandung air (uap basah). Tingkat efisiensi turbin uap, baik saat maksimum maupun minimum, dipengaruhi oleh tekanan dan temperatur uap yang masuk ke sistem. Peningkatan tekanan dan suhu (energi termal) yang masuk ke turbin cenderung menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi, dan sebaliknya. Di samping itu, perubahan nilai entalpi serta besar kecilnya kerja turbin juga menjadi faktor penentu. Jika kerja turbin meningkat secara signifikan tanpa adanya kenaikan energi input yang sepadan, maka efisiensi justru cenderung menurun.

Kata Kunci : Turbin uap, efisiensi, tekanan, efektivitas

ABSTRACT

Steam turbines play a crucial role in palm oil mill operations and have the potential to replace electricity from PLN as the primary power source. In palm oil mills, steam turbines serve as a key element in the power generation system. Turbine performance relies on the steam generated by the boiler. Analysis of turbine output and efficiency is crucial for identifying performance degradation, which then serves as the basis for improvements or operational evaluations to ensure optimal turbine performance. The difference between the turbine's actual steam mass flow rate and its isentropic performance directly impacts isentropic efficiency; a smaller difference increases efficiency, while a larger difference decreases efficiency. Pressure also plays a role. Each turbine has a different efficiency value, depending on the steam input conditions. Steam conditions are influenced by the steam pressure entering the turbine. Power plants in the palm oil industry have low turbine efficiency and optimization. Consequently, steam turbine effectiveness decreases, resulting in a power output that does not match the generator output. Therefore, research was conducted to assess the effectiveness of steam pressure and provide recommendations for optimization, which can be utilized in the palm oil mill industry. The highest efficiency of the steam turbine was achieved on April 25, 2025, with a value of 23.90% and produced a turbine work of 2974.3 kJ/kg. Conversely, the lowest efficiency was recorded on April 21, 2025, namely 20.51% with a turbine work value of 2968.4 kJ/kg. All data show that the steam fraction (X) is below 1, which indicates that the steam is in a saturated condition or still contains water (wet steam). The level of steam turbine efficiency, both at maximum and minimum, is influenced by the pressure and temperature of the steam entering the system. Increases in pressure and temperature (thermal energy) entering the turbine tend to result in higher efficiency, and vice versa. In addition, changes in the enthalpy value and the size of the turbine work are also determining factors. If the turbine work increases significantly without a commensurate increase in input energy, then the efficiency tends to decrease.

Keywords: Steam turbine, efficiency, pressure, effectiveness

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Pengaruh Tekanan *Steam* Terhadap Kinerja Turbin Uap *Dresser Rand 768 KW*” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Chandra A Siregar, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing dan Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Marabdi Siregar S.T.,M.T selaku sekretaris yang Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
4. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik mesinan kepada penulis.
5. Orang tua penulis : Ibu Masdalifah dan Bapak Henrik Yasri Siregar, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Kepada Keluarga dan Sahabat-sahabat penulis saya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik Mesin.

Medan, 21 Agustus 2025

Adi Pernanda Siregar

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	3
1.3. Ruang lingkup	3
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Turbin Uap	5
2.1.1. Prinsip Kerja Turbin Uap	6
2.1.2. Jenis-Jenis Turbin Uap	7
2.1.3. Komponen Utama Turbin Uap	14
2.1.4. Introduksi Kegagalan Turbin Uap Pada <i>Power Plant</i>	21
2.2. Boiler	24
2.3. Proses Pembentukan Uap	27
2.3.1. <i>Saturated Steam</i>	29
2.3.2. <i>Superheated Steam</i>	29
2.4. Tekanan <i>Steam</i>	29
2.4. Termodinamika	30
2.4.1. Hukum Termodinamika pertama	30
2.4.2. Hukum Termodinamika kedua	32
2.5. Efisiensi Turbin Uap	33
2.5.1. Fraksi Uap	34
2.5.2. Kerja Turbin	34
BAB 3 METODOLOGI	35
3.1. Tempat dan Waktu	35
3.2. Bahan dan Alat	35
3.2.1. Bahan	35
3.2.2. Alat	35
3.3. Bagan Alir Penelitian	39
3.4. Alat Penelitian	40
3.5. Prosedur Penelitian	40
3.6. Variabel	41
3.6.1. Variabel Bebas	41
3.6.2. Variabel Tetap	41

3.7	Pengumpulan Data	41
3.8	Pengolahan Data	41
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1	Analisa Pembahasan Efisiensi Turbin Uap	42
4.1.1	Entalpi Masuk	42
4.1.2	Entropi Masuk	42
4.1.3	Energi Keluar	44
4.1.4	Fraksi Uap	46
4.1.5	Entalpi Keluar	46
4.1.6	Perubahan entalpi	46
4.1.7	Kerja Turbin Uap	46
4.1.8	Efisiensi Turbin Uap	47
4.2	Beban kapasitas turbin uap	48
4.3	Alternatif dalam mengatasi penurunan efektivitas dari efisiensi	50
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1.	Kesimpulan	52
5.2.	Saran	52
	DAFTAR PUSTAKA	54
	Lampiran 1. Hasil Penelitian	
	Lampiran 2. Tabel <i>Apendix Thermodynamics</i>	
	Lampiran 3. Lembar Asistensi	
	Lampiran 4. SK Pembimbing	
	Lampiran 5. Berita Acara Seminar Hasil Penelitian	
	Lampiran 6. Daftar Riwayat Hidup	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Waktu Penelitian	35
Tabel 3.2 Spesifikasi turbin uap	35
Tabel 4.1 Data parameter 1 tanggal 21 Mei 2025	42
Tabel 4.2 Entalpi 1	43
Tabel 4.3 Entropi 1	44
Tabel 4.4 s_{f2} (entalpi cair jenuh), s_{fg2} (Entropi evaporasi), h_{f2} (entalpi cair jenuh) dan h_{fg2} (entalpi evaporasi).	45
Tabel 4.5 h_{f2} (entalpi cair jenuh) dan h_{fg2} (entalpi evaporasi).	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Turbin uap	5
Gambar 2.2 Turbin Single Stage	7
Gambar 2.3 Turbin <i>Multi Stage</i>	8
Gambar 2.4 Turbin <i>Impuls</i>	10
Gambar 2.5 Prinsip Turbin <i>Impuls</i>	10
Gambar 2.6 Prinsip Turbin Reaksi	11
Gambar 2.7 Penampang sudu turbin reaksi	12
Gambar 2.8 Turbin <i>Condensing</i>	13
Gambar 2.9 Turbin <i>Non Kondensasi</i>	13
Gambar 2.10 Ekstraksi dan Induksi	14
Gambar 2.11 <i>Cassing</i> Turbin	15
Gambar 2.12 Rotor	15
Gambar 2.13 <i>Journal Bearing</i>	16
Gambar 2.14 <i>Thrust Bearing</i>	17
Gambar 2.15 <i>Main Oil pump</i>	17
Gambar 2.16 <i>Set Carbons</i>	18
Gambar 2.17 <i>Impuls Stage</i>	19
Gambar 2.18 <i>Control Valve</i>	20
Gambar 2.19 <i>Reducing gear</i>	20
Gambar 2.20 <i>Velocity</i>	23
Gambar 2.21 Erosi pada sudu turbin	24
Gambar 2.22 Boiler	25
Gambar 2.23 Boiler Pipa Api	25
Gambar 2.24 Boiler pipa air	26
Gambar 2.25 diagram proses pembentukan uap	27
Gambar 2.26 Siklus fluida kerja pada PLTU	28
Gambar 3.1 <i>Pressure gauge</i>	36
Gambar 3.2 <i>Panel Box Turbine</i>	36
Gambar 3.3 Turbin Control Panel	37
Gambar 3.4 Power Meter	37
Gambar 3.5 <i>Boiler</i>	38

Gambar 3.6 Panel parameter <i>boiler</i>	38
Gambar 3.7 Diagram Alir	39
Gambar 3.8 Turbin uap	40
Gambar 4.1 Efisiensi turbin uap	47
Gambar 4.2 <i>Load</i> turbin uap	48
Gambar 4.3 Alternatif dalam mengatasi penurunan efektivitas dari efisiensi	50

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
P1	Tekanan awal	Kg/cm ²
P2	Tekanan akhir	Kg/cm ²
V1	Volume awal	m ³
V2	Volume akhir	m ³
T1	Temperatur awal	°C
T2	Temperatur akhir	°C
H	Entalpi sistem	<i>Joule</i>
U	Energi internal	<i>Joule</i>
P	Tekanan dari sistem	Pa
V	Volume sistem	m ³
δU	Energi total	Kcal/kWh
δV	Kalor total	Kcal/kWh
δW	Kerja total	kJ/kg
h1	Entalpi uap masuk	kJ/Kg
h2	Entalpi uap keluar	kJ/Kg
Δh	Perubahan Entalpi	kJ/kg
s1	Entropi Inlet Turbin	kJ/Kg.K
X	Fraksi uap	
Wt	Kerja isentropik turbin	kJ/kg
W _{aktual}	Kerja aktual turbin	KW
<i>m</i>	Laju aliran massa uap	Kg/s
hf2	Entalpi cairan jenuh	kJ/Kg
hfg2	Entalpi evaporasi	kJ/Kg
sf2	Entropi cairan jenuh	kJ/Kg.K
sfg2	Entropi evaporasi	kJ/Kg.K
η	Efisiensi turbin	%

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik adalah salah satu elemen penting dalam kehidupan manusia dan diperlukan untuk berbagai kebutuhan, seperti kebutuhan rumah tangga, industri, dan prasarana lainnya. Energi listrik yang besar dan terus menerus tidak dapat diperoleh secara alami. Oleh karena itu, pembangkit listrik yang handal diperlukan. (Hadi, 2021) Kehidupan manusia membutuhkan energi, dan listrik adalah salah satu yang paling penting. Kehidupan manusia membutuhkan banyak energi untuk berbagai tujuan, seperti kebutuhan industri dan infrastruktur lainnya. Karena jumlah penggunaannya yang besar dan terus menerus, energi ini tidak dapat diakses secara alami. (F. Fadhlur, 2016)

Energi listrik adalah apa yang dibutuhkan masyarakat untuk menjalani kehidupan sehari-hari mereka dan banyak perusahaan atau industri juga membutuhkannya. (Purba, 2020). Salah satu komoditi yang dihasilkan oleh perkebunan di Provinsi Sumatera Utara adalah kelapa sawit. Pabrik pengolahan kelapa sawit biasanya terletak di sekitar perkebunan yang bersangkutan, sehingga kelapa sawit yang telah dipanen dapat segera diangkut ke pabrik untuk diproses. Salah satu mesin yang digunakan di pabrik pengolahan kelapa sawit adalah turbin uap. (Sapto, 2003)

Turbin uap adalah salah satu jenis turbin, Dimana Turbin uap termasuk dalam kelompok pesawat-pesawat konversi energi potensial uap menjadi energi mekanik pada poros turbin uap. Poros turbin uap langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, transportasi, penerangan lampu, serta untuk pembangkit bertenaga listrik. (Hadi, 2021). Sebab sumber energi sangat efektif atau efisien untuk dikonversikan menjadi bentuk energi yang lain seperti suatu pembangkit tenaga listrik yaitu turbin uap penggerak generator. (Lubis et al., 2020) menyebutkan bahwa Pada dasarnya, "generator" dan "alternator" adalah istilah yang mengacu pada suatu alat elektromekanikal yang berfungsi untuk mengubah daya mekanis menjadi energi elektrik.

Turbin uap adalah komponen penting dari pabrik kelapa sawit dan dapat menggantikan PLN sebagai penghasil listrik yang digunakan. (Siagian, 2021) Turbin uap pada pabrik kelapa sawit merupakan sumber utama pembangkit tenaga listrik. Turbin tersebut dapat berkerja dikarenakan adanya uap yang diperoleh dari boiler. Sistem pembangkit tenaga uap merupakan suatu kebutuhan penting untuk keberlangsungan sebuah pabrik kelapa sawit dalam proses pengolahannya. Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial menjadi energi kinetik dan selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Dalam hal ini, perhitungan daya dan efisiensi turbin sangat penting untuk mengetahui penurunan performa optimasi turbin sebagai dasar perbaikan atau bahan dasar pertimbangan dalam pengoperasiannya sehingga turbin dapat melakukan fungsi terbaiknya. Bahwa perbedaan antara kerja turbin tiap aliran massa uap dan kerja isentropik turbin memengaruhi efisiensi isentropik, efisiensi isentropik akan meningkat dengan selisih yang lebih kecil, sedangkan selisih yang lebih besar akan mengurangi efisiensi, dan jika tekanan. (Sinaga et al., 2022)

Bahan bakar yang digunakan dalam boiler untuk menghasilkan uap, yaitu serabut (*fiber*) dan cangkang (*chell*), memungkinkan turbin tersebut beroperasi. Karena bahan bakar ini berasal dari limbah pengolahan sawit, instalasi ini sederhana dan hemat biaya. Dari pemamparan di atas, jelas bahwa sistem pembangkit tenaga uap sangat penting untuk keberlangsungan pabrik kelapa sawit dalam proses pengolahan CPO dan PKO. Turbin uap memainkan peran penting dan memengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan.. (Sinaga et al., 2022)

Pabrik Kelapa Sawit (PKS) merupakan unit produksi yang membutuhkan sumber energi yang sangat besar yang digunakan untuk mengendalikan mesin dan peralatan yang membutuhkan energi dalam jumlah besar. Permintaan energi ini ditutupi dan diumpankan oleh boiler dan generator. Boiler atau ketel uap merupakan suatu mesin yang memegang peranan penting dalam kelangsungan operasi suatu pabrik kelapa sawit yaitu. boiler adalah jantung dari pabrik. (Tarigan & Supriyanto, 2023)

(Anggraini et al., 2019) menuliskan Turbin uap adalah mesin tenaga yang berfungsi untuk mengubah energi *thermal* (energi panas yang terkandung dalam uap) menjadi energi poros (putaran). Setiap turbin memiliki nilai efisiensi yang berbeda – berbeda, tergantung pada kondisi steam yang masuk ke turbin. Sedangkan kondisi *steam* tersebut dipengaruhi oleh faktor tekanan uap yang masuk ke turbin.

Power plant pada industri kelapa sawit memiliki efisiensi dan optimasi turbin yang rendah. Sehingga efektivitas turbin uap menurun dan menyebabkan daya listrik yang keluar tidak sesuai dengan keluaran generator, karena itu dilakukan penelitian untuk menilai efektivitas pengaruh tekanan steam dan memberikan rekomendasi untuk optimasi, sehingga bisa di manfaatkan bagi industri pabrik kelapa sawit. Berdasarkan penjelasan di atas, penulis memilih judul tentang “Pengaruh Tekanan *Steam* Terhadap Kinerja Turbin Uap *Dresser Rand 768 KW*” yang akan membahas tentang efektivitas dari efisiensi akibat pengaruh tekanan *steam* dan rekomedasi untuk optimasi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana menganalisis pengaruh tekanan yang tidak konsisten terhadap kinerja turbin uap *dresser rand 768 KW*.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dari tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Perhitungan dan pembahasan yang di gunakan sebatas berada di ruang *power plant* di pabrik kelapa sawit
2. Menganalisa efektifitas turbin dan daya turbin yang digunakan pada pabrik
3. Data tekanan berdasarkan panel *inlet steam*
4. Spesifikasi pembangkit dan daya turbin yang digunakan pada *power plant* di pabrik kelapa sawit dengan kapasitas 768 KW serta *pressure* 17 bar

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk membahas pernyataan dalam kalimat penelitian yang menunjukkan hasil yang di peroleh setelah proses penelitian selesai.

Tujuan penelitian dari tugas akhir ini adalah :

1. Untuk menganalisis efektivitas pengaruh tekanan steam terhadap kinerja turbin uap *dresser rand 768 KW*

2. Menghitung beban kapasitas turbin uap

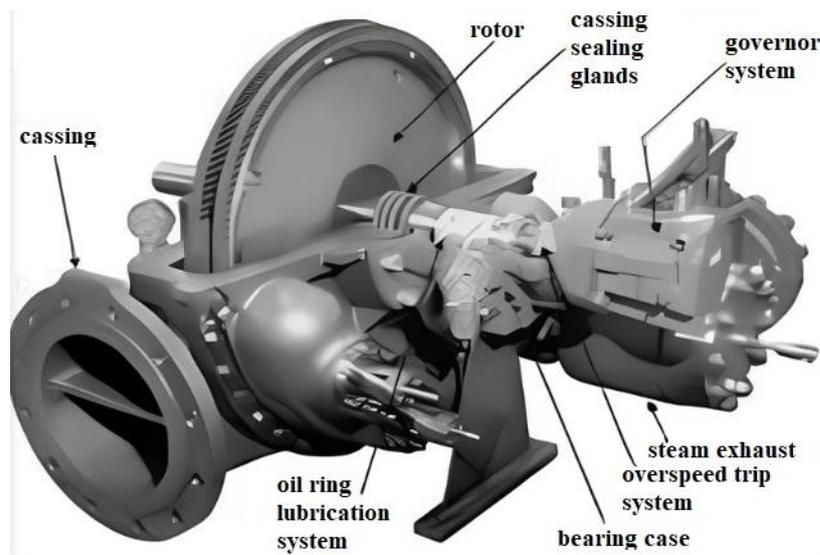
1.5 Manfaat Penelitian

Laporan tugas akhir ini di harap memberikan rekomendasi dalam meningkatkan turbin uap berdasarkan analisis yang di lakukan kepada pengguna.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Uap

Turbin uap berfungsi sebagai penggerak awal dengan menghasilkan energi kinetik dari uap. Kemudian, energi kinetik ini diubah menjadi energi mekanis melalui putaran poros turbin. Poros turbin dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan langsung atau melalui roda gigi reduksi. Turbin uap dapat digunakan dalam industri, untuk menghasilkan tenaga listrik, atau untuk transportasi, tergantung pada jenis mekanisme yang digerakkan. (P.Shlyakhin, 1999)



Gambar 2.1 Turbin Uap (A.M.T. UTAMA, 2022)

(Septianto, 2017) Menjelaskan Turbin uap (*steam turbine*) adalah penggerak mula yang mengubah energi potensial menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya di ubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Putaran poros turbin dapat langsung dihubungkan dengan mekanisme yang akan digerakkan. Tergantung pada mekanisme yang digunakan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang seperti bidang industri, untuk pembangkit tenaga listrik, dan untuk transportasi. Pada proses perubahan energi potensial menjadi energi mekanisnya yaitu dalam bentuk putaran dilakukan dengan berbagai cara. Turbin uap pertama dikembangkan oleh *Sir Charles Parsons* pada tahun 1884. Pada perkembangannya, turbin uap ini mampu menggantikan peranan dari kinerja mesin

uap piston torak. Hal ini disebabkan karena turbin uap memiliki kelebihan berupa efisiensi termal yang lebih besar dan perbandingan berat dengan daya yang dihasilkan yang cukup tinggi. Pada prosesnya turbin uap menghasilkan gerak rotasi, sehingga hal ini dapat digunakan sebagai penggerak generator listrik. Secara umum turbin uap diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu : Impuls, reaksi, dan gabungan impuls dan reaksi

2.1.1 Prinsip Kerja Turbin Uap

(Suharidiansyah, 2024) Menjelaskan secara singkat prinsip kerja turbin uap adalah sebagai berikut :

1. Uap masuk ke dalam turbin melalui *nozzle*. Di dalam *nozzle* energi panas dari uap diubah menjadi energi kinetik, dan uap mengalami ekspansi. Tekanan uap saat keluar dari *nozzle* lebih kecil dibandingkan saat masuk, tetapi kecepatan uap keluar dari *nozzle* lebih besar. Uap yang memancar keluar diarahkan ke sudu-sudu turbin berbentuk lengkungan yang dipasang di sekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah-celah antara sudu turbin dibelokkan mengikuti lengkungan sudu. Perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya dorong yang memutar roda dan poros turbin. Jika uap masih mempunyai kecepatan saat meninggalkan sudu turbin berarti hanya sebagian yang energi kinetis dari uap yang diambil oleh sudu-sudu turbin yang berjalan. Supaya energi kinetis yang tersisa saat meninggalkan sudu turbin dimanfaatkan maka pada turbin dipasang lebih dari satu baris sudu gerak.
2. Jika uap masih memiliki kecepatan saat meninggalkan sudu turbin, berarti hanya sebagian energi kinetis uap yang diambil oleh sudu-sudu turbin. Untuk memanfaatkan energi kinetis yang tersisa, turbin dilengkapi dengan lebih dari satu baris sudu gerak. Sebelum memasuki 6 baris kedua sudu gerak dipasang satu baris sudu tetap (*guide blade*) yang berfungsi untuk mengubah arah kecepatan uap sehingga uap dapat masuk ke baris kedua sudu gerak dengan arah yang tepat.
3. Kecepatan uap saat meninggalkan sudu gerak terakhir harus dibuat sekecil mungkin agar energi kinetis yang tersedia dapat dimanfaatkan

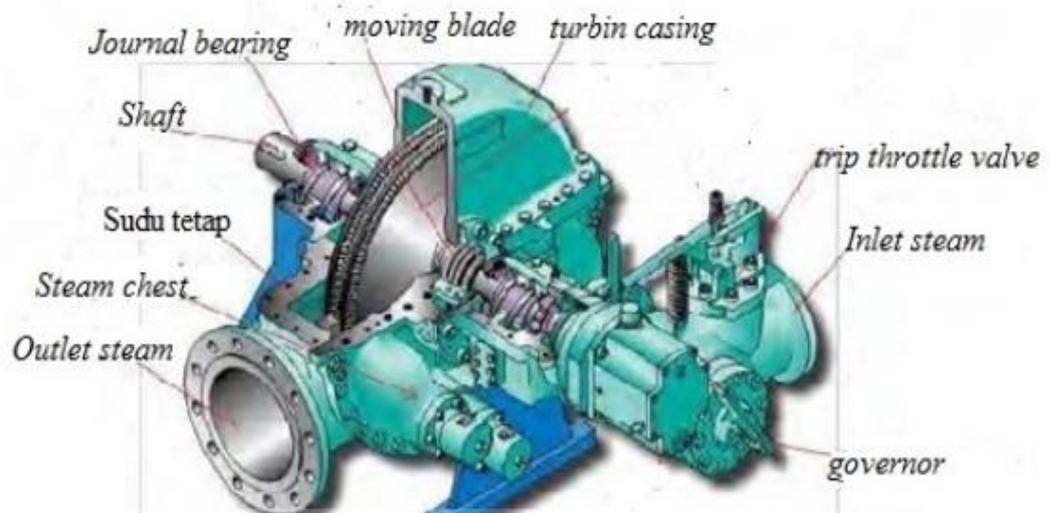
maksimal. Dengan demikian efisiensi turbin meningkat karena kehilangan energi relatif kecil

2.1.2 Jenis Jenis Turbin Uap

Berdasarkan *Stage* (A.M.T Utama, 2022) Menjelaskan bahwa jenis-jenis turbin terbagi atas :

1. *Single Stage*

Dalam turbin *single stage* atau satu tahap, uap dipercepat melalui satu riam diam *nozzle* dan diarahkan ke sudu berputar pada roda turbin untuk menghasilkan tenaga. Desain Rateau memiliki satu baris *bucket* per tahap. Desain *Curtis* memiliki dua barisan *bucket* bertahap dan membutuhkan satu set baling-baling berputar antara yang pertama dan yang lainnya *bucket* ember baris kedua untuk mengarahkan aliran uap. Turbin satu tahap biasanya terbatas pada sekitar 2500 HP dan untuk unit yang lebih besar butuh desain khusus. Di bawah 2500 HP, pilihan antara *single* dan *multi stage* biasanya aspek ekonomis. Turbin *single stage* memiliki harga lebih rendah namun membutuhkan lebih banyak uap daripada multi stage karena efisiensi turbin satu tahap yang lebih rendah.

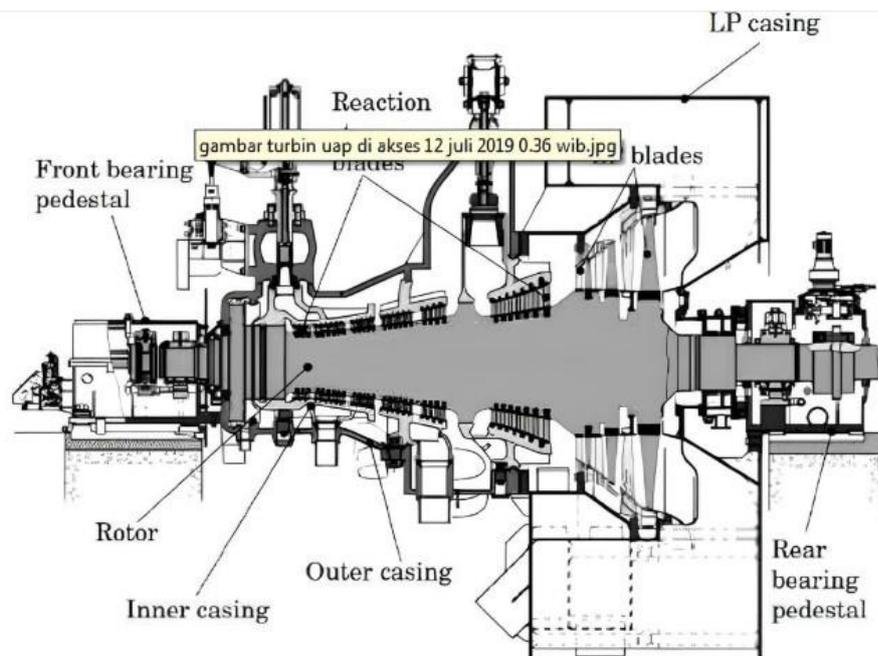


Gambar 2.2 Turbin *Single Stage* (Hadi, 2021)

2. *Multi Stage*

Disini sudu-sudu turbin dibuat bertingkat, biasanya cocok untuk daya besar Pada turbin bertingkat terdapat deretan sudu 2 atau lebih. Sehingga turbin tersebut terjadi distribusi kecepatan / tekanan. Pada turbin dengan 3 tingkat misalnya, terdiri dari 3 sudu gerak yang terdapat pada poros. Uap dari *nozzel* mengenai sudu-sudu yang akan mengerakkan poros berputar. Ketika uap melewati nosel pertama, kecepatan uap akan menaik, dan tekanan uap akan menurun. Penurunan tekanan akan diikuti dengan kenaikan volume spesifik

Uap mengekspansi sebagian energi ke sudu gerak dan meninggalkan nosel pertama, serta memasuki *nozzel* ke 2, dimana uap mengekspansi sebagian energi lagi. Energi diekspansi pada tingkat ke 2 dan ke 3. Setelah uap melalui tingkat ke 3, dimana uap memberikan energinya untuk menghasilkan gerak, uap akan meninggalkan turbin sebagai uap ke luar. Ukuran sudu gerak setiap tingkat akan lebih besar dari tingkat sebelumnya seiring dengan dengan kenaikan volume spesifik uap



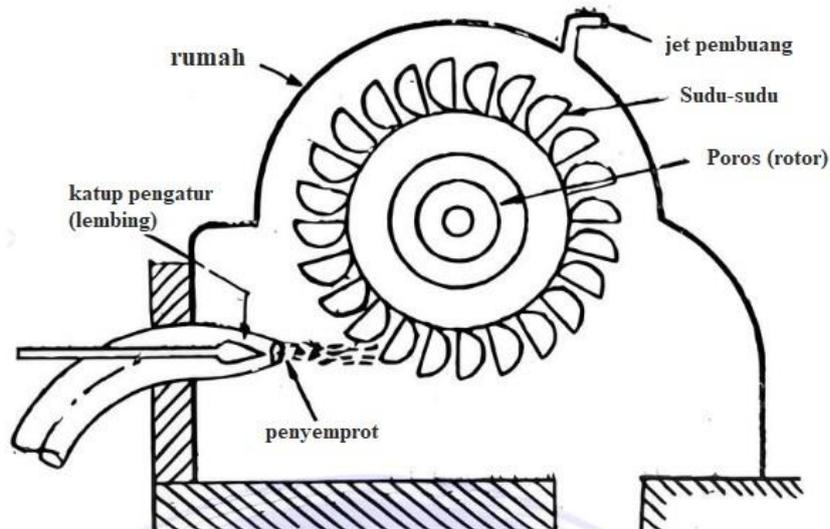
Gambar 2.3 Turbin *Multi Stage* (F .F. Prasojo, 2022)

Berdasarkan Geometri Sudu (A.M.T Utama, 2022) Menjelaskan bahwa jenis-jenis turbin berddasarkan *stage* terbagi atas turbin impuls dan turbin reaksi. Dalam turbin uap, uap dengan entalpi tinggi (tekanan dan suhu tinggi) *nozzle* masuk lebih luas (sudu stasioner) di mana energi kinetik meningkat dengan menghasilkan energi tekanan (peningkatan kecepatan karena penurunan tekanan). Energi kinetik (kecepatan tinggi) diubah menjadi energi mekanik (rotasi peningkatan poros torsi atau kecepatan) dengan prinsip impuls dan reaksi. Seperti dalam kasus selang pemadam kebakaran, aliran air yang dikeluarkan dari *nozzle*, kecepatannya meningkat, sehingga mendorong dengan kekuatan yang cukup besar. Turbin yang memanfaatkan gaya impulsif berkecepatan tinggi dari uap dikenal sebagai turbin impuls. Sementara air keluar dari *nozzle* selang pemadam kebakaran meningkat kecepatannya karena adanya kekuatan reaksioner pada *nozzle*. Hal ini karena gaya reaksioner berlawanan arah dengan aliran air. Turbin yang menghasilkan gaya reaksi yang dihasilkan oleh aliran uap melalui *nozzle* adalah reaksi turbin.

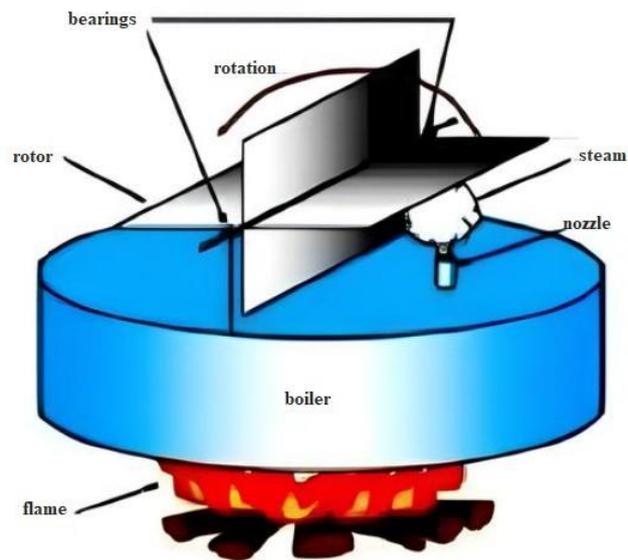
1. Turbin *Impuls*

Prinsip *impuls* adalah mengubah momentum aliran, yang diarahkan ke arah sudu yang bergerak oleh sudu stasioner. Dorongan kekuatan mendorong sudu bergerak ke depan. Energi ini diubah menjadi energi mekanik dengan memutar poros dalam *nozzle* turbin. Energi kinetik yang akan dikonversi menjadi sudu menjadi energi mekanis dan ditransfer melalui rotor, poros dan kopling ke beban. Penurunan enthalpi cukup tinggi untuk setiap sudu yang bergerak. Turbin *impuls* memiliki satu *velocity-compounded* (kecepatan diserap oleh sudu) dan 4 *pressure-compounded*. Kecepatan diserap dalam 2 tahap melalui 2 baris awal dalam sudu. 15 Dalam sudu yang bergerak kecepatan menurun sedangkan tekanan dipertahankan tetap. Sudu *impuls* biasanya simetris dan memiliki input dan output dengan sudut sekitar 20 derajat. Mereka umumnya dipasang di bagian tekanan yang lebih tinggi pada bagian turbin di mana volume spesifik uap rendah dan membutuhkan area aliran yang lebih kecil, dibandingkan tekanan yang lebih rendah. Sudu impuls pendek dengan penampang konstan. Dalam turbin impuls murni, ketika uap

melewati sudu stasioner, hal tersebut menyebabkan penurunan tekanan. Tidak ada penurunan tekanan dalam uap saat melewati sudu berputar. Oleh karena itu, dalam turbin impuls, semua perubahan energi tekanan menjadi energi kinetik terjadi pada sudu stasioner, sedangkan perubahan energi kinetik menjadi energi mekanik terjadi di sudu turbin yang bergerak



Gambar 2.4 Turbin Impuls (Wahyudi, 2019)

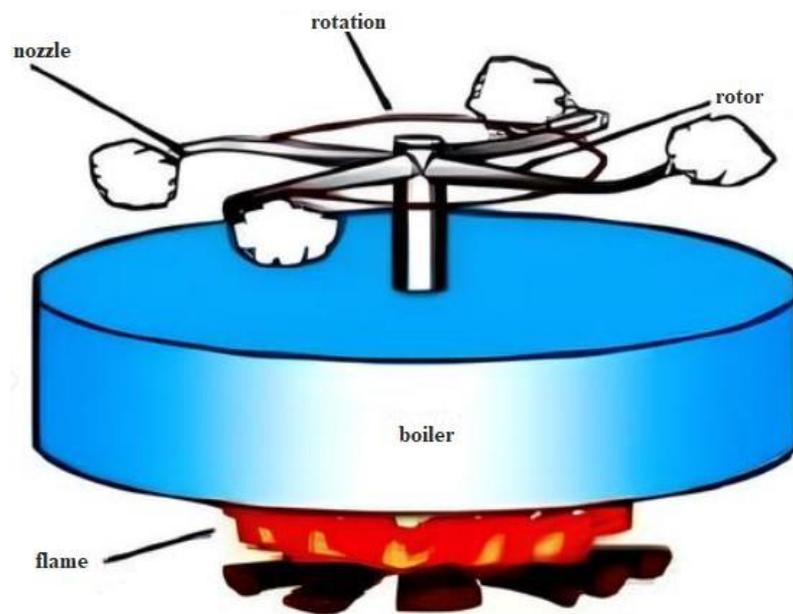


Gambar 2.5 Prinsip Turbin Impuls (A.M.T UTAMA, 2022)

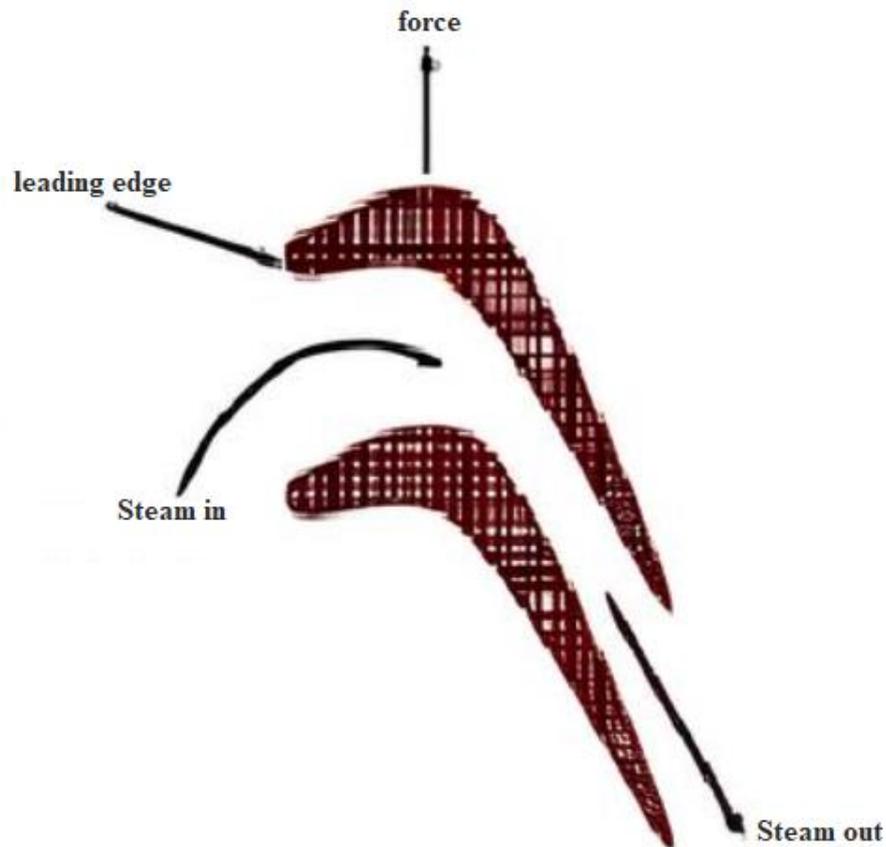
2. Turbin reaksi

Prinsip turbin reaksi terdiri dari gaya reaksi pada sudu bergerak karena uap dipercepat melalui *nozzle*. *Nozzle* sebenarnya dibuat oleh sudu. Dalam

turbin reaksi, tidak ada *nozzle* untuk mengubah energi uap menjadi energi mekanik. Setiap tahap turbin terdiri dari seperangkat sudu stasioner dan deretan putaran sudu pada poros. Sudu yang bergerak bekerja karena perbedaan tekanan antara uap depan dan di belakang sudu yang bergerak. Karena ada penurunan tekanan terus menerus di setiap tahap, uap diterima sekitar seluruh keliling sudu sehingga sudu stasioner membentangi di seluruh lingkaran. Uap melewati sudu stasioner yang mengarahkan uap ke sudu yang berputar. Saat uap lewat sudu berputar ini, ada penurunan tekanan dari sisi input ke sisi output yang meningkatkan kecepatan uap dan menghasilkan rotasi oleh reaksi uap pada sudunya. Prinsip Turbin *Impuls* Secara umum, turbin reaksi tidak berdiri sendiri, tetapi bekerja di belakang turbin impuls apakah dibangun dalam satu rotor atau pada rotor yang terpisah, tetapi masih terhubung dengan kopling. Tujuan dari turbin impuls adalah untuk mengontrol kecepatan dan mengurangi entalpi uap ke tingkat yang ditentukan. Turbin reaksi hanya menerima kondisi uap dari sudu impuls. Tahap reaksi didahului oleh tahap impuls kecepatan majemuk awal di mana penurunan tekanan besar terjadi. Ini menghasilkan turbin yang lebih pendek dan lebih murah



Gambar 2.6 Prinsip Turbin Reaksi (A.M.T UTAMA, 2022)

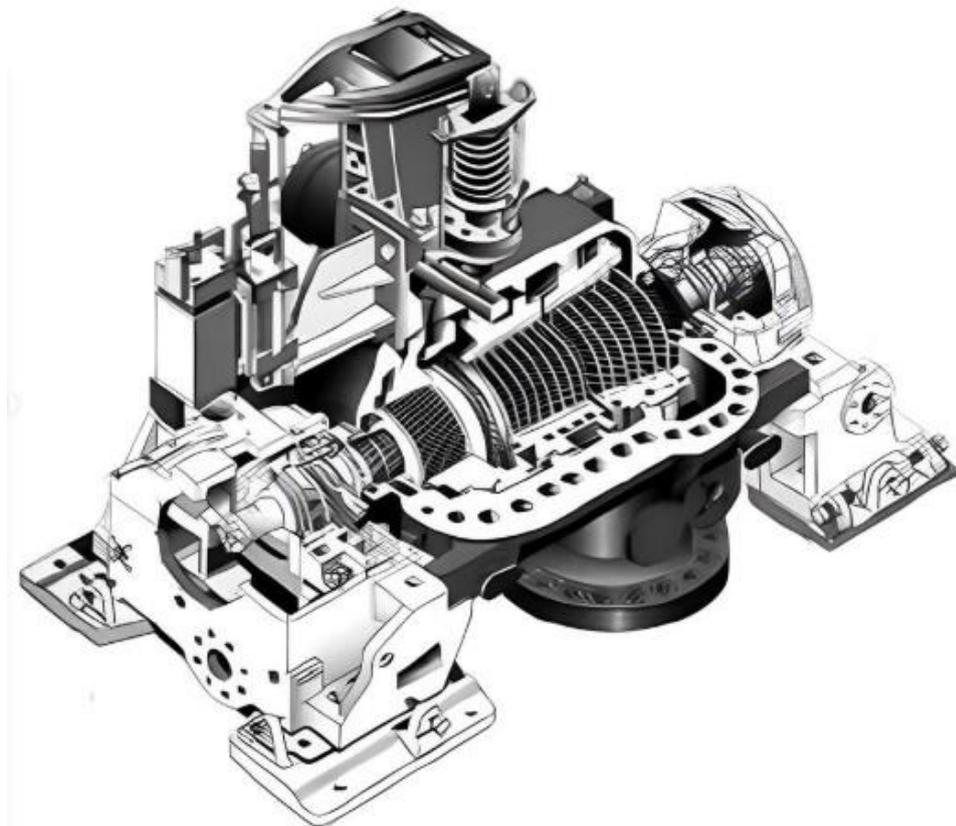


Gambar 2.7 Penampang sudu turbin reaksi (A.M.T UTAMA, 2022)

Berdasarkan Suplai Uap (A.M.T Utama, 2022) Menjelaskan bahwa jenis-jenis turbin berdasarkan suplai Uap merupakan Saat menentukan turbin sesuai kebutuhan dan kondisi gas buang, mereka dikategorikan sebagai kondensasi (*condensing*) dan non- kondensasi (*non condensing*) atau tekanan balik (*back pressure*), *reheat-condensing*, dan ekstraksi serta induksi.

1. Turbin *Condensing*

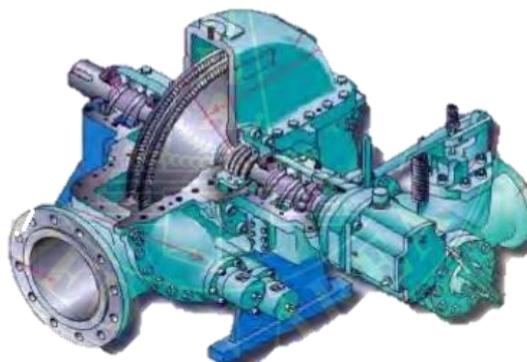
Turbin uap jenis ini digunakan terutama sebagai penggerak untuk generator listrik di pembangkit listrik. Tekanan uap yang keluar (*exhaust*) lebih rendah dibandingkan tekanan atmosfer ke kondensor.



Gambar 2.8 Turbin *Condensing* (A.M.T UTAMA, 2022)

2. Turbin *non* kondensasi (*non condensing*) atau tekanan balik (*back pressure*).

Jenis turbin ini digunakan terutama di pabrik pengolahan, di manatekanan uap *exhaust* dikendalikan oleh stasiun pengendali yang mempertahankan tekanan uap sesuai dengan tekanan yang dibutuhkan.



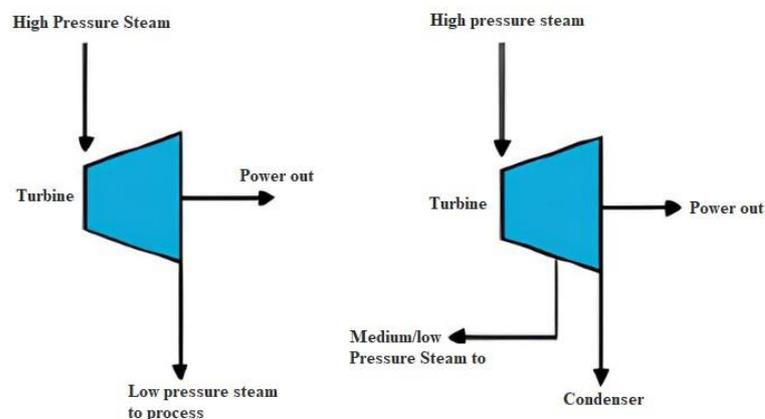
Gambar 2.9 Turbin *Non* Kondensasi(Wahyudi, 2019)

3. Turbin Kondensasi Panas Ulang

Turbin jenis ini digunakan terutama di pembangkit tenaga listrik. Di unit-unit ini, uap utama keluar dari bagian turbin bertekanan tinggi dan dikembalikan ke boiler, di mana ia dipanaskan dengan peningkatan suhu uap yang terkait. Uap sekarang berada pada tekanan yang lebih rendah tetapi seringkali pada suhu superheat yang sama dengan kondisi uap awal, dan dikembalikan ke tekanan sedang dan atau rendah bagian turbin untuk ekspansi lebih lanjut.

4. Turbin Ekstraksi dan Induksi

Turbin jenis ini juga ditemukan terutama di pabrik pengolahan. Pada turbin ekstraksi, uap diambil dari turbin di berbagai titik ekstraksi dan digunakan sebagai uap untuk proses. Dalam turbin induksi, uap bertekanan rendah dimasukkan ke dalam unit di sebuah tahap menengah untuk menghasilkan daya tambahan.



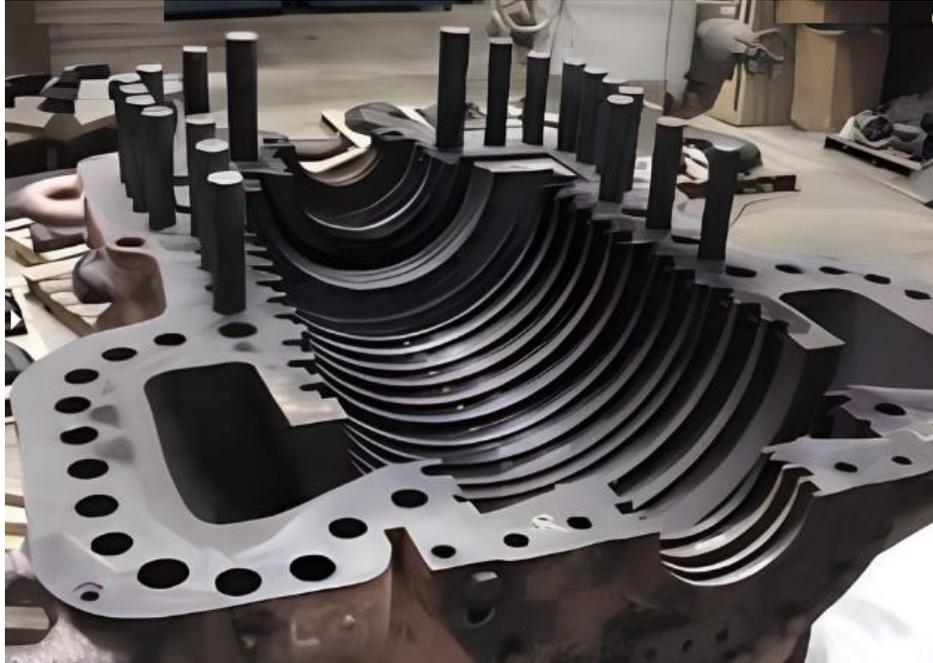
Gambar 2.10 Ekstraksi dan Induksi (A.M.T UTAMA, 2022)

2.1.3 Komponen-komponen turbin uap

Secara umum, bagian-bagian utama dari sebuah turbin uap yaitu (Setiawan, 2023)

1. *Cassing*

Cassing adalah sebagai penutup bagian-bagian utama turbin.



Gambar 2. 11 *Cassing Turbin* (Ramadhan, 2023)

2. *Rotor*

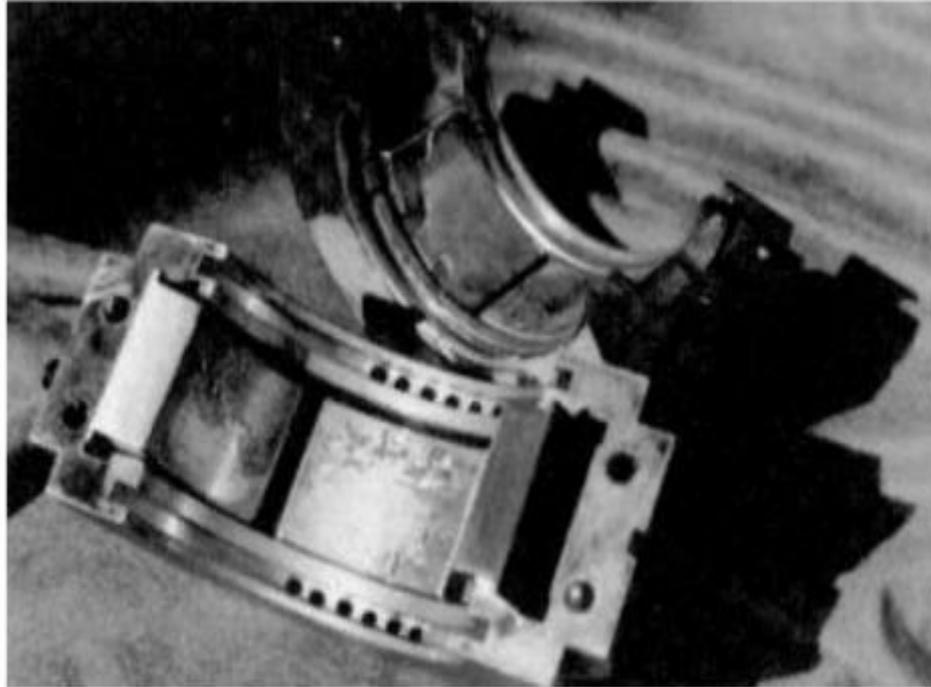
Rotor adalah bagian turbin yang berputar yang terdiri dari poros, sudu turbin atau deretan sudu yaitu *stationary blade* dan *moving blade*. Untuk turbin bertekanan tinggi atau ukuran besar, khususnya untuk turbin jenis reaksi maka motor ini perlu di *balance* untuk mengimbangi gaya reaksi yang timbul secara aksial terhadap poros.



Gambar 2.12 *Rotor* (Ramadhan, 2023)

3. *Journal Bearing*

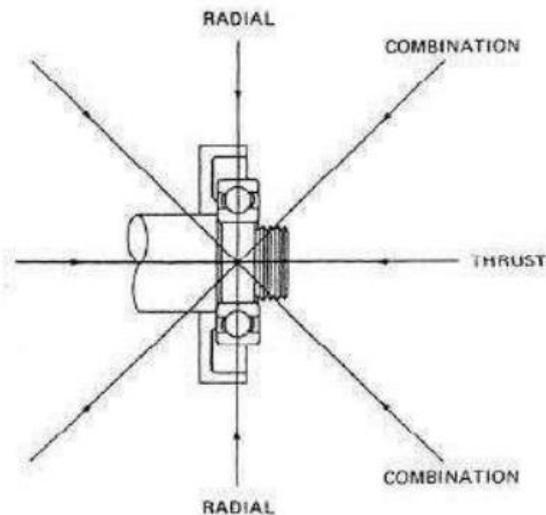
Journal bearing adalah bagian yang berfungsi untuk menahan gaya radial atau gaya tegak lurus *rotor*.



Gambar 2.13 *Journal Bearing* (Pulungan, 2023)

4. *Thrust Bearing*

Thrust bearing adalah bagian turbin yang berfungsi untuk menahan atau untuk menerima gaya aksial atau gaya sejajar terhadap poros yang merupakan gerakan maju mundur nya poros *rotor*. (Irin .M, Tomi .A, 2025) Menjelaskan bahwa Bantalan aksial (*Thrust bearing*) yang digunakan dalam turbin uap umumnya berbantalan miring. Sudut kemiringan dapat bervariasi dengan kapasitas beban bantalan. Umumnya dua bantalan dorong dipasang dalam konfigurasi depan ke depan atau belakang ke belakang untuk menyeimbangkan gaya dorong rotor aksial di kedua arah. Akhir-akhir ini, dua bantalan dorong dipasang di sisi bantalan jurnal, sehingga menjadi jenis bantalan gabungan



Gambar 2.14 *Thrust Bearing* (Irin .M, Tomi .A, 2025)

5. *Main Oil Pump*

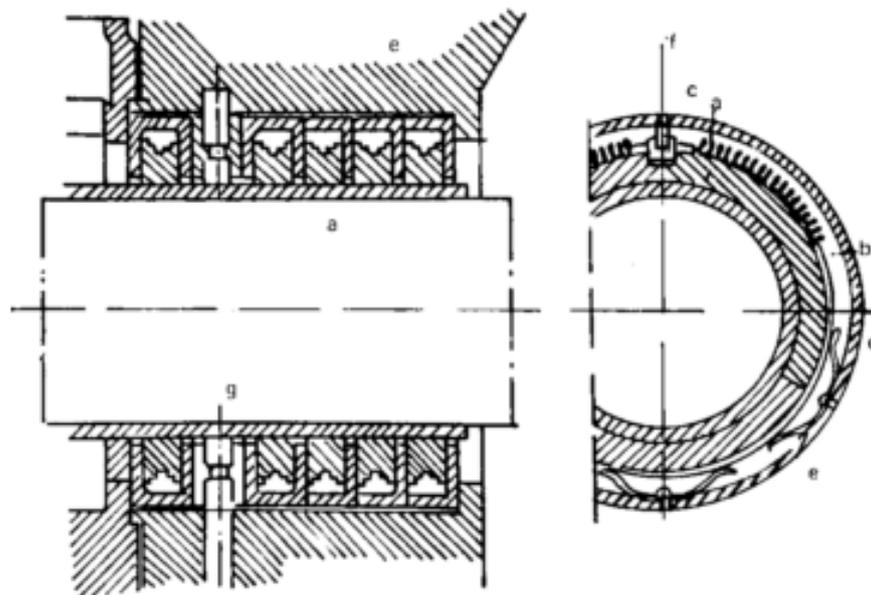
Main oil pump berfungsi untuk memompakan oli dari tangki untuk disalurkan pada bagian-bagian yang berputar pada turbin. (Iskandar & Pangeran, 2016) menuliskan bahwa *Main oil pump* ini digunakan untuk mengalirkan *lube oil* ke *main turbine* dan kompresor. Dilihat dari fungsinya kehandalan kerja dari OPST harus terjaga dengan baik. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kenaikan vibrasi yang berulang dalam waktu yang pendek. Walaupun terdapat *standby oil pump* yang digerakan oleh motor listrik yang diaktifkan apabila terjadi kerusakan pada OPST tetapi kerusakan ini mengakibatkan kerugian karena motor listrik tersebut membutuhkan daya.



Gambar 2.15 *Main Oil pump* (Rizki, 2016)

6. *Set Carbons*

Set Carbons berfungsi menahan kebocoran uap. Bahan paking berbentuk cincin-cincin terbuat dari campuran zat arang dan grafit. Bahan carbon mempunyai sifat yang negatif di banding dengan bahan-bahan pada umumnya, jadi dalam keadaan panas malahan susut sehingga akan makin merapat pada poros dan menjadikan timbul gesekan. Bahan Carbon tahan suhu tinggi tetapi cukup lunak terhadap porosnya, sehingga mengalami keausan; sebab itu memerlukan banyak pemeliharaan



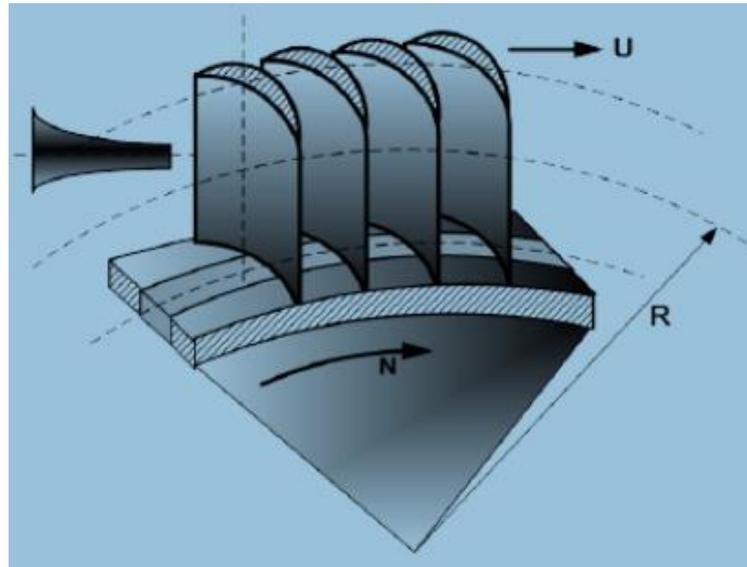
Gambar 2.16 *Set Carbons* (Setiawan, 2023)

7. *Labirint Seal*

Labirint Seal berfungsi menahan kebocoran oli.

8. *Impuls Stage*

Impuls stage adalah sudu-sudu turbin tingkat pertama yang berjumlah sebanyak 116 buah.



Gambar 2.17 *Impuls Stage* (Edi B.Kacaribu, et al., 2015)

9. *Stasionary Blade*

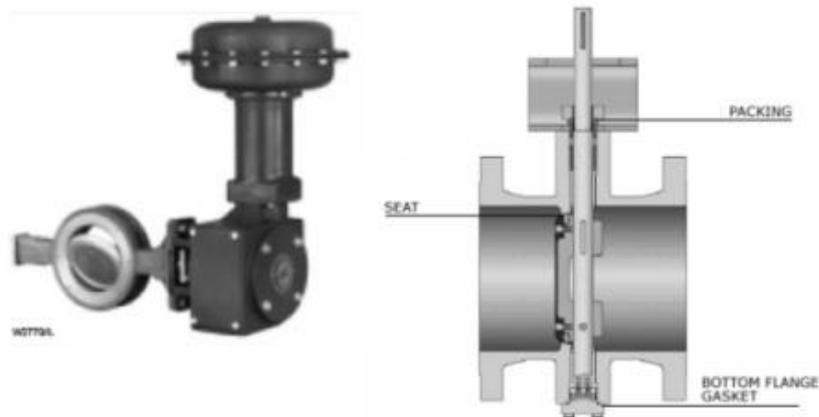
Stasionary blade adalah sudu-sudu yang berfungsi menerima dan merubah energi uap bertekanan dan mengarahkan uap yang masuk.

10. *Moving Blade*

Moving blade adalah sudu-sudu yang berfungsi untuk menerima dan mengubah energi uap yang masuk menjadi energi kinetik yang akan memutar generator melalui poros yang terhubung.

11. *Control Valve*

Control valve adalah katup yang berfungsi untuk mengatur uap yang masuk kedalam turbin sesuai dengan jumlah uap yang dibutuhkan.

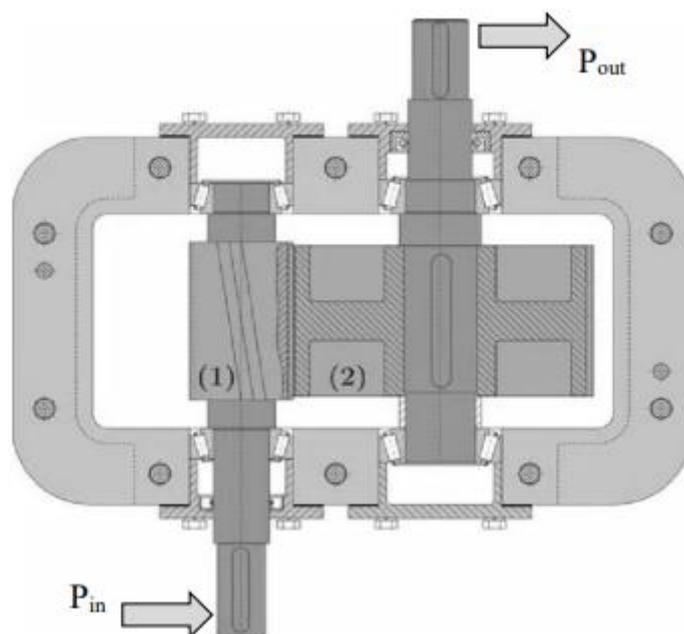


Gambar 2.18 *Control Valve* (Sadono et al., 2013)

12. *Stop Valve*

Stop valve merupakan katup yang berfungsi untuk menyalurkan atau menghentikan aliran uap yang menuju ke turbin.

13. *Reducing Gear*



Gambar 2.19 *Reducing gear* (Said Aiyub, M. et al., 2022)

Reducing gear merupakan bagian turbin yang biasanya terpasang pada turbin-turbin dengan kapasitas besar dan berfungsi untuk mengurangi putaran poros rotorturbin. *Reducing gear* terdiri dari beberapa bagian, yaitu :

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

2.1.4 Introduksi kegagalan turbin uap pada *power plant*

(Setiawan, 2023) menuliskan bahaya bukan hanya korosi saja, yang menyebabkan sudu erosi atau aus, tetapi menurunnya energi mekanik yang mengakibatkan menurunnya efisiensi turbin dan serta naiknya kerugian energi”. menerangkan Turbin Uap sangatlah sensitif terhadap kualitas steam yang di gunakan. Tetapi ini tergantung dari jenis dan type Turbin yang kita gunakan. (Siregar, A.M et al., 2022) menuliskan perancangan elemen-elemen mesin merupakan bagian penting dari bidang perancangan industri yang lebih besar dan lebih umum. Pada intinya adalah suplai *steam* (uap) baik tekanan ataupun temperature haruslah terpenuhi. Dan jangan sampai terjadi *carry over*

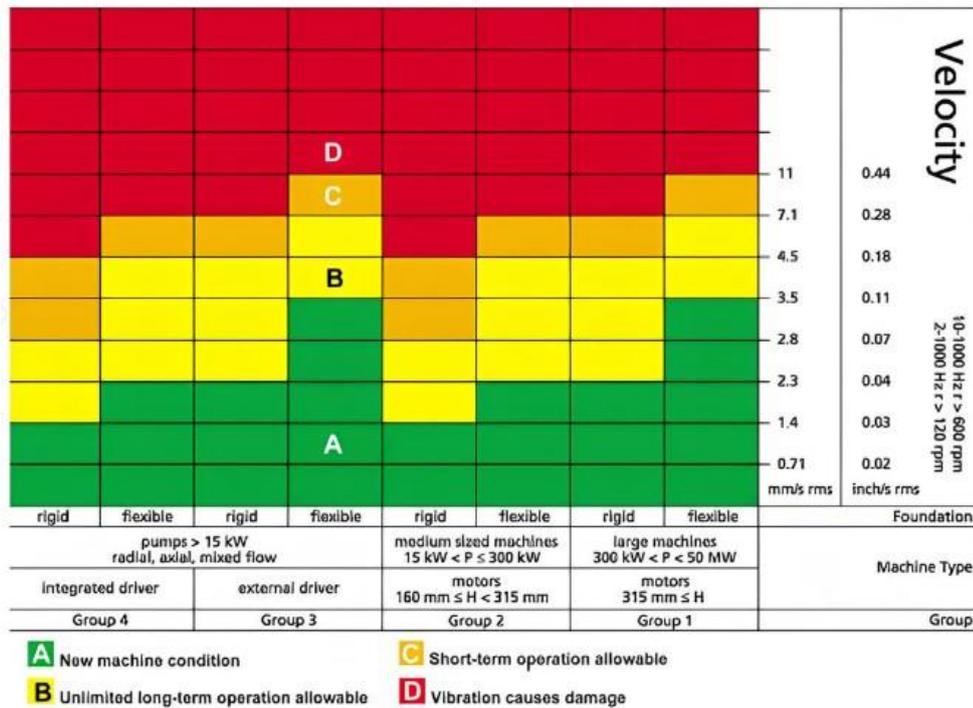
karna hal ini sangatlah berbahaya. (Sibarani. A. I., 2019). Adapun beberapa kerusakan akibat kualitas atau tekanan yang buruk, antara lain :

1. Getaran pada turbin uap

(Lubis et al., 2021) menerangkan getaran tinggi ini harus segera di respon baik anda sebagai operator, sebagai supervisor ataupun penanggung jawab lainnya. Karena hal ini merupakan tanda bahwa ada sesuatu yg mengalami kerusakan. Jika anda menemukan kondisi ini segera untuk di lakukan pengecekan. Dan jika anda paksakan bisa fatal. Umumnya getaran terjadi pada area *bearing*. (Pulungan, 2023) menjelaskan bearing merupakan salah satu bagian dari elemen mesin yang memegang peranan cukup penting karena fungsi dari bantalan yaitu untuk menumpu sebuah *shaft* agar *shaft* dapat berputar tanpa mengalami gesekan yang berlebihan. Bantalan harus cukup kuat untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik sesuai fungsinya.

(Pulungan, 2023) menuliskan Nilai efektif kecepatan getaran digunakan untuk menilai kondisi mesin. Standar Vibrasi ISO 10816-3 digunakan sebagai referensi untuk menentukan level vibrasi mesin (Setyawan & Suryadi, 2018). Gambar 2.12 menunjukkan jenis ISO memberikan standar untuk pengukuran yang dilakukan di lokasi mengenai tingkat getaran. Set standar berlaku untuk mesin yang memiliki kapasitas lebih dari 15 KW dan kecepatan operasi di tengah 120 RPM dan 15000 RPM

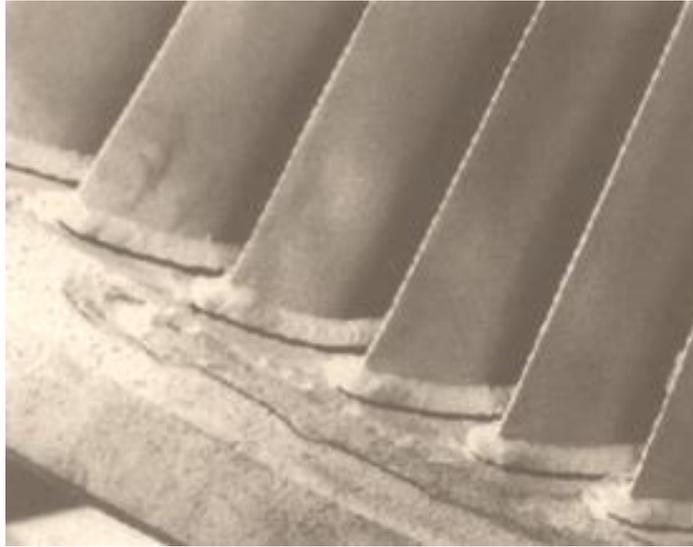
Standar ISO 10816-3



Gambar 2.20 Velocity (Pulungan, 2023)

2. Erosi pada sudu

(Umurani et al., 2020) Menyebutkan sudu adalah bagian dari turbin, dimana konversi energi terjadi sudu terdiri dari bagian akar sudu badan sudu dan ujung sudu kemudian di rangkai sehingga membentuk satu lingkaran penuh. Masalah uap basah telah menjadi isu penting dalam industri turbin uap. Hal ini menyebabkan penurunan efisiensi dan erosi air pada sudu (Li et al., 2014) . Ada banyak efek mekanis karena adanya uap basah di turbin, di mana masalah utamanya adalah erosi bilah yang bergerak (Sector, 2005). Erosi berarti kerusakan yang disebabkan oleh gesekan dan kontak uap pada sudu. Pengaruh ini lebih terasa di bagian turbin saat uap berubah dari keadaan jenuh menjadi basah. Transfer adalah penyebab utama kerusakan pada sudu turbin penyeban. Sudu turbin yang seharusnya mendorong steam kering bercampur dengan air. mengrusak sudu. Bisa terdiri dari bintik-bintik lubang kecil hingga keausan yang parah. (Sibarani. A. I., 2019)

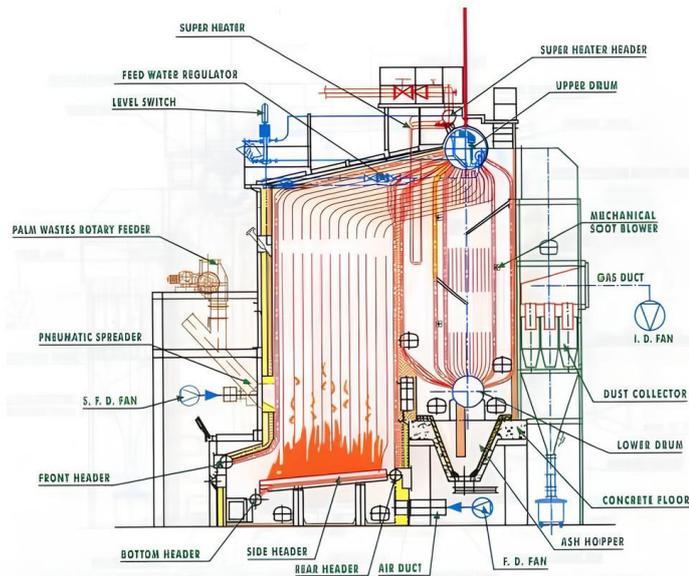


Gambar 2.21 Erosi pada sudu turbin (Sector, 2005)

2.2 Boiler

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau *steam*. Air panas atau *steam* pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi *steam*, volumenya akan meningkat sekitar 1.600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga boiler merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat teliti. (Gamma, 2009).

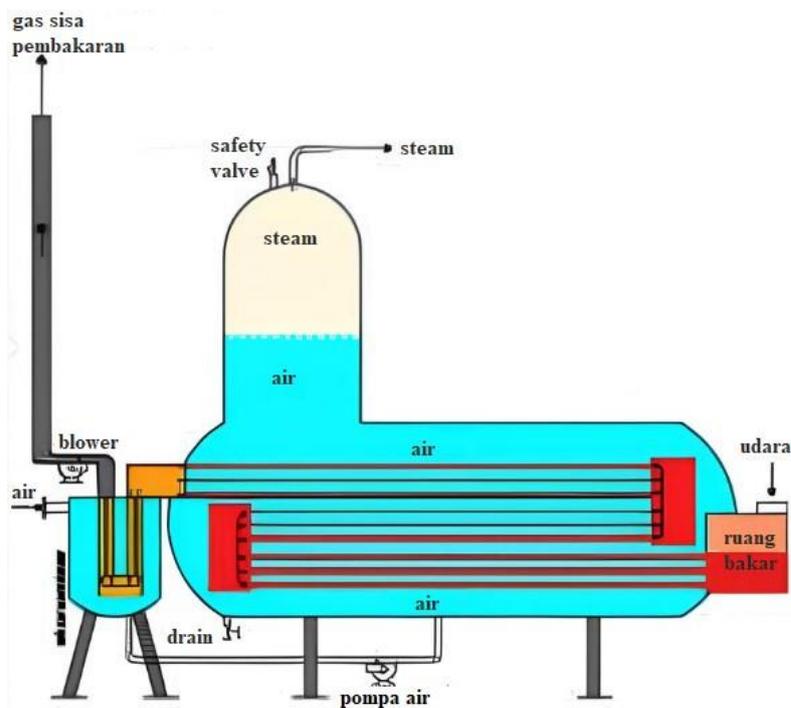
Peralatan yang menghasilkan uap atau steam, untuk berbagai aplikasi dan proses industri. Panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar atau sumber panas lainnya naik ke air boiler, meningkatkan suhu air dan mengubahnya menjadi uap. (Fatimura, 2015). Komponen utama di dalam sistem pembangkit tenaga uap adalah Boiler atau yang biasanya disebut ketel uap. Alat ini merupakan alat penukar kalor, dimana energi panas yang dihasilkan dari pembakaran diubah menjadi energi potensial yang berupa uap. Uap yang mempunyai tekanan dan temperatur tinggi inilah yang nantinya digunakan sebagai media penggerak utama turbin uap. Energi panas diperoleh dari pembakaran bahan bakar di ruang bakar. (Efendi, 2021)



Gambar 2.22 Boiler (F.F. Prasajo, 2022)

(F.F. Prasajo, 2022) menjelaskan bahwa boiler di klasifikasikan menjadi dua yaitu :

1. Boiler Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)

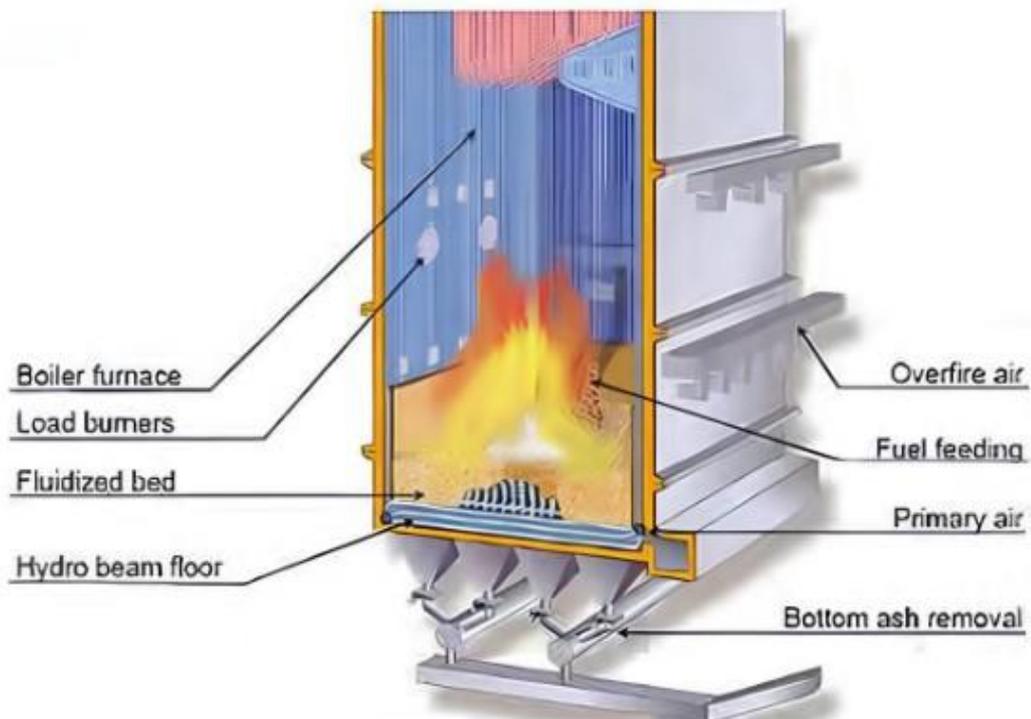


Gambar 2.23 Boiler Pipa Api (Umi Hanifah et al., 2019)

Boiler jenis ini pada bagian *tube* nya dialiri dengan gas pembakaran dan bagian lainnya yaitu *shell* dialiri air yang akan diuapkan. *Tube* langsung didinginkan oleh air yang melindunginya. Jumlah panas dari boiler tergantung dari jumlah laluan *horizontal* dari gas pembakaran diantara *furnance* dan pipa-pipa api. Laluan gas pembakaran pada *furnance* dihitung sebagai panas pertama. Boiler jenis ini banyak dipakai untuk industri pengolahan mulai skala kecil sampai skala menengah

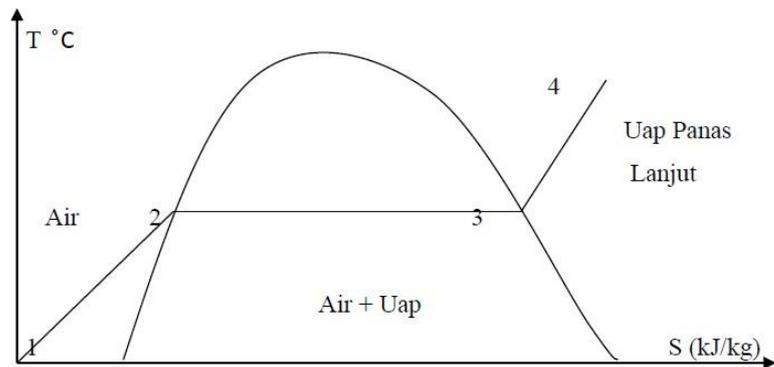
2. Boiler Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

Boiler jenis ini banyak dipakai untuk kebutuhan uap skala besar. Prinsip kerja dari boiler pipa air berkebalikan dengan pipa api, gas pembakaran dari *furnance* dilewatkan ke pipa-pipa yang berisi air yang akan diuapkan



Gambar 2.24 Boiler pipa air (Efendi, 2021)

2.3 Proses pembentukan uap



Gambar 2.25 diagram proses pembentukan uap (Prasojo. F. F., 2022)

Panaskan air dari keadaan awalnya (titik 1) ke keadaan cair jenuh (titik 2). Pemanasan dari titik 1 ke titik 2 hanya menaikkan suhu tetapi tidak mengubah fasa cair. Perubahan fase terjadi ketika air yang telah mencapai keadaan titik 2 dipanaskan secara terus menerus. Dalam hal ini, pemanas tidak menaikkan suhu air yang dipanaskan. Pasokan panas selanjutnya mengubah titik air menjadi fase uap atau memanaskannya dari titik 2 ke titik 3 (Prasojo. F. F., 2022).

Energi panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar diubah menjadi uap, yang meningkatkan entalpi air sehingga terbentuk uap air, yang mengandung energi dalam yang disimpan dalam bentuk panas dan tekanan. Menyentuh titik didih air adalah proses pembentukan uap, di mana fluida kerjanya adalah air. Titik didih suatu zat cair tergantung pada tekanan yang diberikan pada permukaan zat cair. (El-Wakil, 2015).

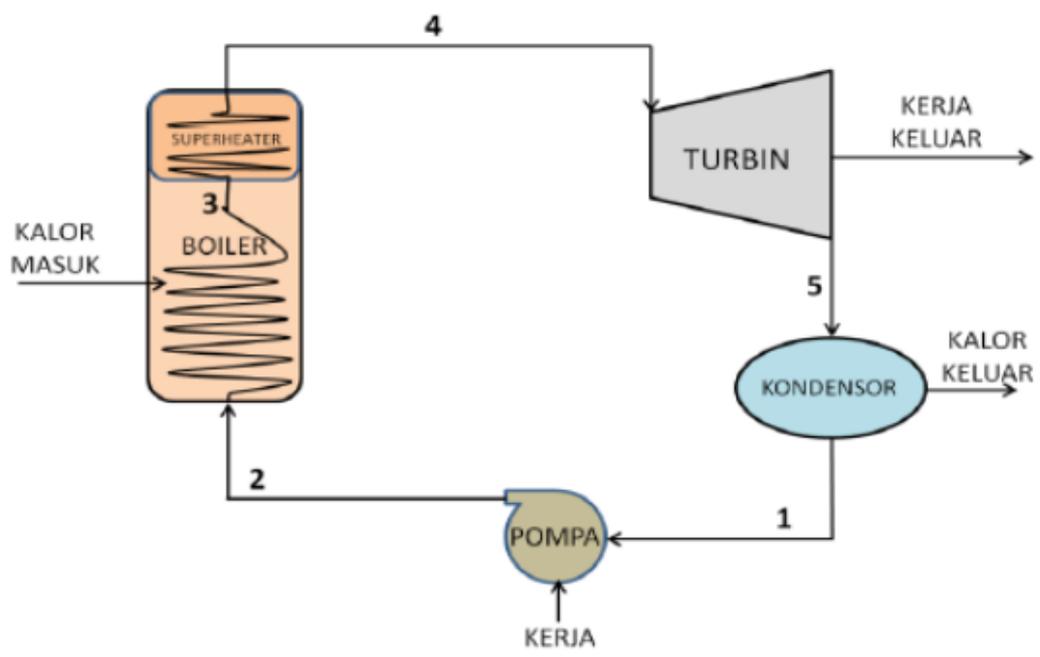
(Prasojo. F. F., 2022) menegaskan Adapun kelebihan penggunaan air sebagai fluida kerja adalah :

1. Mudah diperoleh dengan biaya yang murah.
2. Air dapat bersifat netral ($\text{pH} = 7$), sehingga sifat korosif yang merusak logam dapat diatasi.
3. Air tidak dapat terbakar.
4. Mampu menerima kalor dalam jumlah besar.
5. Dapat bekerja pada tekanan yang tinggi.

(Imannusa, 2022) Menegaskan bahwa Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit listrik yang menggunakan turbin uap sebagai penggerak

awal atau dengan kata lain menggunakan uap untuk memutar turbin. PLTU menggunakan air sebagai fluida kerja untuk dipanaskan menjadi uap dalam sirkulasi tertutup. Siklus tertutup berarti menggunakan fluida kerja yang sama berulang-ulang. Untuk urutan siklus tertutup secara pendek merupakan sebagai berikut

1. Pertama, air pada kondensor hasil dari kondensasi uap dari turbin akan didinginkan kemudian akan dialirkan dengan menggunakan pompa.
2. Kedua, air yang dialirkan menggunakan pompa bertujuan untuk mengisi seluruh luas perpindahan panas atau biasa disebut boiler.
3. Ketiga, ketika boiler terisi penuh dengan air. Ketel air ini akan dipanaskan menggunakan gas panas dari hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga air berubah menjadi superheater atau berubah menjadi uap. II-6
4. Keempat, uap yang dihasilkan boiler dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan tenaga mekanik berupa putaran, dimana tenaga mekanik ini digunakan untuk membangkitkan listrik dari generator.
5. Kelima, uap sisa dari keluaran turbin akan masuk ke kondensor untuk didinginkan dengan air pendingin sehingga berubah kembali menjadi air yang disebut air kondensat. Demikian siklus ini berulang-ulang secara terus menerus.



Gambar 2.26 Siklus fluida kerja pada PLTU (Imannusa, 2022)

2.3.1 *Saturated Steam*

(Setiawan, 2023) menegaskan, Saturasi uap adalah ketika tekanan dan suhu uap air sama dengan air fase cair atau cair. Uap saturasi menjadi fase transisi antara air fase cair dengan air fase gas murni, atau yang biasa kita kenal dengan uap panas lanjut (*superheated steam*). Pada saat air berada dalam fase transisi ini, terjadi pencampuran antara air fase cair (kita kenal dengan istilah *saturated water*) dengan air fase gas (kita kenal dengan istilah *saturated steam*) dalam proporsi yang sesuai dengan jumlah panas laten yang diserap fluida.

Saturated steam ini mulai terbentuk tepat pada saat air mencapai titik didihnya (titik *saturated water*), hingga semua energi dari panas laten diserap oleh air. Di saat seluruh panas laten telah diserap oleh air, dan jumlah fase uap sudah mencapai hampir 100% dibandingkan dengan fase cairnya, maka itulah batas akhir dari fase uap saturasi. Proses mencapai hampir 100% fase uap tersebut terjadi pada satu besaran tekanan dan temperatur konstan. Selanjutnya jika energi panas terus diberikan kepada uap saturasi, maka akan terjadi kenaikan temperatur fluida dan mendorong uap untuk berubah fase menjadi uap panas lanjut (*superheat*) (Polsri, 2019).

2.3.2 *Superheated Steam*

Uap panas lanjut, juga disebut sebagai uap panas lanjut, dihasilkan oleh alat superheater yang menghilangkan kadar air dalam uap dengan meningkatkan suhu uap jenuh atau uap yang penuh. (V.Wahyu Endriyana, 2013)

2.4 Tekanan *Steam*

Suatu boiler dipengaruhi banyak faktor seperti tekanan, suhu yang diinginkan, kapasitas, bahan bakar yang tersedia, lokasi penempatan boiler dan sebagainya. Secara ideal disain suatu boiler harus memiliki karakteristik sebagai berikut : Konstruksinya sederhana dengan biaya perawatan yang rendah, material konstruksi yang memadai sehingga dapat “menampung” kontraksi maupun ekspansi akibat perubahan suhu, menghasilkan steam yang bersih dan berkualitas tinggi, melaksanakan pembakaran dengan efisien dan kapasitas heat transfer yang maksimum, dan cepat menyesuaikan terhadap perubahan/fluktuasi produksi steam.

Boiler uap modern merupakan salah satu komponen dari unit pembangkit uap (*Steam Generating Units*) yang terintegrasi, yang didefinisikan sebagai sebuah unit dimana air, bahan bakar dan udara sebagai penyuplai (*input*) dan uap sebagai hasil (*output*). Unit pembangkit uap terdiri dari sebuah boiler dengan alat pembakar bahan bakarnya, *superheater*, *reheater*, *economizer*, dan *air heater* atau kombinasinya (Gamma, 2009).

2.5 Termodinamika

Termodinamika merupakan ilmu pengetahuan yang membahas mengenai panas dan mengenai sifat zat yang berhubungan dengan panas dan kerja. Seperti pengetahuan yang lain, dasar termodinamika adalah suatu pengamatan dan eksperimental. Dalam ilmu termodinamika, berbagai penemuan ini dinyatakan dalam suatu bentuk hukum termodinamika yang pertama, kedua dan ketiga (El-Wakil, 2015)

2.5.1 Hukum termodinamika pertama

Hukum ini menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dilenyapkan. Energi dari suatu sistem yang mengalami perubahan (proses) dapat bertambah atau berkurang oleh pertukaran dengan lingkungan dan diubah dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain di dalam sistem itu sendiri. Maka, hukum ini adalah semata-mata hukum “tata-buku” yang menyatakan pertukaran dalam kemampuan perubahan energi dan menjaga bahwa dalam setiap perubahan semua energi harus diperhitungkan (El-Wakil, 2015).

Hukum pertama tidak menunjukkan apakah suatu perubahan energi dari suatu

bentuk ke bentuk yang lain akan berjalan secara sempurna atau tidak, atau apakah beberapa bentuk dari suatu energi dapat dikonversikan secara penuh ke bentuk yang lain. Masalah keterbatasan tersebut akan berlaku dan diserahkan kepada hukum termodinamika kedua (El-Wakil, 2015).

(El-Wakil, 2015) Menjelaskan didalam sistem termodinamika dikenal 4 proses perubahan wujud atau perukuran energi, yaitu :

1. Proses pada tekanan konstan (isobarik)

Pada proses tekanan konstan, tekanan awal proses sama dengan tekanan akhir proses atau $p_1 = p_2$.

2. Proses pada volume konstan (isokhorik)

Pada proses isokhorik, volume awal akan sama dengan volume akhir gas atau $V_1 = V_2$

3. Proses pada temperatur konstan (isotermal)

Pada proses isotermal, temperatur awal proses akan sama dengan temperatur akhir proses atau $T_1 = T_2$.

4. Proses adiabatik reversibel (isentropi)

Proses adiabatik reversibel adalah proses termodinamika dimana tidak ada kalor yang masuk atau keluar dari sistem (adiabatis) dan proses ini mampu balik (reversibel) artinya tidak ada hambatan atau gesekan.

(Setiawan, 2023) menuliskan dalam termodinamika, entalpi adalah istilah yang menunjukkan jumlah energi internal suatu sistem termodinamika bersama dengan energi yang digunakan untuk melakukan kerja. Namun, entalpi hanya dapat dihitung melalui nilai perubahan. Secara matematis, perubahan entalpi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$h = u + pv \quad (2.1)$$

Keterangan :

h = Entalpi sistem (*joule*)

u = Energi internal (*joule*)

p = Tekanan dari sistem (Pa)

v = Volume Sistem (m^3)

Karena energi dalam u dan perkalian pv kedua-duanya memiliki satuan energi, H juga memiliki satuan energi. Lebih dari itu, karena u , p dan v merupakan sifat-sifat sistem, maka h juga sebuah sifat system (El-Wakil, 2015).

1. Mencari Nilai Entalpi *Steam* Masuk (h_1)

Mencari nilai entalpi dengan cara interpolasi dengan menggunakan *table* uap (Smith et al., 2022). Untuk menemukan nilai h dapat dilakukan dengan interpolasi seperti :

$$E = D + \left[(F - D) \times \left(\frac{B - A}{C - A} \right) \right] \quad (2.2)$$

Dimana :

T	H
A = T1 °C	D = h1 kJ/kg
B = T	E = hx ?
C = T2 °C	F = h2 kJ/kg

2. Mencari nilai entalpi keluar (h2)

Dalam menentukan nilai entalpi keluar pada turbin uap digunakan persamaan sebagai berikut :

$$h_2 = h_{2f} + (X \times h_{2fg}) \quad (2.3)$$

3. Perubahan entalpi (Δh)

Perubahan entalpi (Δh) merupakan selisih antara entalpi masuk dengan entalpi keluar (Prasojo. F. F., 2022)

$$\Delta h = h_1 - h_2 \quad (2.4)$$

2.5.2 Hukum termodinamika kedua

Bila hukum pertama adalah hukum kekekalan energi, yang menyatakan bahwa semua bentuk energi dapat saling dirubah satu sama lain, maka hukum kedua memberi batasan mengenai konversi beberapa bentuk energi menjadi bentuk lain. Ada dua bentuk energi yang paling banyak mendapat perhatian kita, yaitu kalor (*heat*) dan kerja (*work*). Hukum kedua tidaklah membantah kesetaraan dalam konversi kedua bentuk itu, tetapi hanya membatasi sampai dimana konversi itu bisaberlangsung (Merle C Potter & Craig W. Somerton, 2011)

Entropi adalah salah satu besaran termodinamika yang mengukur energi dalam sistem per-satuan temperatur yang tidak dapat digunakan untuk usaha. Dengan kata lain, entropi dalam sistem tertutup selalu naik, karena energi panas berpindah dari bagian yang lebih panas ke bagian yang lebih dingin dalam kondisi perpindahan panas. Pada suatu sistem yang panasnya terisolasi, entropi hanya berjalan satu arah (bukan sistem reversibel atau bolak-balik). (Setiawan, 2023) Entropi suatu sistem perlu diukur untuk menentukan bahwa energi tidak dapat dipakai untuk melakukan kerja pada proses-proses termodinamika. Proses-proses ini hanya bisa dilakukan oleh energi yang sudah dirubah bentuknya dan ketika energi dirubah menjadi kerja

atau usaha, maka secara teoritis mempunyai efisiensi maksimum tertentu. Selama kerja atau usaha tersebut, entropi akan terkumpul pada sistem, yang lalu terdisipasi dalam bentuk panas buangan (Merle C Potter & Craig W. Somerton, 2011)

$$E = D + \left[(F - D) \times \left(\frac{B - A}{C - A} \right) \right] \quad (2.5)$$

Dimana :

T	s
A = T1 °C	D = s1 kJ/kg.K
B = T	E = sx ?
C = T2 °C	F = s2 kJ/kg.K

2.5 Efisiensi Turbin

Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi turbin besarnya kerugian didalam turbin akan mempengaruhi efisiensinya. Kerugian yang besar berarti efisiensinya rendah. Faktor-faktor penyebab kerugian didalam turbin diantaranya adalah Kerugian pada Katup *Governor*, Kerugian pada *Nosel (Nozzle Loss)*, Kerugian pada *Moving Blades*, Kerugian pada uap meninggalkan *moving blades (Leaving Velocity / Carry Over Loss)*, Kerugian Gesekan, Kerugian Celah (*Clearance Loss*), Kerugian akibat kebasahan uap, Kerugian akibat kecepatan uap keluar turbin dan Kerugian luar (*External Loss*) (Wahyudi, 2019).

(Jaya, 2020) Menegaskan efisiensi turbin adalah perbandingan kinerja yang sebenarnya dari suatu peralatan dengan kinerja yang dapat dicapai dalam keadaan ideal untuk keadaan masuk dan tekanan keluar yang sama. (Prasojo. F. F., 2022) : Efisiensi turbin merupakan parameter yang menyatakan derajat keberhasilan komponen atau sistem turbin mendekati desain atau proses ideal dengan satuan persen (%)

(Nasrullah et al., 2023) menjelaskan semakin tidak sejajar arah aliran fluida dengan sudu-sudu turbin, semakin rendah efisiensi konversi energi aliran air menjadi daya yang dihasilkan oleh turbin. (Wahyudi, 2019) Menuliskan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi turbin besarnya kerugian didalam turbin akan mempengaruhi efisiensinya. Kerugian yang besar berarti efisiensinya rendah.

Faktor-faktor penyebab kerugian didalam turbin diantaranya :

- a. Kerugian pada Katup *Governor*.
- b. Kerugian pada *Nosel (Nozzle Loss)*
- c. Kerugian pada *Moving Blades*.
- d. Kerugian pada uap meninggalkan moving blades (*Leaving Velocity / Carry Over Loss*).
- e. Kerugian Gesekan. f. Kerugian Celah (*Clearance Loss*).
- g. Kerugian akibat kebasahan uap.
- h. Kerugian akibat kecepatan uap keluar turbin.
- i. Kerugian luar (*External Loss*).

$$\eta_{turbin} = \frac{W_{aktual}}{W_{isentropis}} \times 100\% \quad (2.6)$$

Untuk mengetahui efisiensi turbin uap, beberapa hal harus dipertimbangkan terlebih dahulu, antara lain:

2.5.1 Fraksi Uap

(Jaya, 2020) Fraksi uap merupakan banyaknya cairan yang terdapat dalam uap keluar pada turbin. Nilai fraksi digunakan untuk menghitung entalpi keluar turbin. Dalam menentukan efisiensi turbin uap fraksi uap dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$X = \frac{(s1 - sf^2)}{sfg^2} \quad (2.7)$$

2.5.2 Kerja Turbin

(Setiawan, 2023) Menerangkan Kerja turbin uap ditentukan dengan persamaan dan diperlukan parameter berupa laju aliran massa.

$$W_T = \dot{m} \times \Delta h \quad (2.8)$$

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat

Penelitian dilakukan di PT. Perkebunan Nusantara IV Pulu Raja.

3.1.2 Waktu

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan Judul	■					
2	Studi Kasus		■				
3	Pembuatan Proposal		■	■			
4	Pengambilan data		■	■	■		
5	Analisa Data				■		
6	Penyusunan Laporan Penelitian					■	
7	Sidang Tugas Akhir						■

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam proses penelitian ini antara lain adalah :

1. Data Sekunder yang digunakan adalah *Log sheet* operator
2. Data Primer yang digunakan adalah dokumentasi dan wawancara.

3.2.2 Alat

1. Turbin

Turbin yang di gunakan di PT. Perkebunan Nusantara IV Pulu Raja adalah *Dresser Rand* Kapasitas Daya 768 *Kilowatt* dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3.2 Spesifikasi turbin uap

<i>Specification</i>			
SN	167184 0101	<i>Turbine Speed</i>	5400 RPM
<i>Type</i>	503	<i>Max Speed</i>	5670 RPM
		<i>Over Speed</i>	6237 RPM
		Beban Maksimal	768 KW
P1	17	Bar abs	260°C
P2	3,4		
1/N	1500	<i>Dresser Rand</i>	



Gambar 3.1 *Pressure gauge*

2. *Control Panel Turbin uap*
Control Panel turbin uap yang digunakan di PT. Mulia Tani Jaya



Gambar 3.2 *Control Panel Turbine*

Control panel pada turbin uap terdapat parameter-parameter seperti :



Gambar 3.3 Turbin Control Panel



Gambar 3.4 Power Meter

3. *Boiler*

Boiler yang digunakan pada pada PT. Perkebunan Nusantara IV Pulu

Raja



Gambar 3.5 Boiler

4. *Panel Parameter boiler*

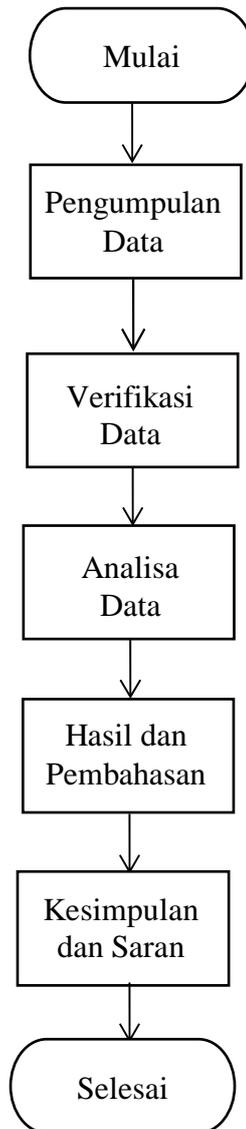
Panel parameter untuk membaca tekanan steam, laju aliran fluida dan parameter lainnya pada *boiler takuma*.



Gambar 3.6 Panel Parameter boiler

3.3 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian dapat dilihat pada gambar skematik di berikut ini :



Gambar 3.7 Diagram Alir

3.4 Alat Penelitian

Adapun penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan cara mengamati, merangkum dan mencatat data *steam* yang masuk dan keluar turbin uap yang sedang beroperasi selama satu bulan untuk mencari nilai efektivitas efisiensi dan juga rekomendasi untuk optimasi.



Gambar 3.8 Turbin Uap

3.5 Prosedur penelitian

1. Mencatat *log sheet* harian operator Stasiun *Power Plant* (Turbin dan Boiler)
2. Melakukan wawancara dengan Operator serta pembimbing lapangan yang mengerti tentang stasiun pembangkit tenaga listrik (*power plant*).
3. Melakukan perhitungan analisis nilai entalpi, entropi, fraksi uap, kerja turbin dan efisiensi turbin tersebut untuk menentukan efektivitas turbin karena tekanan uap yang bervariasi

3.6 Variabel

3.6.1 Variabel Bebas

1. Tekanan *steam* masuk (Kg/cm^2)
2. Tekanan *steam* keluar (Kg/cm^2)
3. Temperatur *steam* masuk ($^{\circ}\text{C}$)
4. *Steam flow* (kg/s)

3.6.2 Variabel Tetap

1. Efisiensi turbin uap (%)
2. *Output* Beban (KW)

3.7 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan selama 1 bulan di PT. Perkebunan Nusantara IV Pulu Raja. Data yang di ambil berupa tekanan steam masuk (Kg/cm^2), tekanan *steam* keluar (Kg/cm^2), temperatur steam masuk ($^{\circ}\text{C}$), laju aliran massa (ton/jam) dan *output* beban turbin

3.8 Pengolahan Data

Langkah-langkah pengolahan data dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu :

1. Melakukan kajian teori tentang turbin uap dalam menentukan optimasi akibat pengaruh tekanan steam.
2. Pengolahan terkait kajian efisiensi terkait efektivitas turbin uap
Merupakan pengolahan data untuk melihat keefektivitasan atau sistem kerja turbin mendekati desain atau proses ideal dengan satuan persen (%).
3. Menyusun rekomendasi untuk meningkatkan kinerja turbin.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis efektivitas kinerja turbin uap

Untuk mencari nilai efektivitas dari efisiensi akibat pengaruh tekanan *steam* turbin uap untuk menentukan nilai entalpi dan entropi masuk, energi keluar, fraksi uap, entalpi keluar, perubahan entalpi, kerja turbin pada kondisi isentropis. Saat nilai tersebut sudah di hasilkan langkah selanjutnya mencari nilai efektifitas dari efisiensi turbin uap.

4.1.1 Entalphi masuk

Tabel 4.1 Data parameter 1 tanggal 21 Mei 2025

Tanggal	T Steam Masuk (°c)	P Steam Masuk (Kg/Cm ²)
21 Mei 2025	272	17

Berdasarkan Tabel 4.1, diperoleh nilai temperatur uap masuk dan temperatur uap. Data tersebut kemudian dapat dianalisis dengan merujuk pada Tabel *Steam Appendix* (SI). Apabila nilai yang dibutuhkan tidak tersedia secara langsung dalam tabel, maka perhitungan harus dilakukan menggunakan rumus interpolasi 2.2. Penjelasan selengkapnya disajikan pada pembahasan berikut.

Diketahui : Temperatur *steam* : 272°C, Tekanan *steam* : 17 Kg/Cm² = 1,67 Mpa

Nilai entalpi uap pada suhu 272°C diperoleh dari Tabel Uap (*Steam Appendix*). Perhitungan dilakukan menggunakan aplikasi *Microsoft Excel* 2013 dengan menggunakan Persamaan 2.3. Nilai entalpi pada suhu 272°C berada di antara nilai-nilai entalpi yang tersedia pada tabel.

$$E = D + \left[(F - D) \times \left(\frac{B - A}{C - A} \right) \right]$$

T	S
A = T1 °C	D = H1 kJ/kg.K
B = T	E = Hx ?
C = T2 °C	F = H2 kJ/kg.K

Tabel 4.2 Entalpi 1

1,6 MPa		1,8 MPa		1,67 MPa	
250	2919,9	250	2911,7	1,6	2970,7
272	2970,7	272	2963,7	1,67	2968,4
300	3035,4	300	3029,9	1,8	2963,7

$$E = 2970,7 + \left[(2963,7 - 2970,7) \times \left(\frac{1,67 - 1,6}{1,8 - 1,6} \right) \right]$$

$$E = 2968,4 \text{ kJ / kg}$$

Dengan demikian, diperoleh nilai E = h1 (entalpi uap masuk) sebesar 2968,4 kJ/kg. Selanjutnya, untuk menghitung S1 (entropi uap masuk), dilakukan perhitungan menggunakan rumus yang sama.

4.1.2 Entropi Masuk

Berdasarkan Tabel 4.1, diperoleh data temperatur uap masuk dan tekanan uap. Selanjutnya, nilai-nilai tersebut dapat dilihat dalam Tabel Uap (*Steam Appendix – SI*). Apabila nilai yang dicari tidak tersedia secara langsung dalam tabel, maka diperlukan perhitungan menggunakan rumus interpolasi (Persamaan 2.5), sebagaimana dijelaskan pada pembahasan berikut.

Diketahui : Temperatur *steam* : 272°C, Tekanan steam : 17 Kg/Cm² = 1,67 Mpa

Nilai entropi uap pada suhu 272°C diperoleh dari Tabel Uap (*Steam Appendix*). Perhitungan dilakukan menggunakan aplikasi *Microsoft Excel* 2013 dengan menggunakan Persamaan 2.5. Nilai entalpi pada suhu 272°C berada di antara nilai-nilai entropi yang tersedia pada tabel.

$$E = D + \left[(F - D) \times \left(\frac{B - A}{C - A} \right) \right]$$

T	S
A = T1 °C	D = S1 kJ/kg.K
B = T	E = Sx ?
C = T2 °C	F = S2 kJ/kg.K

Tabel 4.3 Entropi 1

1,6 MPa		1,8 MPa		1,67 MPa	
250	6,6753	250	6,6088	1,6	6,782
272	6,7682	272	6,7038	1,67	6,7466
300	6,8864	300	6,8246	1,8	6,7038

$$E = 6,7682 + \left[(6,7038 - 6,7682) \times \left(\frac{1,67 - 1,6}{1,8 - 1,6} \right) \right]$$

$$E = 6,7466 \text{ kJ / kg.K}$$

Setelah dilakukan perhitungan maka di dapatkan hasil entropi masuk (S1) adalah sebesar 6,7466 kJ/kg.K

4.1.3 Energi Keluar

Langkah berikutnya adalah melakukan perhitungan terhadap energi yang keluar, meliputi sf2 (entropi cair jenuh), sfg2 (entropi evaporasi), hf2 (entalpi cair jenuh) dan hfg2 (entalpi evaporasi). Pada Penelitian ini di dapatkan bahwa nilai *pressure exhaust* adalah 2,8 dan 3 kg/cm². Langkah ini dilakukan dengan cara yang sama seperti pada perhitungan entalpi uap masuk, yaitu menggunakan Persamaan 2.5 dan aplikasi *Microsoft Excel 2013*, dengan tahapan penyelesaian sebagai berikut

Langkah ini sama halnya dengan perhitungan entalpi steam masuk yaitu berikut:

$$E = D + \left[(F - D) \times \left(\frac{B - A}{C - A} \right) \right]$$

T	S
A = P1 KPa	D = s1 kJ/kg.K
B = T	E = sx ?
C = P2 KPa	F = s2 kJ/kg.K

Tabel 4.4 sf2 (entropi cair jenuh), sfg2 (Entropi evaporasi), hf2 (entalpi cair jenuh) dan hfg2 (entalpi evaporasi).

sf2		sfg2	
250	1,6072	250	5,4453
274,6	1,6402	274,6	5,3811
275	1,6408	275	5,3800

Didapatkan nilai sf2 adalah 1,6402 kJ/kg.K dan sfg2 adalah 5,3811 kJ/kg.K.

$$E = D + \left[(F - D) \times \left(\frac{B - A}{C - A} \right) \right]$$

T	h
A = P1 KPa	D = h1 kJ/kg
B = T	E = hx ?
C = P2 KPa	F = h2 kJ/kg

Tabel 4.5 hf2 (entalpi cair jenuh) dan hfg2 (entalpi evaporasi).

hf2		hfg2	
250	535,35	250	2181,20
274,6	548,64	274,6	2172,15
275	548,86	275	2172,00

Didapatkan nilai hf2 adalah 548,64 kJ/kg dan hfg2 adalah 2172,15 kJ/kg.

4.1.4 Fraksi Uap

Fraksi uap merupakan proporsi kandungan cairan yang terdapat dalam uap keluaran turbin. Nilai fraksi ini digunakan dalam perhitungan entalpi keluaran turbin. Perhitungan fraksi uap dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2.7

$$X = \frac{(s1 - sf2)}{sfg2}$$

$$X = \frac{(6,7466 - 1,6402)}{5,3811}$$

$$X = 0,949$$

4.1.5 Entalpi keluar

Selanjutnya dilakukan perhitungan entalpi keluar (h_2) pada turbin uap dengan menggunakan Persamaan 2.3.

$$h_2 = hf_2 + (X \times hfg_2)$$

$$h_2 = 548,64 + (0,949 \times 2172,15)$$

$$h_2 = 2909,90 \text{ kJ / kg}$$

Diperoleh perubahan entalpi sebesar 2909,90 kJ/kg

4.1.6 Perubahan entalpi

Selanjutnya dilakukan perhitungan perubahan entalpi (Δh) pada turbin uap dengan menggunakan persamaan 2.4.

$$\Delta h = h_1 - h_2$$

$$\Delta h = 2968,4 \text{ kJ / kg} - 2610,01 \text{ kJ / kg}$$

$$\Delta h = 358,5 \text{ kJ / kg}$$

Di dapatkan perubahan entalpi yaitu sebesar 358,5 kJ/kg.

4.1.7 Kerja turbin uap

Kerja turbin uap ditentukan dengan persamaan 2.8 dan diperlukan parameter berupa laju aliran massa dan perubahan entalpi sebagai berikut:

$$W_{isentropis} = \dot{m} \times \Delta h$$

$$W_{isentropis} = 5,719 \text{ kg / s} \times 358,5 \text{ kJ / kg}$$

$$W_{isentropis} = 2050,24 \text{ kJ / kg}$$

Diperoleh nilai kerja turbin uap sebesar 2050,24 kJ/kg

4.1.8 Efisiensi turbin uap

Efisiensi turbin uap ditentukan menggunakan Persamaan 2.6, yang memerlukan parameter berupa kerja turbin dalam kondisi aktual dan kerja turbin dalam kondisi isentropic

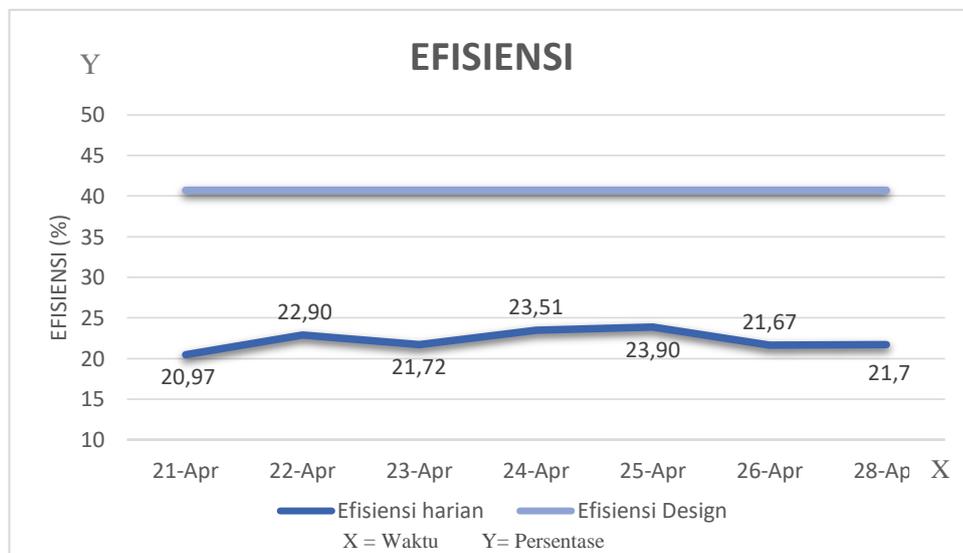
$$\eta_{turbin} = \frac{W_{aktual}}{W_{isentropis}} \times 100\%$$

$$\eta_{turbin} = \frac{430}{2050,24} \times 100\%$$

$$\eta_{turbin} = 20,97\%$$

Untuk memperoleh nilai efektivitas dari efisiensi pada hari berikutnya, dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus yang sama.

Berdasarkan data yang diperoleh dan hasil perhitungan nilai efisiensi turbin yang telah dilampirkan, diperoleh efisiensi turbin selama pelaksanaan penelitian di PT. Perkebunan Nusantara IV Pulu Raja, yang berlangsung dari tanggal 21 April 2025 hingga 28 April 2025. Adapun hasil dan pembahasannya disajikan sebagai berikut:



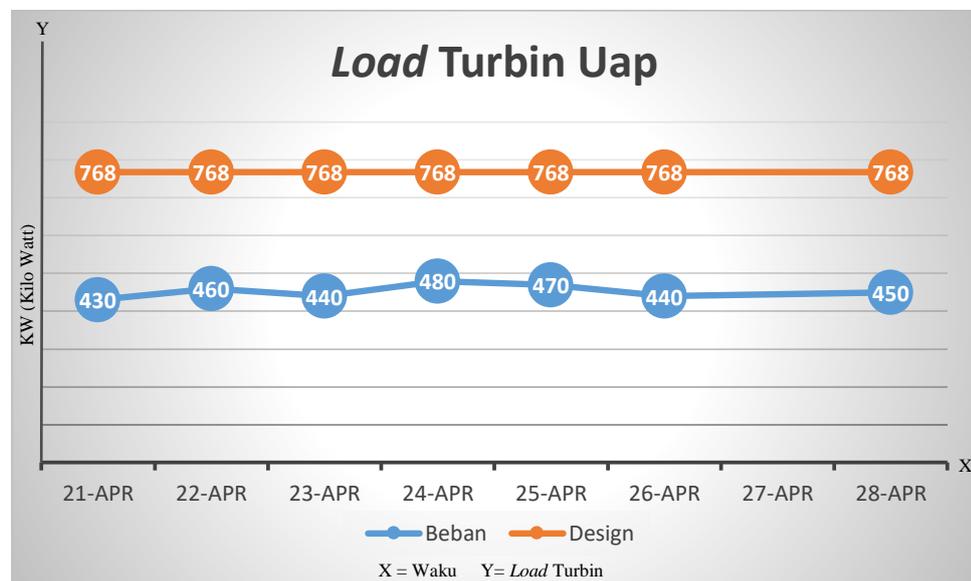
Gambar 4.1 Efisiensi turbin uap

Berdasarkan gambar di atas, diketahui bahwa efektivitas dari efisiensi desain turbin uap adalah sebesar 40,69%. Namun, pada kondisi aktual, efisiensi turbin uap mengalami penurunan. Efisiensi tertinggi tercatat pada tanggal 25 April 2025, yaitu sebesar 23,90%, sedangkan efisiensi terendah terjadi pada tanggal 21 April 2025, yaitu sebesar 20,97%. Rendahnya nilai efektivitas dari efisiensi ini dipengaruhi oleh besarnya energi *input* yang masuk ke dalam turbin uap seperti tekanan. Semakin besar energi *input* yang

diterima turbin, maka kinerjanya akan semakin baik, dan sebaliknya. Faktor lain yang turut memengaruhi rendahnya efisiensi adalah temperatur uap masuk, perubahan entalpi, serta kerja aktual turbin. Apabila kerja aktual turbin meningkat, maka efisiensinya pun akan meningkat, dan demikian pula sebaliknya. Nilai kerja tertinggi yang dicapai oleh turbin uap selama pengujian adalah sebesar 480 kW, sedangkan spesifikasi standar kerja turbin adalah sebesar 768 kW. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja aktual turbin uap masih cukup jauh dari spesifikasi desainnya.

4.2 Beban kapasitas turbin uap

Beban kapasitas atau *load capacity* dari turbin uap mengacu pada jumlah maksimum energi (atau daya) yang dapat dihasilkan turbin dalam kondisi operasi desain (ideal). Dalam pembahasan ini, diperoleh data mengenai daya atau beban tertinggi dan terendah selama pelaksanaan penelitian di perusahaan PT. Perkebunan Nusantara IV Pulu Raja



Gambar 4.2 *Load* turbin uap

Berdasarkan Gambar 4.2 *Load Turbin Uap*, terlihat bahwa beban aktual turbin berada jauh di bawah kapasitas desain. Beban turbin hanya berkisar antara 430–480 KW, sedangkan kapasitas desain tetap konstan di angka 768 KW. Hal ini menunjukkan bahwa turbin tidak beroperasi secara maksimal sesuai rancangannya. Salah satu faktor utama yang menyebabkan rendahnya load turbin adalah kondisi tekanan steam yang rendah dan tidak stabil. Pada prinsip kerja turbin uap, energi

mekanis dihasilkan dari ekspansi uap bertekanan tinggi. Apabila tekanan steam yang masuk ke turbin lebih rendah dari standar desain, maka energi kinetik yang diteruskan ke sudu turbin juga berkurang. Akibatnya, daya keluaran turbin menurun sehingga load aktual lebih rendah dari kapasitas yang seharusnya. Selain itu, ketidakstabilan tekanan steam menyebabkan fluktuasi pada daya turbin, yang tampak pada grafik beban yang naik turun di kisaran 430–480 kW. Kondisi ini bisa disebabkan oleh variasi suplai bahan bakar ke boiler, perubahan beban sistem, atau kendala pada pengendalian operasi boiler. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa rendahnya *load* turbin bukan hanya karena pemakaian beban yang tidak maksimal, tetapi juga erat kaitannya dengan tekanan *steam* yang tidak sesuai spesifikasi desain, sehingga kinerja turbin tidak bisa mencapai kapasitas optimumnya.

4.3 Alternatif dalam mengatasi penurunan efektivitas dari efisiensi

Fishbone Diagram

Alternatif solusi terhadap penurunan efektivitas dari efisiensi dan potensi kegagalan pada turbin uap



Gambar 4.3 Alternatif dalam mengatasi penurunan efektivitas dari efisiensi

Penurunan efisiensi serta kegagalan pada turbin uap dapat dianalisis menggunakan diagram *fishbone* (tulang ikan) yang mengidentifikasi berbagai faktor penyebab berdasarkan beberapa kategori utama. Faktor-faktor tersebut meliputi aspek metode, mesin, Material, optimasi operasi turbin, pelatihan operator dan monitoring. Setiap kategori memberikan kontribusi terhadap masalah utama yang terjadi, seperti kurangnya pelatihan operator, kerusakan komponen, prosedur perawatan yang tidak optimal, kualitas uap yang tidak memenuhi standar, kondisi lingkungan yang kurang mendukung, serta alat ukur yang tidak akurat. Melalui identifikasi ini, dapat disusun solusi strategis untuk meningkatkan efisiensi dan mencegah kegagalan sistem.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Pengaruh tekanan / *pressure steam* yang tidak konsisten terhadap kinerja turbin uap *dresser rand* 768 K berpengaruh terhadap efektivitas pada turbin uap, tercatat *pressure* yang tidak stabil dan konstan secara rata. Efektivitas dari efisiensi turbin uap tertinggi tercatat pada tanggal 25 April 2025 , yaitu sebesar 23,90%, dengan nilai kerja turbin sebesar 1966,14 kJ/kg. Sementara itu, efisiensi terendah terjadi pada tanggal 21 April 2025, yaitu sebesar 20,97% dengan kerja turbin sebesar 2050,24kJ/kg. Nilai fraksi uap (X) pada seluruh data menunjukkan nilai kurang dari 1, yang mengindikasikan bahwa uap berada dalam kondisi jenuh (*saturated steam*) atau uap basah. Efektivitas dari efisiensi aktual turbin uap tersebut berada di atas setengah dari nilai efisiensi desain turbin, meskipun masih belum mencapai standar optimal yang diharapkan.
2. Tingkat efektivitas dari efisiensi turbin uap, baik dalam kondisi tinggi maupun rendah, dipengaruhi oleh tekanan dan temperatur uap yang masuk ke dalam sistem. Semakin tinggi tekanan dan temperatur atau energi termal yang masuk ke dalam turbin, maka efisiensi yang dihasilkan akan semakin tinggi, demikian pula sebaliknya. Selain itu, efisiensi juga dipengaruhi oleh perubahan entalpi dan besar kecilnya kerja turbin. Dengan demikian, apabila kerja turbin meningkat secara signifikan tanpa disertai peningkatan energi input yang sebanding, maka efisiensi cenderung menurun.

4.2 Saran

1. Tekanan dan temperatur pada boiler perlu ditingkatkan agar mampu menggerakkan turbin uap secara optimal, sehingga efisiensi turbin dapat tercapai pada tingkat yang baik.
2. Studi analisis lebih lanjut tentang *multi-stage efficiency*: analisis distribusi tekanan & kecepatan di tiap tahap ekspansi.

3. Pengawas produksi wajib memperhatikan audit energi, distribusi beban, *predictive maintenance* serta monitoring berbasis data

DAFTAR PUSTAKA

- A.M.T UTAMA. (2022). *ANALISIS KINERJA TURBIN UAP SEBELUM DAN SESUDAH OVERHAUL PADA UNIT 1 PLTU MAMUJU*. 9, 356–363.
- Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T, Arya Rudi Nasution, S.T., M.T. , Chandra Amirsyah Putra Siregar, S.T., M.T., Iqbal Tanjung, S.T., M. T. (2022). *BUKU AJAR RANCANGAN MESIN DASAR* (M. P. Muhammad Arifin (ed.)). UMSU PRES.
https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=K1yjEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA42&dq=info:2Vdhdm8hZpUJ:scholar.google.com&ots=dr3OgMpwop&sig=E5qPqCODsRKcqD0flbkANvR706A&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Anggraini, T. M., Sanjaya, A. S., & Wikanswasto, R. A. (2019). Perhitungan Asr dan Efisiensi Internal Steam Turbine (Back Pressure). *Jurnal Chemurgy*, 2(2), 1. <https://doi.org/10.30872/cm.g.v2i2.2231>
- Edi B.Kacaribu, Mulfi Hazwi, Darwin Sitompul, Tulus B. Sitorus, Terang UHSG, M. S. (2015). ANALISIS VARIASI SUDUT PADA TURBIN IMPULS TERHADAP DAYA MEKANIS TURBIN UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP Edi. *Jurnal Dinamis*, 3.
- EFENDI, S. R. (2021). *Analisis Pengaruh Unjuk Kerja Air Priheater Terhadap Efisiensi Boiler - Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area Medan 2021*.
- El-Wakil, M. M. (2015). *Instalasi Pembangkit Daya*. Erlangga.
- F .F. Prasajo. (2022). *TUGAS SARJANA ANALISA PENGARUH TURBIN HEAT RATE TERHADAP EFISIENSI TURBIN di PKS KAPASITAS 40 TON/JAM*.
- Fathan Fadhlur, M. (2016). Analisis Efeisiensi Turbin Uap Sebagai Penggerak Generator Pada Pabrik Kelapa Sawit. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Vol. 01, Issue November). Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara.
- Fatimura, M. (2015). Tinjauan Teoritis Permasalahan Boiler Feed Water pada Pengoperasian Boiler yang Dipergunakan dalam Industri. *Jurnal Media Teknik*, 12(1), 24–32.

- GAMMA, E. Y. A. (2009). *Analisis Perbandingan Efisiensi Termal Steam Boiler Dengan Menggunakan Bahan Bakar Gas Alam Dan Residu*. 1–74.
- Hadi, I. (2021). Analisis efisiensi turbin uap sebagai penggerak generator pada pabrik kelapa sawit. *Jurnal Teknik Mesin*, 1–42.
- IMANNUSA, D. (2022). ANALISIS PERFORMA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) DENGAN PEMANFAATAN FLUE GAS MENGGUNAKAN SIKLUS RANKINE ORGANIK (Studi Kasus: PT. PJB UBJOM PLTU TENAYAN PEKANBARU) TUGAS. *TUGAS AKHIR*.
- Irin Mayrini, Tomi Abdilah, S. (2025). Analisa Kerusakan Thrust Bearing Turbin Pengaruh Kinerja Pelumas Di Pltu Pt. Pln Np Up Belawan - Program Studi Teknik Mesin , Universitas Tjut Nyak Dhien. <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME> *Jurnal*, 8(1), 13–22.
- Iskandar, N., & Pangeran, A. R. (2016). Analisis Kerusakan Dan Perbaikan Oil Pump Steam Turbine 32-K-101-P1-T Dalam Platforming Unit-Naphta Processing Unit (Npu). *Rotasi*, 18(2), 44. <https://doi.org/10.14710/rotasi.18.2.44-50>
- Jaya, N. (2020). *ANALISIS KINERJA TURBIN UAP BERDASARKAN PERFORMANCE TEST PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) BARRU 2X50 MW*. PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI JURUSAN TEKNIK MESIN POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG MAKASSAR 2020.
- Lubis, S., Siregar, I., & Siregar, A. M. (2020). Karakteristik Unjuk Kerja 2 Pompa Sentrifugal Dengan Susunan Seri Sebagai Turbin Pat. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 3(2), 85–92. <https://doi.org/10.30596/rmme.v3i2.5270>
- Merle C Potter, P. D., & Craig W. Somerton, P. D. (2011). *TERMODINAMIKA TEKNIK*.
- Nasrullah, Nofriadi, Nasirwan, Leni, D., & Septi, K. D. (2023). Analisis Kinerja Turbin Hidrokinetik Dengan Selubung Diffuser Pada Kondisi Yaw Misalignment Berdasarkan Variasi Kecepatan Aliran Air. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 6(2), 203–210. <https://doi.org/10.30596/rmme.v6i2.16190>

- POLSRI. (2019). BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1. 1–64. In *Gastronomía ecuatoriana y turismo local*. (Vol. 1, Issue 69). POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA.
- Prasojo, F. F. (2022). *TUGAS SARJANA ANALISA PENGARUH TURBIN HEAT RATE TERHADAP EFISIENSI TURBIN di PKS KAPASITAS 40 TON/JAM*.
- Pulungan, M. (2023). *ANALISIS VIBRASI UNTUK MENDETEKSI KERUSAKAN BEARING TURBIN UAP UNIT PKS PT. PERKEBUNAN NUSANTARA II PAGAR MERBAU-*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Purba, Y. M. (2020). *Analisa Perbandingan Efisiensi Boiler Dengan Metode Heat-Losses Pada Saat Awal Operasi Dan Setelah Overhaul Di PT. Pomi Paiton*.
- Ramadhan, A. (2023). Tugas Akhir Tugas Akhir. *TUGAS AKHIR*.
- Rizki, M. A. (2016). *PENGOPERASIAN DAN PEMELIHARAAN SISTEM PELUMASAN TURBIN UAP-FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG*.
- Sadono, S., Sihana, & Effendy, N. (2013). Identifikasi Sistem Governor Control Valve Dalam Menjaga Kestabilan Putaran Turbin Uap PLTP Wayang Windu Unit 1. *Teknofisika*, 2(3), 83–90.
- Said Aiyub, M. Ghufuran Habibi, F. (2022). STUDI EFISIENSI SISTEM REDUCTION GEAR PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS. *Jurnal Teknologi*, 2(Oktober), 78–86.
- Sapto, Y. (2003). *Turbin Uap Untuk Penggerak Generator Listrik Pada Pabrik Kelapa Sawit Dengan Kapasitas Produksi 30 Ton Tbs/Jam*.
- SEPTIANTO, M. R. (2017). RANCANG BANGUN TURBIN UAP PADA MAKET PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP. *PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA*, 3(1), 43. <http://doi.org/10.1080/16070658.2018.1448503>
- Setiawan, A. (2023). ANALISA PENGARUH SATURATED STEAM TERHADAP EFISIENSI DAN KOMPONEN TURBIN UAP DENGAN METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS. In *Repostory Umsu* (Vol. 2, Issue 1). Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Siagian, I. W. J. A. Y. A. (2021). *Laporan kerja praktek optimalisasi turbin uap di*

pt. p abrik kelapa sa wit tunggal mitra plantation.

- Sinaga, H. P. I., Utomo, C. T., & Tarigan, E. (2022). Analisis Performansi Turbin Uap Kapasitas 1,95 Mw Di Pt Perkebunan Lembah Bhakti Astra Agro Lestari Tbk. *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 3(1), 23–33. <https://doi.org/10.51510/sinergipolmed.v3i1.703>
- Smith, J. M., Ness, H. C. Van, Abbott, M. M., & Swihart, M. T. (2022). *Chemical Engineering Thermodynamics*. McGraw Hill LLC, 1325 Avenue of the Americas, New York, NY 10121.
- SUHARDIANSYAH. (2024). ANALISIS TEKANAN STEAM TERHADAP PUTARAN DAN DAYA GENERATOR DARI TURBIN UAP. *PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA MEDAN 2024*, 2(1), 41–49.
- Tarigan, M. R., & Supriyanto, G. (2023). Analisis Kualitas Air dan Pemakaian Air pada Water Tube Boiler di Pabrik Kelapa Sawit. ... , *and Technology: Jurnal ...*, 1, 663–671.
- Umi Hanifah, Novita Dwi Susanti, & Moeso Andrianto. (2019). Kinerja Mini Boiler Tipe Pipa Api 3 Pass Berbahan Bakar BiomassaPelet Kayu dan Tempurung KelapaPerformance of The Mini Boiler Type of Fire Tube 3 Phase using Wood Pellet and Coconut Shells as Fuels. *agriTECH*, 39(3), 188.
- Wahyu Endriyana, V. (2013). Analisa Untuk Kerja Secondary Supeheater PLTGU Dan Evaluasi Peluang Peningkatan Effectiveness Dengan Cara Variasi Jarak, Jumlah, dan Diameter Tube. *Jurnal Teknik ITS*, 2(3), B388–B393.
- Wahyudi, B. (2019). *ANALISIS EFISIENSI TURBIN UAP TERHADAP KAPASITAS LISTRIK PEMBANGKIT*. PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MEDAN AREA MEDAN.

Hasil Perhitungan Efektivitas dari Efisiensi Turbin Uap PT. Perkebunan Nusantara IV Pulu Raja Penelitian Tugas Akhir Pada Tanggal 21 April 2025 – 28 April 2025

Tanggal	T (°C)	P1 (MPa)	P2 (KPa)	h1 (kJ/kg)	s1 (kJ/kg.K)	sf2 (kJ/kg.K)	sfg2 (kJ/kg)	x	hf2 (kJ/kg)	hfg2 (kJ/kg)	h2 (kJ/kg)	Δh (kJ/kg)	\dot{m} (kg/s)	Wt isentropik (kJ/kg)	Waktual (KW)	Efisiensi (%)
21-Apr	272	1,67	274,6	2968,4	6,7466	1,6402	5,3811	0,949	548,64	2165,47	2603,56	364,8	5,719	2050,24	430	20,61
22-Apr	265	1,77	294,2	2948,4	6,6849	1,6645	5,3339	0,941	558,51	2165,47	2596,70	351,7	5,712	2008,88	460	22,90
23-Apr	261	1,77	294,2	2939,0	6,6677	1,6645	5,3339	0,938	558,51	2165,47	2589,72	349,3	5,801	2026,16	440	21,72
24-Apr	266	1,77	294,2	2950,8	6,6892	1,6645	5,3339	0,942	558,51	2165,47	2598,45	352,3	5,794	2041,51	480	23,51
25-Apr	276	1,77	294,2	2974,3	6,7322	1,6645	5,3339	0,950	558,51	2165,47	2615,91	358,4	5,486	1966,14	470	23,90
26-Apr	261	1,67	274,6	2954,7	6,6998	1,6402	5,3811	0,940	548,64	2172,15	2591,01	363,7	5,584	2030,83	440	21,67
28-Apr	262	1,77	274,6	2941,4	6,6720	1,6402	5,3811	0,935	548,64	2172,15	2579,79	361,6	5,735	2073,83	450	21,70
DESIGN	260,00	1,70	333,4	2939,2	6,6847	1,7096	5,2471	0,948	576,92	2152,8	2618,12	321,1	5,878	1887,29	768	40,69

TABLE A-5

Saturated water—Pressure table

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

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

PENGARUH TEKANAN STEAM TERHADAP KINERJA TURBIN UAP DRESSER RAND 768 KW

Nama : ADI PERNANDA SIREGAR
NPM : 2107230096

Dosen Pembimbing : Chandra A Siregar, S.T., M.T

No	Hari/tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	10/12 - 2024	Perbaiki bab I	↑
2.	16/12 - 2024	Perbaiki bab II	f
3.	21/12 - 2024	Acc SEMPRO	↑
4.	15/2 - 2025	perbaiki bab II	f
5.	18/3 - 2025	perbaiki bab II kesimpulan	f
6.	20/5 - 2025	Acc senhas	↑
7.	21/8/2025.	Acc sidang	↑



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjabar surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BAN-PT/Ak.Pp/PT/III/2024
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
<https://fatek.umsu.ac.id> fatek@umsu.ac.id [umsumedan](#) [umsumedan](#) [umsumedan](#) [umsumedan](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 2097/IL3AU/UMSU-07/F/2024

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 11 November 2024 dengan ini Menetapkan :

Nama : ADI PERNANDA SIREGAR
Npm : 2107230046
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : 7 (Tujuh)
Judul Tugas Akhir : PENGARUH TEKANAN STEAM TERHADAP KINERJA TURBIN
UAP DESRAND 768 KW

Pembimbing : CHANDRA A SIREGAR

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya

Medan, 09 Jumadil Awal 1446 H

11 November 2024 M



Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT
NIDN: 0101017202



**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK Mesin
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2024 – 2025**

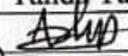
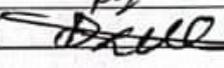
Peserta seminar

Nama : Adi Pernanda Siregar

NPM : 2107230096

Judul Tugas Akhir : Pengaruh Tekanan Steam Terhadap Kinerja Turbin Uap Dresser
Rand 768 KW

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Chandra A Siregar ST.MT	:
Pembanding – I : Dr. Munawar A Siregar ST, MT	:
Pembanding – II : Arya Rudi NST ST.MT	:

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	2107230057	M. Abid Azhan	
2	2107230014	DERMAWAN MULIA	
3	2107230047	Ajay Ferdyanana	
4	2107230003	DEUL FADLI + RILUBAN	
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan 19 Safar 1447 H
13 Agustus 2025 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar ST.MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Adi Pernanda Siregar
NPM : 2107230096
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Tekanan Steam Terhadap Kinerja Turbin Uap Dresser
Rand 768 KW

Dosen Pembanding – I : Dr. Munawar A Siregar ST, MT
Dosen Pembanding – II : Arya Rudi NST ST.MT
Dosen Pembimbing – I : Chandra A Siregar ST.MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

..... *libat buku tugas akhir*

.....

.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

.....

.....

.....

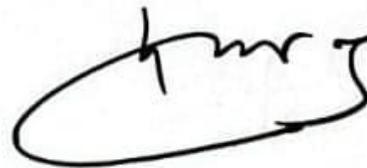
Medan 19 Safar 1447 H
13 Agustus 2025 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar ST.MT

Dosen Pembanding- I



Dr. Munawar A Siregar ST, MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Adi Pernanda Siregar
NPM : 2107230096
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Tekanan Steam Terhadap Kinerja Turbin Uap Dresser
Rand 768 KW

Dosen Pembanding – I : Dr. Munawar A Siregar ST, MT
Dosen Pembanding – II : Arya Rudi NST ST.MT
Dosen Pembimbing – I : Chandra A Siregar ST.MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

..... *Lihat Buku Catatan Yang Saya Berikan*
..... *Revisi Tugasm Pustaka.*
.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

.....
.....
.....
.....

Medan 19 Safar 1447 H
13 Agustus 2025 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar ST.MT

Dosen Pembanding- II



Arya Rudi NST ST.MT

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama : Adi Pernanda Siregar
Tempat, Tanggal Lahir : Simatorkis, 04 Mei 2003
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Alamat : Simartokis Sisoma, Kecamatan Angkola Barat,
Kabupaten Tapanuli Selatan
Nomor Telepon : 082161928113
E-mail : Adipernandasiregar@gmail.com

PENDIDIKAN FORMAL

Tahun 2007-2013 : Madrasah Ibtidaiyah Negeri (MIN) Panobasan
Tahun 2013-2016 : Madrasah Tsanawiyah Negeri 3 (MTSN) Batang Toru
Tahun 2016-2019 : SMK Negeri 2 Padang Sidempuan
Tahun 2021-2025 : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara