

TUGAS AKHIR
PENGARUH KONDISI OPERASIONAL TERHADAP
EFISIENSI TURBIN UAP

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

Disusun Oleh:

REZA BAYU SYAHPUTRA
2107230128



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 : Reza Bayu Syahputra
NPM : 2107230128
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Kondisi Operasional Terhadap Efisiensi Turbin Uap
Bidang ilmu : Konversi Energi

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

Medan, 27 Agustus 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



Dr. Munawar Alfansury 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 : Reza Bayu Syahputra
Tempat / tanggal lahir : Medan / 19 Januari 2003
Npm : 2107230128
Fakultas : Teknik
Program studi : Teknik Mesin

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

“ Pengaruh Kondisi Operasional Terhadap Efisiensi Turbin Uap”

Bukan termasuk 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 hakekatnya merupakan bukan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara faktadengan kenyataan ini, saya bersedia di proses 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, 27 Agustus 2025
Saya Yang Menyatakan :



Reza Bayu Syahputra

ABSTRAK

Penelitian ini membahas pengaruh kondisi operasional terhadap efisiensi turbin uap pada Pabrik Kelapa Sawit Pulu Raja, PTPN IV. Turbin uap merupakan komponen vital dalam penyediaan energi listrik untuk mendukung proses pengolahan kelapa sawit. Efisiensi turbin dipengaruhi oleh parameter operasional seperti suhu, tekanan, dan laju aliran massa uap. Penelitian ini bertujuan menganalisis sejauh mana variasi kondisi operasional tersebut memengaruhi efisiensi aktual turbin dibandingkan dengan efisiensi desain. Metode penelitian dilakukan melalui pengumpulan data primer dari pengukuran langsung serta data sekunder dari logsheet operator. Parameter yang diamati meliputi suhu dan tekanan uap masuk, tekanan uap keluar, serta laju aliran massa, dengan perhitungan efisiensi menggunakan pendekatan termodinamika melalui data entalpi dan entropi dari tabel uap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi turbin aktual berkisar antara 34,19% hingga 43,19%, jauh lebih rendah dibandingkan efisiensi desain sebesar 75,42%. Peningkatan suhu uap tidak selalu meningkatkan efisiensi karena terdapat titik optimum tertentu, sedangkan laju aliran uap yang terlalu rendah atau terlalu tinggi justru menurunkan efisiensi akibat ketidaksesuaian dengan kapasitas desain turbin. Tekanan uap masuk juga memengaruhi efisiensi, namun peranannya bergantung pada kesesuaian dengan parameter lainnya. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa efisiensi turbin uap sangat dipengaruhi oleh kondisi operasional, sehingga pengendalian parameter operasi pada kisaran optimal menjadi kunci untuk meningkatkan kinerja turbin dan efisiensi energi pada industri kelapa sawit.

Kata Kunci : turbin uap, efisiensi, kondisi operasional, suhu, tekanan, laju aliran massa

ABSTRACT

This research discusses the effect of operational conditions on the efficiency of steam turbines at Pulu Raja Palm Oil Mill, PTPN IV. Steam turbines are vital components in supplying electricity to support palm oil processing. The efficiency of a turbine is influenced by operational parameters such as steam temperature, pressure, and mass flow rate. This study aims to analyze how variations in these operational conditions affect the actual turbine efficiency compared to its design efficiency. The research method involved collecting primary data from direct measurements and secondary data from operator logs. Observed parameters included inlet steam temperature and pressure, outlet steam pressure, and steam mass flow rate, while efficiency calculations were carried out using thermodynamic approaches based on enthalpy and entropy values from steam tables. The results showed that the actual turbine efficiency ranged between 34.19% and 43.19%, which is significantly lower than the design efficiency of 75.42%. Increasing steam temperature did not always improve efficiency, as there is an optimum point beyond which efficiency decreases. Similarly, steam flow rates that are too low or too high reduced efficiency due to mismatches with turbine design capacity. Inlet steam pressure also affected efficiency but depended on its balance with other parameters. In conclusion, steam turbine efficiency is significantly influenced by operational conditions, and maintaining parameters within the optimal range is key to improving turbine performance and energy efficiency in palm oil industries.

Keywords : steam turbine, efficiency, operational conditions, temperature, pressure, mass flow rate

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan penelitian ini dengan judul “Pengaruh Kondisi Operasional Terhadap Efisiensi Turbin Uap”.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Proposal 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. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik mesinan kepada penulis.
4. Orang tua penulis: Riky Bayudiarto dan Baria, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
5. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Sahabat-sahabat penulis: Adi Pernanda Siregar , Habib Fadillah, Yoga Ardhika, M Iksan Surbakti dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.
7. Gladys Mutia Arda selaku kekasih, yang selalu bisa di andalin untuk memberi arahan dalam penulisan tugas akhir ini kepada penulis. Dan selalu menjadi support system terbaik dikala penulis merasa down. Terima kasih banyak telah mendegarkan keluh kesah dan menjadi bagian perjalanan dalam penyusunan tugas akhir ini.

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 pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 26 Agustus 2025

Reza Bayu Syahputra

DAFTAR ISI

	<i>Hal</i>
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR NOTASI	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Turbin Uap	5
2.1.1 Prinsip Kerja Turbin Uap	5
2.1.2 Komponen Utama Turbin Uap	7
2.1.3 Identifikasi Kegagalan Turbin Uap	9
2.1.4 Jenis jenis Turbin Uap	12
2.2 Boiler	20
2.3 Proses Pembentukan Uap	23
2.3.1 Saturated Steam	24
2.3.2 Superheated Steam	24
2.4 Termodinamika	24
2.4.1 Hukum Termodinamika Pertama	25
2.4.2 Hukum Termodinamika Kedua	27
2.5 Efisiensi Turbin	28
2.5.1 Fraksi Uap	28
2.5.2 Kerja Turbin	29
BAB 3 METODOLOGI	30
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	30
3.1.1 Tempat	30
3.1.2 Waktu	30
3.2 Bahan dan Alat	30
3.2.1 Bahan	30
3.2.2 Alat	30
3.3 Bagan Alir Penelitian	34
3.4 Rancangan Alat Penelitian	34
3.4.1 Skema Sistem Turbin Uap	35
3.4.2 Alat Ukur Yang Digunakan	35
3.5 Prosedur penelitian	35

3.7 Pengumpulan Data	36
3.8 pengolahan Data	36
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Hasil Penelitian	37
4.2 Pembahasan Efisiensi Turbin Uap	38
4.2.1 Entalpi Masuk	38
4.2.2 Entropi Masuk	39
4.2.3 Energi Keluar	40
4.2.4 Fraksi Uap	41
4.2.5 Entalpi Keluar	41
4.2.6 Perubahan Entalpi	42
4.2.7 Kerja Turbin Uap	42
4.2.8 Efisiensi Turbin Uap	42
4.3 Analisis Pengaruh Kondisi Operasional terhadap Efisiensi	42
4.3.1 Pengaruh Suhu Uap terhadap Efisiensi	44
4.3.2 Pengaruh Laju Aliran Uap Terhadap Efisiensi	45
4.3.3 Pengaruh Tekanan Terhadap Efisiensi Turbin Uap	46
4.4 Perbandingan Dengan Teori	47
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	52
Lampiran 1 Tabel Steam <i>Appendix thermodynamics</i>	
Lampiran 2 Hasil Penelitian	
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	30
Tabel 3. 2 Spesifikasi Turbin Uap	31
Tabel 4. 1 Spesifikasi Turbin Uap	37
Tabel 4. 2 Data Hasil Penelitian	38
Tabel 4. 3 Data Parameter 1 Tanggal 21 April 2025	38
Tabel 4. 4 Entalpi 1	39
Tabel 4. 5 Entropi	40
Tabel 4. 6 Data Interpolasi Tabel	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Turbin Uap (P.Shlyakhin, 1999)	5
Gambar 2.2 Tingkat Impuls (A) Dan Tingkat Reaksi (B)	6
Gambar 2.3 <i>Velocity</i> (Pulungan, 2023)	11
Gambar 2.4 Erosi Pada Sudu Turbin	12
Gambar 2.5 Turbin <i>Single Stage</i> (Hadi, 2021)	13
Gambar 2.6 Turbin <i>Multi Stage</i> (F .F. Prasajo, 2022)	14
Gambar 2.7 Turbin <i>Impuls</i> (Wahyudi, 2019)	15
Gambar 2.8 Prinsip Turbin Impuls (A.M.T UTAMA, 2022)	16
Gambar 2.9 Prinsip Turbin Reaksi (A.M.T UTAMA, 2022)	17
Gambar 2.10 Penampang sudu turbin reaksi (A.M.T UTAMA, 2022)	17
Gambar 2.11 Turbin <i>Condensing</i> (A.M.T UTAMA, 2022)	18
Gambar 2.12 Turbin <i>Non Kondensasi</i> (Wahyudi, 2019)	19
Gambar 2.13 Ekstraksi dan Induksi (A.M.T UTAMA, 2022)	20
Gambar 2.14 Boiler (Mustangin, 2018)	21
Gambar 2.15 Boiler Pipa Api (Umi Hanifah et al., 2019)	21
Gambar 2.26 Boiler pipa air (Efendi, 2021)	22
Gambar 2.17 Diagram Proses Pembentukan Uap	23
Gambar 3.1 Turbin Uap	31
Gambar 3.2 Pressure Gauge	32
Gambar 3.3 Panel Kontrol	32
Gambar 3.4 Boiler	33
Gambar 3.5 Control Panel Boiler	33
Gambar 3.6 Diagram Alir	34
Gambar 4.1 Grafik Efisiensi	43
Gambar 4.2 Grafik Suhu °C Vs Efisiensi %	45
Gambar 4.3 Grafik Laju Aliran Uap (Kg/S) Vs Efisiensi (%)	46
Gambar 4.4 Grafik Tekanan (Bar) Vs Efisiensi (%)	47

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
WT	Kerja turbin uap	(kJ/kg)
h_4	Entalpi uap masuk turbin	(kJ/kg)
h_5	Entalpi uap keluar turbin	(kJ/kg)
h	Entalpi sistem	(joule)
u	Energi internal	(joule)
p	Tekanan dari sistem	(Pa)
v	Volume Sistem	(m ³)
T	Momen torsi	(N.m)
NT	Daya turbin	(kW)
n	Putaran poros	(rpm)
N_e	Daya efektif turbin uap	(kW)
T	Momen torsi	(N.m)
S_n	Putaran poros	(rpm)
Δp	Penurunan Tekanan Uap	(Bar)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan salah satu kebutuhan yang dapat menunjang kehidupan manusia. Salah satu energi yang dapat menunjang kehidupan manusia adalah energi listrik. Energi listrik, sebagai salah satu hasil pemanfaatan kekayaan alam dan teknologi mempunyai peranan penting bagi negara dalam mewujudkan pencapaian tujuan pembangunan nasional. Energi listrik seakan menjadi kebutuhan primer masyarakat (Megawati *et al.*, 2023).

Manusia memerlukan energi listrik untuk berbagai kegiatan sehari-hari baik itu dalam industri, layanan publik, hingga rumah tangga. Energi listrik diproduksi dari berbagai macam pembangkit, mengkonversi energi kalor menjadi energi mekanik yaitu turbin uap (Setiawan *et al.*, 2022).

Seiring dengan meningkatkan taraf hidup atau kuantitas dari masyarakat, kebutuhan terhadap energi sangat diperlukan, sekarang ini konsumsi energi sangat berhubungan langsung dengan tingkat kuantitas kehidupan penduduk serta derajat industrilisasi suatu negara. Salah satunya energi yang paling banyak digunakan oleh manusia dalam sehari-hari adalah energi listrik, sebab sumber energi sangat efektif atau efisien untuk dikonversikan menjadi bentuk energi yang lain seperti suatu pembangkit tenaga listrik yaitu turbin uap penggerak generator. Energi listrik merupakan suatu unsur yang sangat penting bagi masyarakat, karena energi listrik bisa menyangkut hampir semua aspek kehidupan yang selalu dibutuhkan setiap harinya. Didalam pabrik, energi listrik dimanfaatkan untuk mengoperasikan peralatan-peralatan mesin yang ada di pabrik. Salah satu mesin konversi energi yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik adalah turbin uap (Sinaga *et al.*, 2022).

Salah satu dari banyak industri dan perusahaan yang menggunakan sumber pembangkit sendiri sebagai suplai listrik adalah pabrik yang bergerak dalam bidang pengolahan kelapa sawit, yang produksinya setiap tahun semakin meningkat. Hal tersebut dikarenakan penggunaan minyak kelapa sawit yang sangat tinggi dan permintaannya yang banyak bahkan hingga keluar negeri. Hal ini terlihat seiring makin banyaknya pabrik-pabrik yang bergerak

dibidang kelapa sawit mengekspor minyak mentah (CPO) ke luar negeri. Mengingat keberhasilan dari suatu proses pengolahan dari suatu pabrik tidak terlepas dari peranan mesin-mesin pengolahan, untuk memperlancar proses pengolahan tersebut maka mesin-mesin pengolahan tersebut harus didukung dengan ketersediaan daya listrik yang sesuai dengan kebutuhannya. Listrik yang merupakan salah satu energi penggerak mesinmesin di suatu industri di bangkitkan oleh generator. Maka sangat dibutuhkan suatu turbin uap untuk memutar generator pada pabrik tersebut (Yolnasdi *et al.*, 2023).

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 pada pabrik kelapa sawit merupakan sumber utama pembangkit tenaga listrik. Turbin tersebut dapat berkerja dikarenakan adanya uap yang diperoleh dari boiler. Bahan bakar boiler yang digunakan untuk menghasilkan uap seperti serabut (*fiber*) dan cangkang (*chell*). bahan bakar tersebut sangat mudah diperoleh karena merupakan limbah dari pengolahan sawit sehingga instalasi ini sangat mudah dan hemat biaya operasionalnya. Dimana uap yang dari boiler dimanfaatkan untuk memutar sudu-sudu turbin yang dihubungkan dengan poros untuk memutar generator (Sinaga *et al.*, 2022).

Sistem turbin uap terdiri dari dua komponen terpisah, yaitu turbin uap yang mengubah energi panas menjadi energi mekanik, serta generator yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Umumnya, turbin dikopel langsung ke generator (Setiawan *et al.*, 2022).

Turbin uap merupakan suatu mesin penggerak yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik yang kemudian diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Besaran daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin perlu diketahui untuk memastikan apakah turbin dalam kondisi baik atau tidak. Efisiensi kerja turbin uap menjadi faktor penting dalam memastikan kelancaran, keandalan operasional dan biaya produksi pada pabrik kelapa sawit. Turbin uap dengan efisiensi yang tinggi akan menghasilkan lebih banyak daya mekanis dengan menggunakan jumlah uap yang lebih sedikit, sehingga dapat mengurangi konsumsi energi dan biaya bahan bakar. Semakin efisien kerja turbin uap, maka semakin besar

pula ketersediaan listrik yang dihasilkan. Efisiensi turbin dapat ditentukan berdasarkan perbandingan antara kerja aktual yang dihasilkan dan kerja ideal dari turbin (Yanti *et al.*, 2024).

Efisiensi turbin merupakan kemampuan turbin untuk merubah energi panas yang dikandung uap menjadi energi mekanik untuk menggerakkan generator. Dalam termodinamika, efisiensi termal adalah ukuran tanpa dimensi yang menunjukkan performa peralatan termal seperti mesin pembakaran dalam dan sebagainya. Panas yang masuk adalah energi yang didapatkan dari sumber energi. (Arrazi *et al.*, 2023).

Salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi kerja turbin uap adalah laju massa uap. Laju massa uap yang tidak optimal, misalnya terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menyebabkan turunnya efisiensi turbin. Laju massa uap masuk yang semakin tinggi akan mengakibatkan putaran poros turbin yang semakin cepat, namun belum tentu efisiensi turbin yang dihasilkan juga besar (Yanti *et al.*, 2024).

Efisiensi turbin uap akan mempengaruhi kinerja dari turbin itu sendiri. Semakin besar nilai efisiensi nya maka semakin baik kemampuan kinerja turbin tersebut. Efisiensi turbin juga bisa mengalami penurunan akibat faktor-faktor, seperti tekanan uap yang tidak sesuai dan suhu uap yang rendah pada saat kondisi operasi. Hal inilah yang melatar belakangi penulis melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Kondisi Operasional Terhadap Efisiensi Turbin Uap.”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat disimpulkan rumusan masalah yang akan diselesaikan seebagai berikut :

1. Apa saja pengaruh dari suhu, tekanan dan laju aliran massa terhadap efisiensi turbin uap selama kondisi operasinal?
2. Bagaimana menganalisa pengaruh setiap variabel (seperti tekanan, suhu yang masuk dan laju aliran massa) terhadap efisiensi turbin uap?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dari penelitian tugas akhir ini yang terfokus pada variabel-variabel operasional seperti tekanan steam yang masuk, temperatur steam dan laju aliran massa. Penelitian ini tidak membahas pengaruh keausan dari bilah turbin, kerugian thermal dalam system pemipaan, dan fluktuasi beban listrik.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian yang penulis lakukan, antara lain :

1. Menentukan pengaruh dari beberapa parameter terhadap efisiensi turbin uap saat kondisi operasional.
2. Menganalisa pengaruh setiap variabel - variabel pendukung efisiensi turbin uap.

1.5 Manfaat

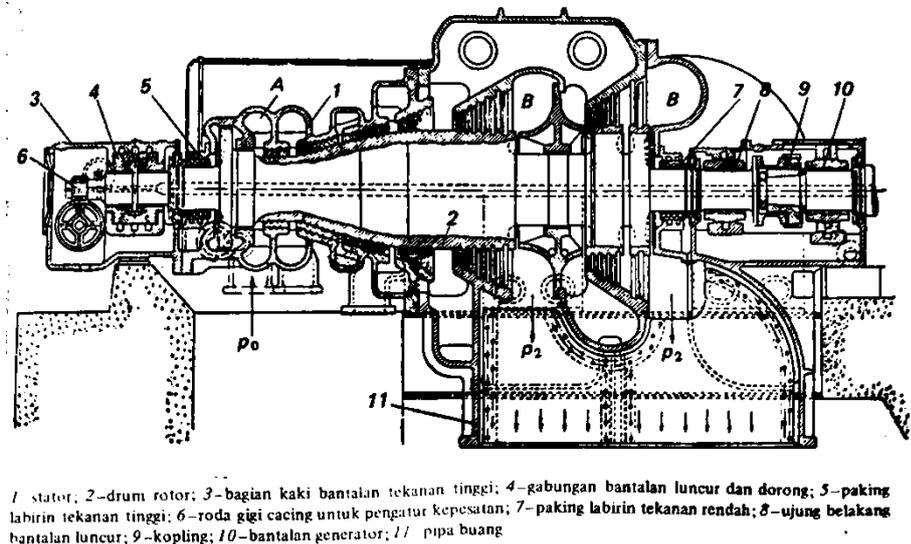
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk :

1. Memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai efisiensi turbin uap
2. Menyediakan informasi yang dapat digunakan oleh industri untuk mengoptimalkan kondisi operasi turbin uap
3. Memberikan bahan referensi dan pengembangan pengetahuan bagi mahasiswa
4. Menambah pengetahuan dan pengalaman bagi penulis sehingga dapat digunakan suatu hari nanti

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Uap

Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung pada jenis mekanisme yang digerakkan, turbin uap dapat digunakan pada industri, untuk pembangkit tenaga listrik dan untuk transportasi (P.Shlyakhin., 1999).



Gambar 2. 1turbin Uap (P.Shlyakhin, 1999)

2.1.1 Prinsip Kerja Turbin Uap

Menurut (Wisnaningsih, 2019) prinsip kerja turbin uap secara umum ada dua macam, yaitu :

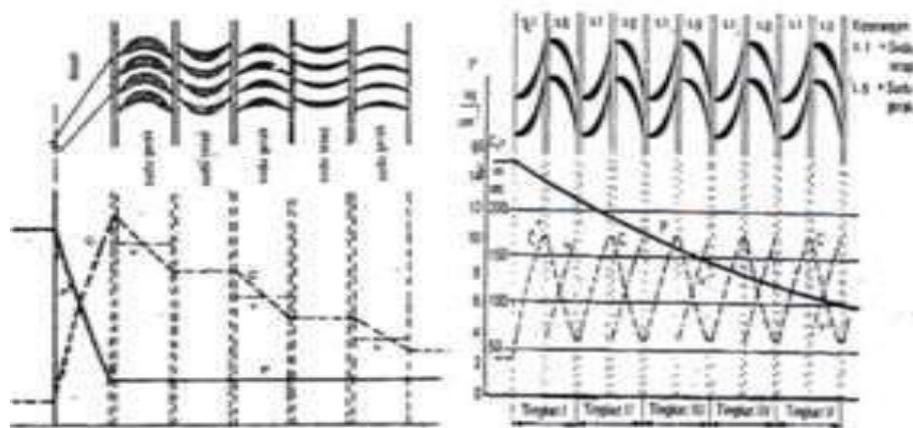
1. Prinsip kerja aksi (impuls)

Dimana proses ekspansi penurunan tekanan fluida kerja hanya terjadi di dalam baris sudu tetapnya saja. Bila pada sebuah turbin uap, uap dari ketel diekspansikan dalam *nozzle* dari tekanan ketel (P_0) ketekanan tertentu (P_1), maka akibat penurunan tekanan ini akan terjadi kenaikan kecepatan uap, dari kecepatan uap memasuki *nozzle* (C_0) ke kecepatan uap memasuki sudu gerak (C_1). Oleh karena energi

potensial uap yang disebut juga enthalpi uap tergantung pada tekanan dan suhu uap, maka pada penurunan tekanan akan terjadi juga penurunan suhu akibat penurunan tekanan. Dalam sudu-sudu gerak terjadi penurunan kecepatan uap dari kecepatan mutlak C_1 menjadi C_2 , maka tekanan uap memasuki turbin P1 sama dengan uap keluar P2. Sehingga prinsip kerja dari turbin aksi ini, di dalam nosel terjadi perubahan energi potensial menjadi energi kinetik sedangkan yang terjadi dalam sudu-sudu gerak terjadi perubahan energi mekanik.

2. Prinsip kerja reaksi

Turbin reaksi adalah dimana proses ekspansi dari *fluida* kerja terjadi baik di dalam baris sudu tetap maupun sudu geraknya. Turbin reaksi juga dinamai turbin *parson*. Pada turbin reaksi baris sudu tetap maupun sudu gerak berfungsi sebagai nosel, sehingga kecepatan relatif uap keluar setiap sudu lebih besar dari kecepatan uap masuk sudu yang bersangkutan. Prinsip reaksi ini, uap mengembang dalam nosel dan sudu-sudu gerak. Pada nosel tekanan uap turun dari P_0 ke P_1 , kecepatan uap naik dari C_0 ke C_1 dan enthalpy uap turun dari h_0 menjadi h_1 . sehingga kehilangan energi panas dalam sudu-sudu geraknya ini setara dengan kenaikan energi kinetik. Jadi, prinsip kerja turbin reaksi ini terjadi ekspansi uap dalam nosel atau dalam sudu tetap dan sudu gerak mempunyai bentuk yang hampir sama. Maka pada kedua jenis sudu itu terjadi penurunan tekanan.



Gambar 2. 2 Tingkat Impuls (A) Dan Tingkat Reaksi (B) . (Wisnaningsih, 2019)

2.1.2 Komponen Utama Turbin Uap

Berdasarkan pada gambar 2.1 diatas turbin uap memiliki beberapa komponen, berikut beberapa komponen turbin uap secara umum (P.Shlyakhin., 1999) :

1. *Cassing*

Cassing adalah sebagai penutup bagian-bagian utama turbin.

2. *Rotor*

Rotor adalah bagian turbin yang berputar yang terdiri dari poros, sudu turbin atau deretan sudu yaitu stasionary 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.

3. *Journal Bearing*

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

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.

5. *Main Oil Pump*

Main oil pump berfungsi untuk memompakan oli dari tangki untuk disalurkan pada bagian-bagian yang berputar pada turbin.

6. *Set Carbons*

Set Carbons berfungsi menahan kebocoran uap

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.

9. *Gland Packing*

Gland Packing berfungsi untuk menahan kebocoran, baik itu kebocoran uap maupun kebocoran oli.

10. *Stasionary Blade*

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

11. *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.

12. *Control Valve*

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

13. *Stop Valve*

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

14. *Reducing Gear*

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

- a. *Gear casing* merupakan penutup *gear box* untuk melindungi bagian dalam dari *reducing gear*.
- b. *Pinion (high speed gear)* merupakan roda-roda gigi dengan tipe helical yang putarannya merupakan putaran dari poros rotor turbin.
- c. *Gear wheel (low speed gear)* merupakan roda-roda gigi tipe helical yang putarannya akan mengurangi jumlah putaran dari poros rotor turbin.
- d. *Pinion bearing* yaitu bantalan yang berfungsi untuk menahan/menerima gaya tegak lurus dari *pinion gear*.
- e. *Pinion holding ring* yaitu ring yang berfungsi menahan pinion bearing terhadap gaya *radial shaft pinion gear*.

- f. *Wheel bearing* merupakan bantalan yang berfungsi untuk menerima atau menahan gaya radial atau gaya tegak lurus dari *shaft gear wheel*.
- g. *Wheel holding ring* merupakan ring penahan dari *wheel bearing* terhadap gaya radial dari *shaft gear wheel*.
- h. *Wheel trust bearing* merupakan bantalan yang berfungsi untuk menahan atau menerima gaya aksial *gear wheel* yang bergerak maju dan mundurnya poros.

Secara umum, bagian-bagian utama dari sebuah turbin uap adalah :

- a. *Nozzle*, merupakan media ekspansi uap yang merubah energi potensial menjadi energi kinetik.
- b. Sudu, merupakan komponen yang menerima gaya dari energi kinetik uap melalui *nozzle*.
- c. Cakram, merupakan tempat sudu-sudu terpasang secara radial pada poros.
- d. Poros, merupakan komponen utama dimana cakram-cakram sepanjang poros dipasangkan.
- e. Bantalan, komponen ini berfungsi untuk mendukung ujung-ujung poros dan menerima banyak beban.
- f. Kopling, merupakan media penghubung antara mekanisme turbin uap dengan mekanisme yang digerakkan (generator).

2.1.3 Identifikasi Kegagalan Turbin Uap

Turbin Uap sangatlah sensitif terhadap kualitas *steam* yang di gunakan. Tetapi ini tergantung dari jenis dan type Turbin yang kita gunakan. 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).

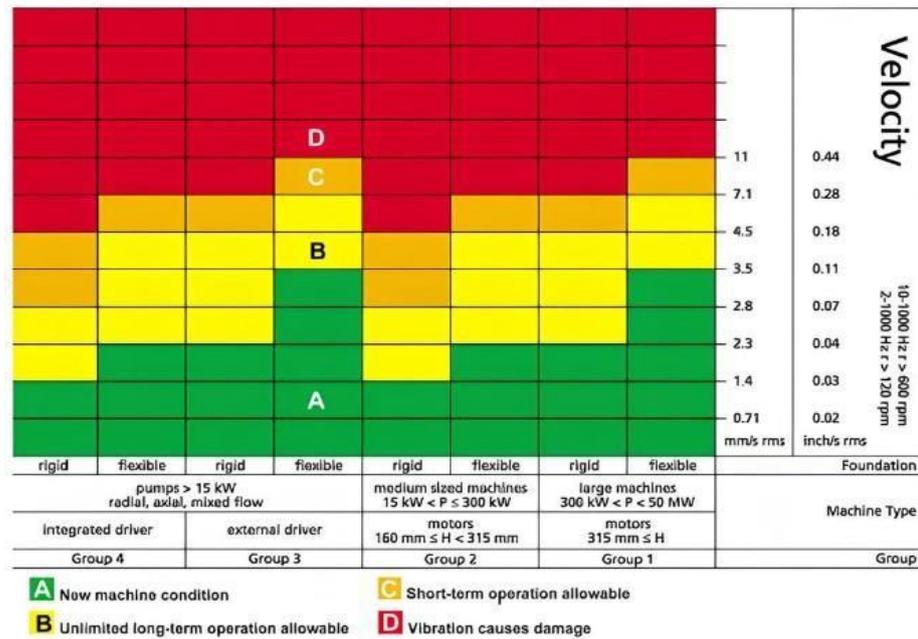
Menurut (Muin, 1993) bahaya bukan hanya korosi saja, yang menyebabkan sudu erosi atau aus, tetapi menurun nya energi mekanik yang mengakibatkan menurunnya efisiensi turbin dan serta naiknya kerugian energi. Adapun beberapa kerusakan akibat kualitas steam yang buruk, antara lain :

1. Vibrasi pada turbin uap

(Lubis et al., 2020) Memaparkan bahwa vibrasi atau getaran tinggi ini harus segera di respon baik anda sebagai operator, sebagai supervisi 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. 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

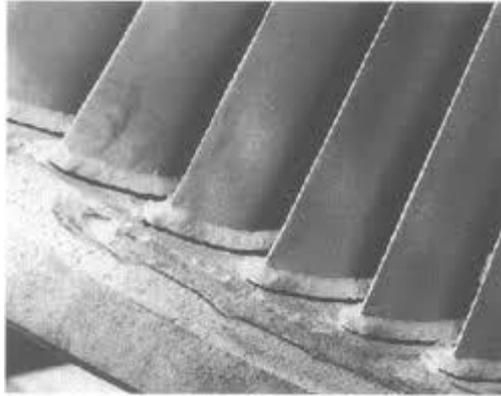
Standar ISO 10816-3



Gambar 2.3 Velocity (Pulungan, 2023)

2. Erosi pada sudu

Menurut (Umurani et al., 2020), 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). Dengan erosi di artikan pengrusakan oleh gesekan dan sentuhan uap pada sudu. Pengaruh ini lebih terasa lagi dibagian turbin pada saat dimana uap mengalami perubahan dari keadaan jenuh menjadi basah. Kerusakan pada sudu turbin penyeban utamanya adalah karena carry over. Sudu turbin yang seharusnya di dorong oleh steam kering tetapi ini bercampur dengan air. Mengakibatkan kerusakan pada sudu-sudu. Bisa berupa bintik-bintik lubang kecil bahkan sampai keausan yang tinggi. (Sibarani. A. I., 2019).



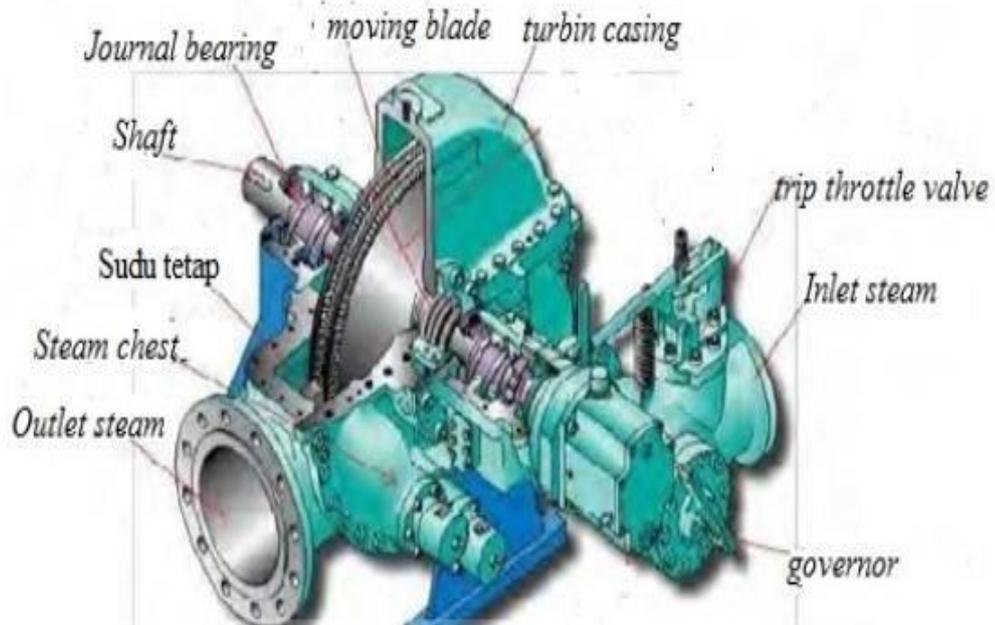
Gambar 2. 4 Erosi Pada Sudu Turbin (Sector, 2005)

2.1.4 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.

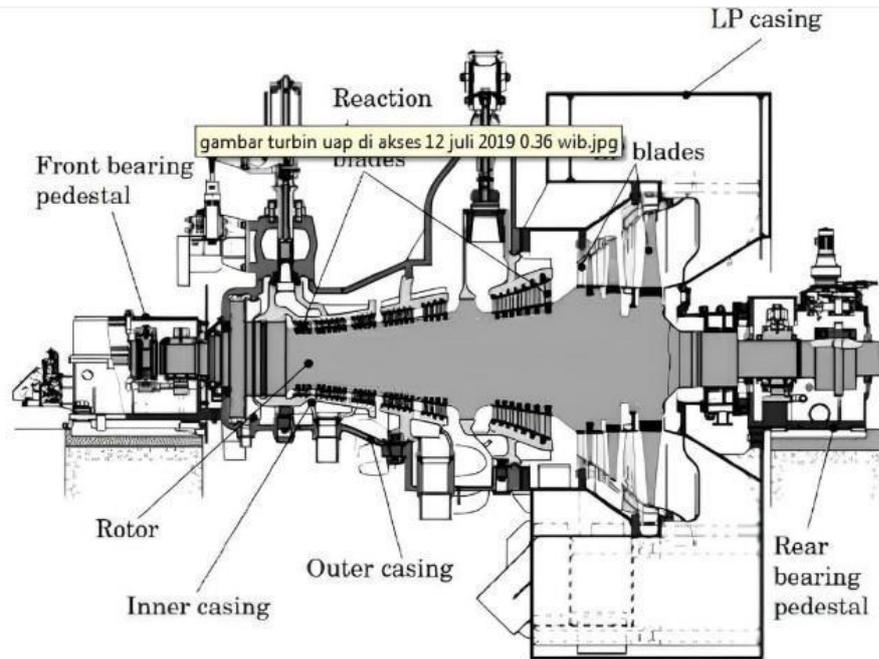


Gambar 2.5 Turbin *Single Stage* (Hadi, 2021)

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 menggerakkan 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 mengasikkan 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.

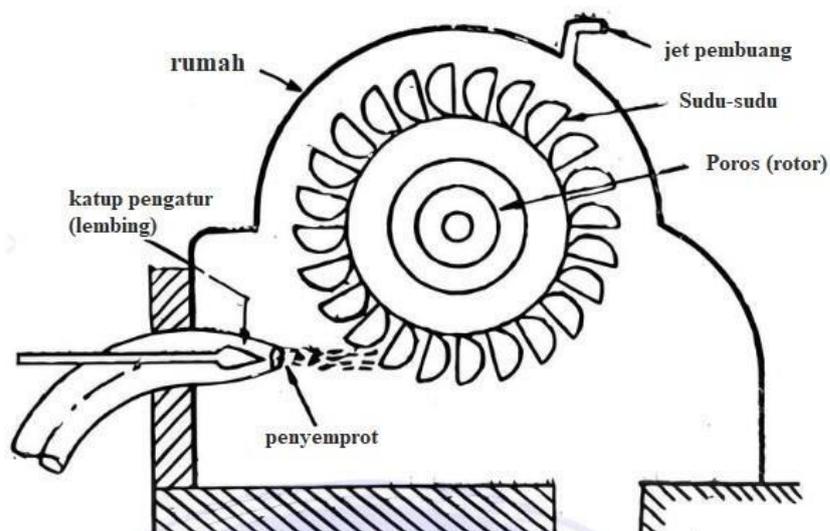


Gambar 2.6 Turbin *Multi Stage* (F .F. Prasajo, 2022)

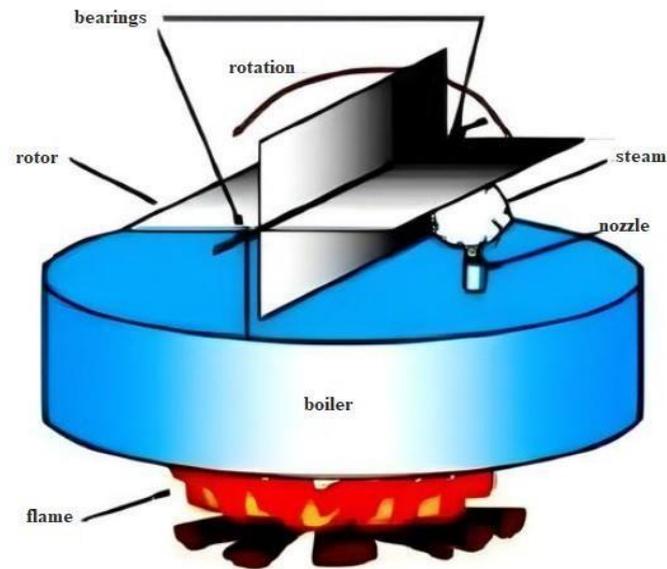
Berdasarkan Geometri Sudu (A.M.T Utama, 2022) Menjelaskan bahwa jenis-jenis turbin berddasarkan *stage* terbagi atas turbin impuls dan turbin reaksi. Dalam turbin uap, uap dengan entalpi tinggi (tekanan dan suhu tinggi) *nozzle* masuk lebih luas (sudu stasioner) di mana energi kinetik meningkat dengan 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 si sudu turbin yang bergerak



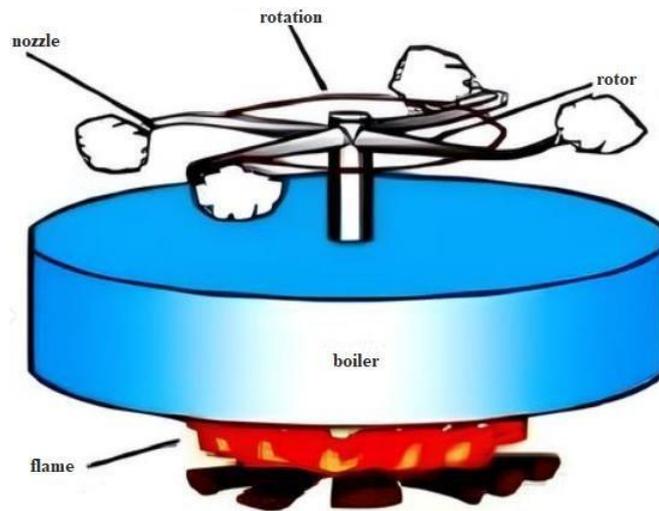
Gambar 2.7 Turbin *Impuls* (Wahyudi, 2019)



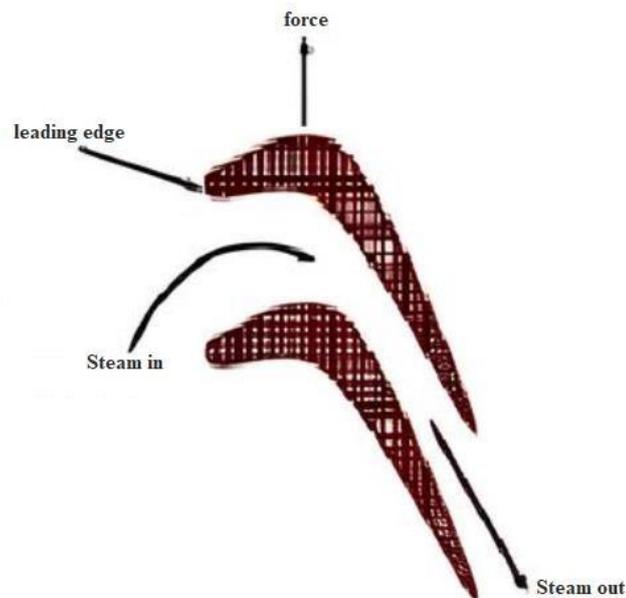
Gambar 2.8 Prinsip Turbin Impuls (A.M.T UTAMA, 2022)

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 membentang 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 2.9 Prinsip Turbin Reaksi (A.M.T UTAMA, 2022)

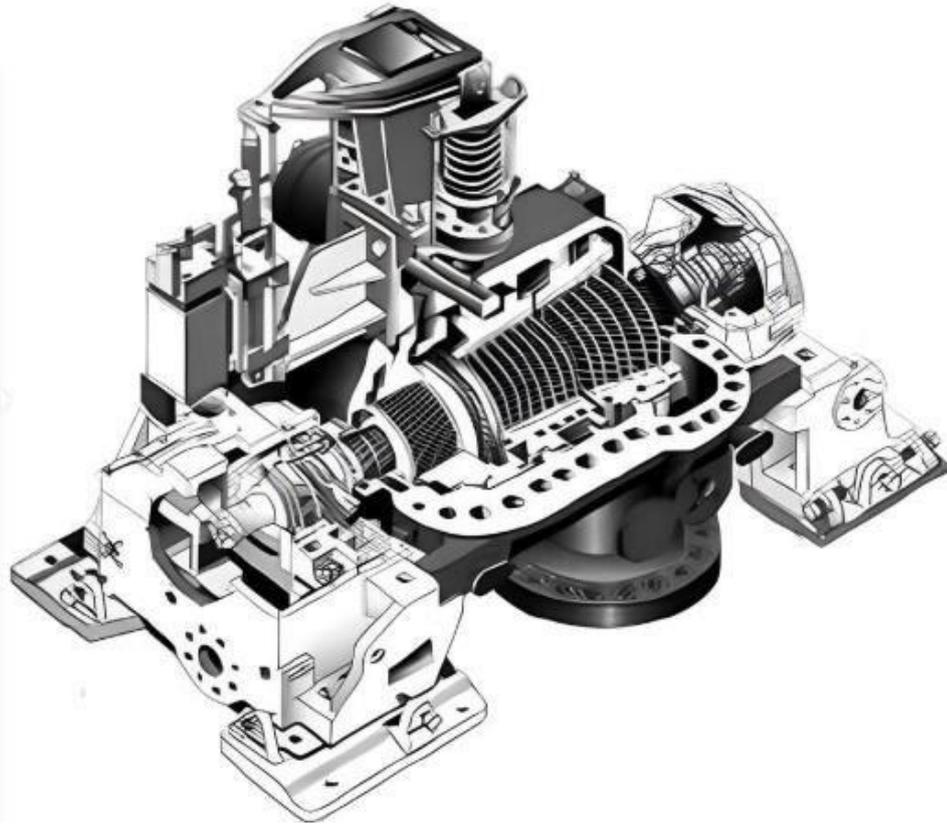


Gambar 2.10 Penampang sudu turbin reaksi (A.M.T UTAMA, 2022)

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*

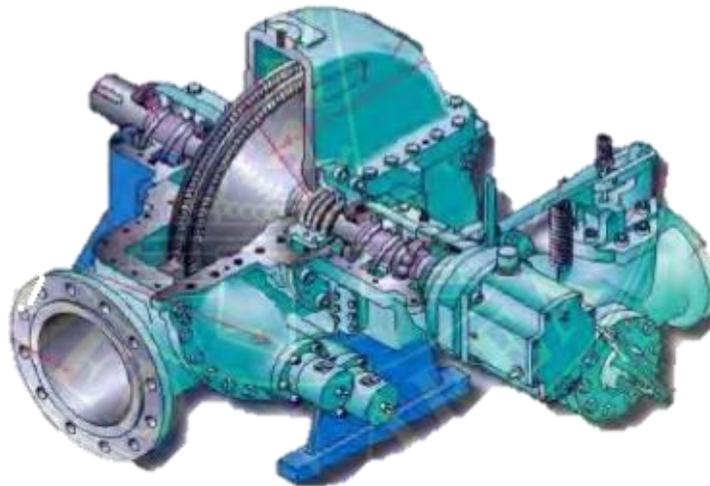
Turbin uap jenis ini digunakan terutama sebagai penggerak untuk generator listrik di pembangkit listrik. Tekanan uap yang keluar (*exhaust*) lebih rendah dibandingkan tekanan atmosfer ke kondensor.



Gambar 2.11 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.



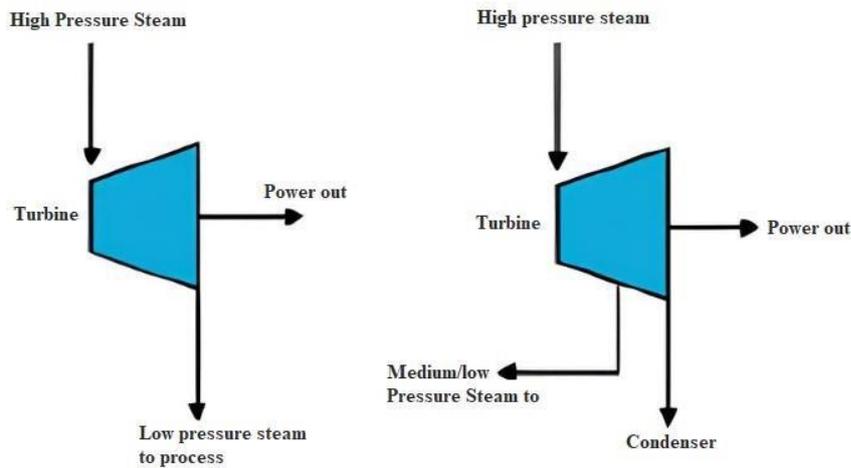
Gambar 2.12 Turbin *Non* Kondensasi(Wahyudi, 2019)

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.



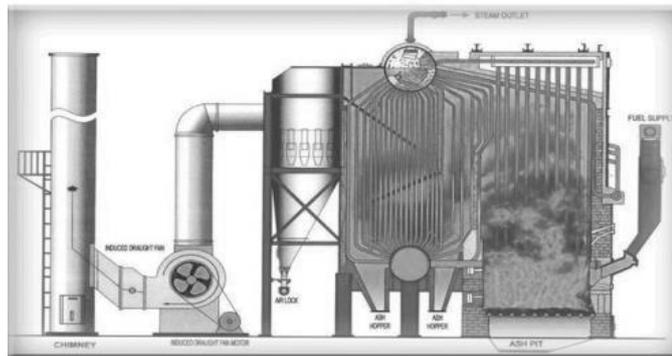
Gambar 2.13 Ekstraksi dan Induksi (A.M.T UTAMA, 2022)

2.2 Boiler

(Fatimura, 2015) menjelaskan bahwa boiler menghasilkan steam (uap) untuk berbagai kebutuhan industri dan proses produksi. Air boiler dipanaskan oleh panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar atau sumber panas lainnya. Panas berpindah dari sumber panas tersebut ke air, meningkatkan suhu air dan mengubahnya menjadi uap.

Para insinyur Yunani dan Romawi memiliki pengetahuan tentang uap dan air panas, tetapi tidak mengaplikasikannya. Hero dari Iskandariah mengembangkan prinsip turbin reaksi dan mesin jet dalam bentuk sederhana sebagai permainan. Pada tahun 1606, *Giovanni Battista Porta* merancang laboratorium percobaan tentang tenaga uap dan kondensasi. *Galileo* pada 1641 menyatakan bahwa air hanya bisa dipompa dari kedalaman 28 kaki; setelah kematiannya, *Evangelista Torricelli* menemukan pada 1643 bahwa tekanan atmosfer dapat menahan kolom air setinggi 32 kaki di atas vakum. Pada 1698, *Thomas Savery* memperoleh paten untuk mesin pompa dengan sistem vakum menggunakan ketel uap dan kondensor. Pada 1712, *Thomas Newcomen* dan *John Calley* menciptakan mesin uap pertama yang mengangkat piston. *James Watt* merevisi mesin Newcomen pada 1764, merancang mesin uap dengan silinder dan piston, dan memperoleh paten lima tahun kemudian. Sejak saat itu, ketel uap (boiler) terus berevolusi. Boiler adalah bejana tertutup yang mengalirkan panas ke air untuk menghasilkan uap atau air panas. Komponen pentingnya termasuk

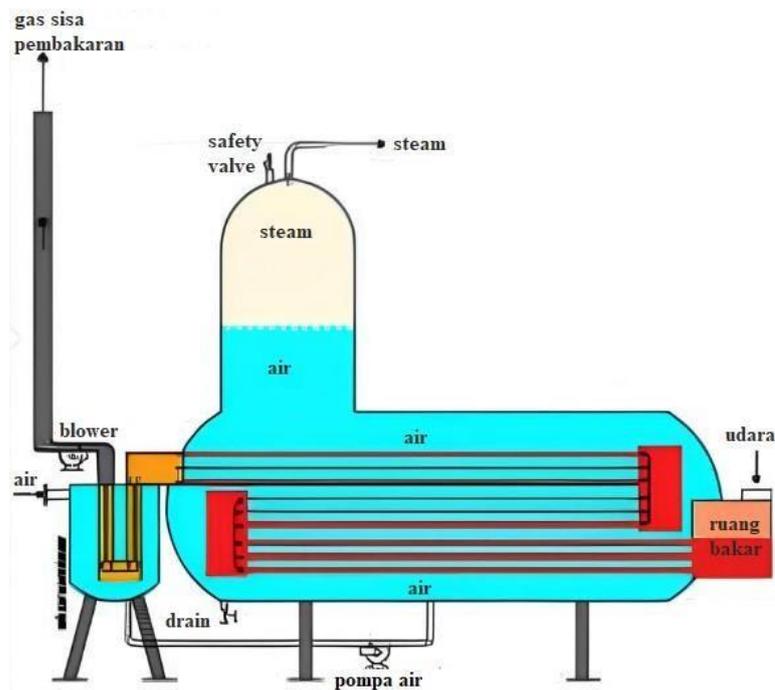
burner, ruang bakar, penukar panas, dan sistem kontrol. Pembakaran yang sempurna dihasilkan dari campuran bahan bakar dan udara yang tepat; panas yang dihasilkan dipindahkan ke air melalui penukar panas. Air panas atau uap pada tekanan tertentu digunakan dalam berbagai proses industri (Aswan et al., 2017). Pengoperasian boiler harus sesuai dengan standar operasi untuk menjamin keamanan, kehandalan, dan efisiensi, serta menekan biaya operasional (Sugiharto, 2016).



Gambar 2. 13 Boiler (Mustangin, 2018)

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

1. Boiler Pipa Api (Fire Tube Boiler)

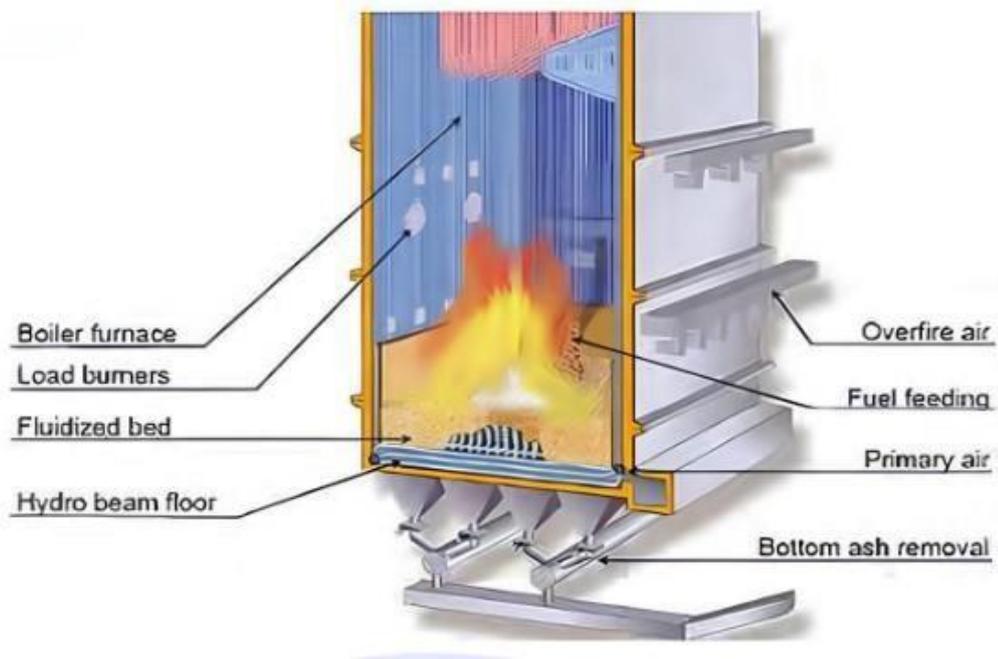


Gambar 2.15 Boiler Pipa Api (Umi Hanifah et al., 2019)

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

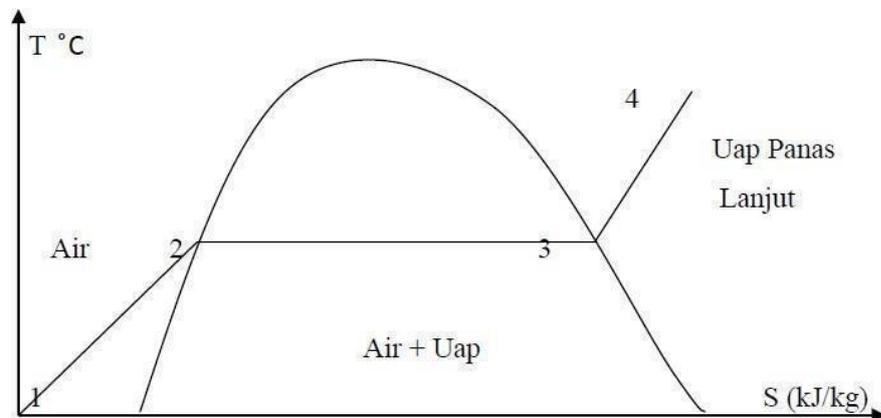
2. Boiler Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

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 2.16 Boiler pipa air (Efendi, 2021)

2.3 Proses Pembentukan Uap



Gambar 2. 17 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 (ElWakil, 2015).

(Prasojo. F. F., 2022) menjelaskan adapun kelebihan penggunaan air sebagai fluida kerja adalah :

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

2.3.1 Saturated Steam

Saturated steam (uap saturasi) adalah sebuah kondisi dimana uap air berada pada ekuilibrium tekanan dan temperatur yang sama dengan air fase cair (*liquid*). 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*) (POLSR, 2019)

2.3.2 Superheated Steam

Uap panas lanjut (*superheated steam*) merupakan uap yang di hasilkan oleh alat superheater dengan cara menghilangkan kadar air dalam uap dengan cara menaikkan temperatur uap jenuh/saturated steam (Viki Wahyu Endriyana dan Djatmiko Ichsani., 2013)

2.4 Termodinamika

(El-Wakil, 2015) Menjelaskan 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.

2.4.1 Hukum Termodinamika Pertama

Termodinamika berasal dari Bahasa Yunani, yaitu *thermos* yang berarti panas, dan *dynamic* yang berarti perubahan. Sehingga termodinamika merupakan ilmu yang mempelajari hukum-hukum yang mengatur perubahan energi dari suatu bentuk ke bentuk lain, aliran, dan kemampuan energi melakukan usaha. Termodinamika membahastentang sistem kesetimbangan (*equilibrium*), yang dapat digunakan untuk mengetahui besarnya energi yang diperlukan untuk mengubah suatu sistem dari keadaan kesetimbangan. Namun demikian, termodinamika tidak dapat digunakan untuk menentukan kecepatan perubahan yang terjadi selama proses saat sistem tidak berada dalam kesetimbangan. Sistem tersebut dapat berubah sebagai akibat dari keadaan lingkungan di sekitarnya. Materi sistem dalam termodinamika dapat menerima energi panas atau energi dalam bentuk yang berbeda beda.

Dalam termodinamika dikenal sistem termodinamik, yaitu sistem dalam keadaan sembarang (ada perbedaan suhu, ada perbedaan tekanan, ada reaksi kimia) antar bagian-bagian sistem. Bila tidak terjadi perbedaan suhu disebut sistem dalam keadaan kesetimbangan termal. Bila tidak terjadi perbedaan tekanan disebut sistem dalam kesetimbangan mekanik. Bila tidak terjadi reaksi kimia, maka sistem dalam kesetimbangan kimia. Dengan demikian, bila ketiga kesetimbangan telah tercapai dikatakan bahwa sistem dalam kesetimbangan termodinamika. Menurut hukum Termodinamika I adalah “Energi tidak dapat diciptakan ataupun dimusnahkan, melainkan hanya dapat diubah bentuknya saja” . Jika selama gas mengalami suatu proses maka ada beberapa peristiwa yang dapat terjadi, (Evalina *et al.*, 2019)

1. Energi dalam yang dimiliki gas berubah.
2. Muncul kerja yang dilakukan oleh gas atau yang dilakukan oleh lingkungan.
3. Ada pertukaran kalor antara gas dan lingkungan. Peristiwa yang terjadi dalam hukum termodinamika pertama menjelaskan bahwa terjadi interaksi antara sistem dan lingkungan.

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

- a. Proses pada tekanan konstan (isobarik)
Pada proses tekanan konstan, tekanan awal proses sama dengan tekanan akhir proses atau $p_1 = p_2$.
- b. Proses pada volume konstan (isokhorik)
Pada proses isokhorik, volume awal akan sama dengan volume akhir gas atau $V_1 = V_2$
- c. Proses pada temperatur konstan (isotermal)
Pada proses isotermal, temperatur awal proses akan sama dengan temperatur akhir proses atau $T_1 = T_2$.
- d. Proses adiabatik reversibel (isentropi) Proses adiabatik reversibel adalah proses termodinamika dimana tidak ada kalor yang masuk atau keluar dari sistem (adiabatik) dan proses ini mampu balik (reversibel) artinya tidak ada hambatan atau gesekan.

a. Entalpi

Menurut (Setiawan, 2023) dalam termodinamika, entalpi adalah istilah yang menunjukkan jumlah energi internal suatu sistem termodinamika bersama 14 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 system (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).

b. 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 :

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

Dimana :

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

c. Mencari nilai entalpi keluar (h2)

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

$$h_2 = h_1 - (x \cdot h_{fg}) \quad (2.3)$$

d. Perubahan Entalpi (Δh)

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

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

2.4.2 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 bisa berlangsung (Merle C Potter & Craig W. Somerton, 2011).

a. Entropi

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).

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

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

Efisiensi turbin merupakan parameter yang menyatakan derajat keberhasilan komponen atau sistem turbin mendekati desain atau proses ideal dengan satuan persen (%) (Prasojo. F. F., 2022). Efisiensi turbin merupakan perbandingan antara kinerja aktual pada suatu peralatan dengan kinerja yang dapat diperoleh dibawah keadaan ideal untuk keadaan masuk yang sama dan tekanan keluar yang sama (Jaya, 2020).

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

Dalam menentukan efisiensi turbin uap, terlebih dahulu dapat menentukan beberapa hal antara lain:

2.5.1 Fraksi Uap

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

$$X = ((S1-Sf2))/Sfg$$

2.5.2 Kerja Turbin

Kerja turbin uap ditentukan dengan persamaan dan diperlukan parameter berupa laju aliran massa (Setiawan *et al.*, 2022).

$$Wt = m \times \Delta h \tag{2.8}$$

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat

Penelitian dilakukan di PKS PT. Perkebunan Nusantara IV Pulu Raja, Pulau Rakyat Tua, Kec. Pulau Rakyat, Kabupaten Asahan, Sumatera Utara

3.1.2 Waktu

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Waktu Penelitian					
		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

Berikut adalah bahan dan alat yang digunakan selama melakukan penelitian

3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam proses penelitian ini antara lain :

1. Data primer yang digunakan adalah dokumentasi.
2. Data sekunder yang digunakan adalah *logsheet* operator.

3.2.2 Alat

1. Turbin

Turbin yang di gunakan di PT. Perkebunan Nusanatara IV Pulu Raja Pulau Rakyat Tua, Kec. Pulau Rakyat, Kabupaten Asahan, Sumatera Utara adalah *Dresser Rand* Kapasitas Daya 768 Kilowatt dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3. 2 Spesifikasi turbin uap

Spesifikasi turbin uap di PKS Pulu Raja

Model / Serial	Dresser rand 503w
Daya Output	768kW
Tekanan Masuk	17 bar
Temperatur Kerja Uap	260°C
Tekanan Keluar	3,4 bar
Turbin speed	5400 Rpm



Gambar 3. 1 Turbin Uap

2. Pressure Gauge

Pressure Gauge adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur tingkat tekanan dalam suatu cairan atau gas, lintas industri. tingkat tekanan dalam suatu cairan atau gas, lintas industri.



Gambar 3. 2 Pressure Gauge

3. Panel Kontrol Turbin Uap

Panel kontrol turbin uap yang digunakan di PT. Perkebunan Nusantara IV Pulu Raja Rakyat Tua, Kec. Pulau Rakyat, Kabupaten Asahan, Sumatera Utara.



Gambar 3. 3 panel control

4. *Boiler*

Boiler yang digunakan di PT. Perkebunan Nusantara IV Pulu Raja.



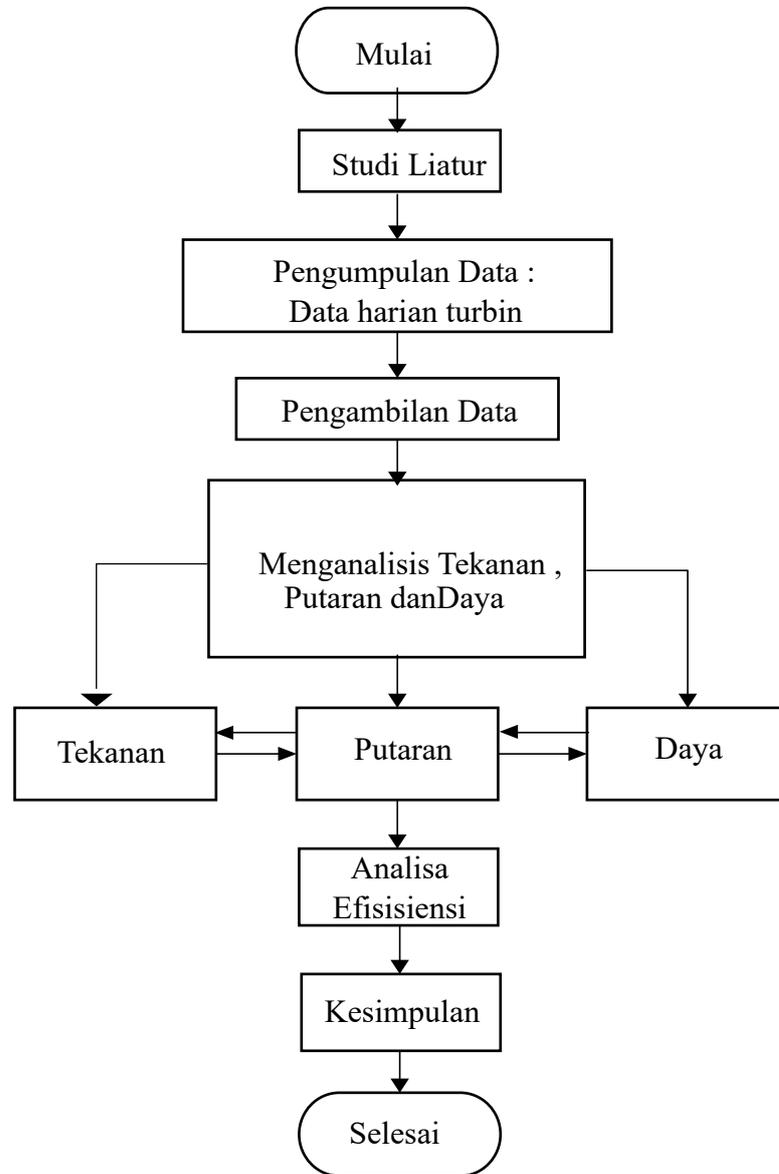
Gambar 3. 4 Boiler



Gambar 3. 5 Control Panel boiler

3.3 Bagan Alir Penelitian

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



Gambar 3. 6 Diagram Alir

3.4 Rancangan Alat Penelitian

Pada bagian ini dijelaskan bagaimana sistem atau alat yang digunakan dalam penelitian dirancang untuk memperoleh data yang diperlukan. Penelitian ini

dilakukan pada turbin uap yang beroperasi di PTPN IV PKS Pulu Raja, dengan tujuan mengetahui pengaruh kondisi operasional terhadap efisiensi turbin.

3.4.1 Skema Sistem Turbin Uap

Penelitian ini menggunakan sistem turbin uap industri yang terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

1. Boiler: sebagai pembangkit uap.
2. Turbin uap: alat utama yang mengubah energi termal uap menjadi energi mekanik.
3. Generator: pengubah energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik.
4. Pipa dan valve: saluran uap dari boiler ke turbin dan menuju kondensor.
5. Kondensor atau separator: tempat uap bekas keluar dari turbin.

Diagram alur sistem secara umum dapat digambarkan sebagai berikut:

Boiler → Pipa Uap → Turbin Uap → Saluran Keluar/Kondensor

3.4.2 Alat Ukur Yang Digunakan

Untuk memperoleh data operasional turbin, digunakan beberapa alat ukur sebagai berikut:

Tabel 3.3 macam macam alat ukur

Macam macam Alat Ukur			
No	Alat Ukur	Fungsi	Lokasi Pemasangan
1	Termometer digital/analog	Mengukur suhu uap masuk dan keluar	Inlet dan outlet turbin
2	Pressure gauge	Mengukur tekanan uap	Di saluran masuk dan keluar turbin
3	Flow meter	Mengukur laju aliran massa uap	Pipa utama sebelum masuk turbin
4	Wattmeter/panel daya	Mengukur daya keluaran aktual turbin	Panel kontrol generator
5	Stopwatch/jam waktu	Mencatat waktu pengukuran	Manual

3.5 Prosedur Penelitian

1. Mencatat suhu dan tekanan uap masuk serta tekanan uap keluar.

2. Mencatat debit uap menggunakan flow meter.
3. Mencatat daya keluaran aktual dari panel wattmeter.
4. Data yang diperoleh digunakan untuk menghitung:
 - Entalpi masuk dan keluar turbin (menggunakan tabel uap)
 - Daya isentropik
 - Efisiensi isentropik turbin

3.6 Variabel

3.6.1 Variabel Bebas

1. Tekanan steam masuk (Kg/cm²)
2. Tekanan steam keluar (Kg/cm²)
3. Temperatur steam masuk (°C)
4. Laju aliran massa (Ton/jam)
5. Data Kegagalan turbin uap

3.6.2 Variabel Tetap

1. Efisiensi turbin uap (%)
2. Output Beban (kW)

3.7 Pengumpulan Data

Pengumpulan data akan dilakukan selama 1 bulan di PT. Perkebunan Nusantara IV Pulu Raja. Data yang diambil berupa tekanan steam masuk (Kg/cm²), tekanan steam keluar (Kg/cm²), temperatur steam masuk (°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 Pengolahan data untuk mencari nilai efisiensi turbin uap. Pengolahan data untuk melihat seberapa berpengaruh beberapa indikator pada saat turbin uap sedang beroperasi terhadap efisiensi turbin uap.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Pada pabrik kelapa sawit PULU RAJA, PTPN IV menggunakan sistem pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) untuk memenuhi kebutuhan listrik yang dibutuhkan pabrik khususnya dalam pengolahan kelapa sawit (TBS) menjadi minyak mentah (*Crude Palm Oil*) dan *Palm Kernel Oil* (PKO) dan kebutuhan listrik perumahan-perumahan yang ada diperkebunan. Perawatan dan perbaikan mesin menjadi aspek penting yang harus diperhatikan oleh Kepala Kamar Mesin dan operator boiler untuk mendukung kelancaran operasional turbin uap serta proses pengolahan yang lainnya. Proses pengolahan minyak memerlukan penggunaan steam dengan penggerak elektro motor yang dayanya didukung oleh turbin generator oleh karena itu optimasi kinerja turbin generator menjadi hal yang sangat penting.

Tabel 4. 1 spesifikasi turbin uap

Spesifikasi Turbin Uap PKS Pulu Raja	
Model / Serial	DRESSER-RAND 503W
Daya Output	768 kW
Tekanan Masuk	17 Bar
Temperatur Kerja Uap	260 °C
Tekanan Keluar	3,4 Bar
Turbin Speed	5400 RPM
Output Shaft Speed	1500 RPM

Penulis telah melaksanakan pengambilan data di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Pulu Raja, PTPN IV, selama kurang lebih satu minggu. Selama periode tersebut, penulis memperoleh berbagai data yang diperlukan untuk penyusunan Bab IV, antara lain: temperatur uap, tekanan masuk, tekanan keluar, aliran steam, dan beban turbin. Berikut adalah data yang di dapatkan oleh penulis.

Tabel 4. 2 Data hasil penelitian

Data hasil penelitian					
Tanggal	T (°C)	P1 (Bar)	P2 (Bar)	\dot{m} (kg/s)	W aktual (kw)
21/04/2025	272	19	3,0	5,658	490
22/04/2025	265	19	3,0	5,019	490
23/04/2025	261	19	3,0	5,758	480
24/04/2025	266	19	3,0	5,608	490
25/04/2025	276	19	3,0	5,758	490
26/04/2025	261	19	3,0	5,819	480
28/04/2025	262	19	3,0	5,019	490
<i>design</i>	260	17	3,4	5,821	768

4.2 Pembahasan Efisiensi Turbin Uap

Untuk mencari efisiensi turbin uap berdasarkan data aktual yang didapat sebelumnya terlebih dahulu menentukan nilai entalpi dan entropi masuk, energi keluar, fraksi uap, entalpi keluar, perubahan entalpi, kerja turbin dalam kondisi isentropis. ketika nilai tersebut sudah di tentukan langkah selanjutnya menentukan nilai efisiensi turbin uap.

4.2.1 Entalpi Masuk

Tabel 4.3 data parameter 1 tanggal 21 april 2025

Tanggal	T Steam Masuk (°C)	P Steam Masuk (Bar)
21 april 2025	272	19

Terlihat jelas pada tabel 4.1 di dapatkan tekanan *steam* masuk dan temperatur *steam*. Kemudian dapat dilihat dalam tabel *steam Appendix* (SI) Jika

tidak dapat dilihat dalam tabel *steam*, maka harus menggunakan rumus interpolasi
 2.2 Berikut pembahasannya :

Diketahui : Temperatur saturated steam : 272 °C

Tekanan Steam masuk : 19 BAR = 1,9 MPa

Entalpi *steam* uap pada 272 °C yang diambil dari tabel *Steam Appendix*.
 Dilakukan perhitungan dengan menggunakan aplikasi excel 2013 dengan persamaan 2.3. Entalpi pada 272 °C berada diantara nilai-nilai berikut.

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

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

Tabel 4. 4 Entalpi 1

	1,8 MPa		2 MPa		1,9 MPa
250	2911,7	250	2903,3	1,8	2960,4
272	2960,4	272	2953,1	1,9	2958,1
300	3029,9	300	3024,2	2	2953,1

Maka di peroleh E = h1 (entalpi uap masuk) adalah sebesar 2890,35 kJ/kg, kemudian untuk menghitung s1 (entropi uap masuk) dilakukan perhitungan dengan rumus yang sama.

4.2.2 Entropi Masuk

Terlihat tabel 4.1 di dapatkan temperatur steam masuk dan temperatur steam. Kemudian dapat dilihat dalam tabel steam appendix (SI) Jika tidak dapat dilihat dalam tabel steam, maka harus menggunakan rumus interpolasi 2.5 berikut pembahasannya :

Diketahui : Temperatur saturated steam : 272 °C

Tekanan Steam masuk : 19 BAR = 1,9 MPa

Entropi steam uap pada 272 °C yang diambil dari tabel appendix. Dilakukan perhitungan dengan menggunakan aplikasi excel 2013 dengan persamaan 2.5.

Entropi pada 272 °C berada diantara nilai-nilai berikut .

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

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

Tabel 4. 5 Entropi

1,8 MPa		2 MPa		1,9 MPa	
250	6,6088	250	6,5475	1,8	6,6998
272	6,6998	272	6,6406	1,9	6,6702
300	6,8246	300	6,7684	2	6,6406

$$E = 6,6998 + \left[(6,6998 - 6,6406) x \left(\frac{2-1,8}{1,9-1,8} \right) \right]$$

$$E = 6,6702 \text{ kJ/kg.K}$$

Setelah dilakukan perhitungan maka di dapatkan hasil entropi masuk (s1) adalah sebesar 6,6702 kJ/kg.K.

4.2.3 Energi Keluar

Kemudian langkah selanjutnya menghitung energi keluar yaitu 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 3 bar, untuk nilai energi keluar pada angka 3 bar sudah tertera pada tabel steam appendix.

Pada Energi keluar pada tekanan 3 bar atau 300 Kpa dilakukan tanpa pengambilan interpolasi atau didapatkan nilai pada tabel secara langsung, dengan angka :

tabel 4. 6 Data interpolasi tabel

Hf2	Hfg2	Sf2	Sfg2
561,43	2163,5	1,6717	5,3200

Dapat dilihat bahwa nilai yang didapat dari tabel *appendix* sf2 (entropi cair jenuh) adalah 1,6717, sfg2 (entropi evaporasi) adalah 5,3200, hf2 (entalpi cair jenuh) adalah 561,43 dan hfg2 (entalpi evaporasi) adalah 2163,5.

4.2.4 Fraksi Uap

Fraksi uap merupakan banyaknya cairan yang terdapat dalam uap keluar pada turbin. Nilai fraksi digunakan untuk menghitung entalpi keluar turbin. Untuk menghitung fraksi uap dengan persamaan 2.7.

$$X = \frac{(s1-Sf2)}{sfg2}$$

$$X = \frac{6,6702-1,6717}{5,3200}$$

$$X = 0,940$$

Terlihat bahwa nilai fraksi uap adalah < 1. Oleh karena itu fraksi uap pada turbin uap ini adalah uap saturasi atau uap basah.

4.2.5 Entalpi Keluar

Selanjutnya adalah perhitungan entalpy keluar (h2) pada turbin uap dengan persamaan 2.3.

$$h2 = hf2 \times (X \times hfg2)$$

$$h2 = 561,43 \times (0,940 \times 2163,5)$$

$$h2 = 2640,12 \text{ kJ} / \text{kg}$$

Didapatkan nilai entalpi keluar pada perhitungan tersebut adalah 2640,12 kJ/kg.

4.2.6 Perubahan Entalpi

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

$$\Delta h = h_1 - h_2$$

$$\Delta h = 2890,35 \text{ kJ/kg} - 2640,12 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta h = 250,23 \text{ kJ/kg}$$

Di dapatkan perubahan entalpi yaitu sebesar 250,23 kJ/kg.

4.2.7 Kerja Turbin Uap

Kerja turbin uap ditentukan dengan persamaan 2.111 dan diperlukan parameter berupa laju aliran massa (\dot{m}) = 20,369 ton/jam di konversikan menjadi 5,658 kg/s dan perubahan entalpi sebagai berikut:

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

$$W_{isentropis} = 5,658 \text{ kg/s} \times 250,23 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{isentropis} = 1415,56 \text{ kJ/kg}$$

Jadi, Di dapatkan kerja turbin uap yaitu sebesar 1415,55 kJ/kg

4.2.8 Efisiensi Turbin Uap

Efisiensi turbin uap di tentukan dari persamaan 2.111 dan diperlukan parameter berupa kerja turbin dalam kondisi aktual dengan kerja turbin dalam kondisi isentropis.

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

$$\eta_{turbin} = \frac{490}{1415,56} \times 100 \%$$

$$\eta_{turbin} = 34,59\%$$

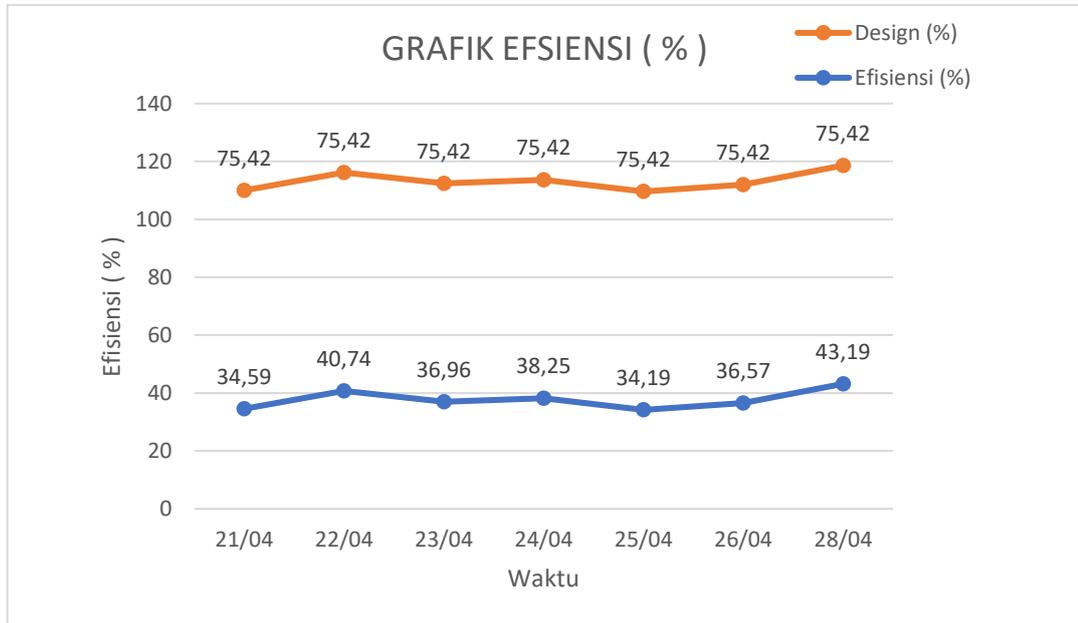
Di dapatkan efisiensi turbin yaitu sebesar 34,59%

Untuk mencari nilai efisiensi di hari berikutnya dilakukan perhitungan dengan rumus yang sama.

4.3 Analisis Pengaruh Kondisi Operasional terhadap Efisiensi

Bersumber pada data yang didapatkan serta sehabis dilakukan perhitungan nilai efisiensi turbin yang sudah dilampirkan, dihasilkan nilai

efisiensi turbin selama penelitian di PKS PULU RAJA, PTPN IV terhitung tanggal 21 April 2025 – 28 April 2025. Berikut hasil dan pembahasannya :



Gambar 4. 1 Grafik efisiensi

Pada gambar di atas terlihat bahwa efisiensi design turbin uap 75,42%, sementara kondisi aktual efisiensi turbin uap tersebut mengalami penurunan. Terlihat bahwa efisiensi tertinggi yaitu pada tanggal 28 April 2025 sebesar 43,19% dan terendah adalah 25 April 2025 sebesar 34,19%. Rendahnya nilai efisiensi ini dipengaruhi oleh energi input yang masuk kedalam turbin uap. Kemudian semakin besar energi input yang masuk kedalam turbin maka kinerja turbin uap hendak terus menjadi baik, seperti itu juga kebalikannya. Hal lain-lain yang mempengaruhi rendahnya efisiensi adalah temperatur masuk, perubahan entalpi dan kerja turbin secara aktual jika kerja turbin semakin besar maka semakin baik efisiensinya begitu juga sebaliknya. Kerja tertinggi pada turbin uap tersebut adalah sebesar 490 KW dengan standard spesifikasi sebesar 768 KW. Terlihat bahwa kerja turbin uap masih cukup jauh di bandingkan dengan spesifikasi turbin tersebut.

Dapat dilihat bahwa perbandingan antara efisiensi turbin uap yang terendah dengan design turbin uap tersebut hampir dari setengah nilai efisiensi design. Pengaruh hal ini disebabkan oleh temperatur masuk, perubahan entalpi dan kerja turbin secara aktual yang sangat rendah. Faktor lain karena pemakaian turbin uap yang cukup lama sehingga berkurangnya efisiensi turbin uap tersebut.

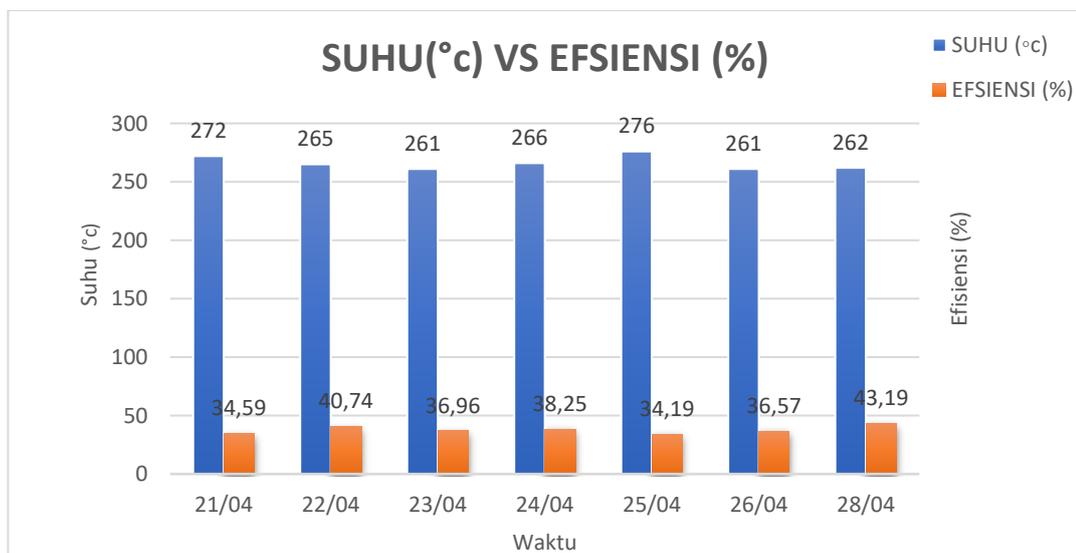
Dalam penelitian ini, penulis hanya mengambil beberapa parameter operasional utama yang dianggap paling berpengaruh terhadap efisiensi turbin uap, yaitu suhu uap masuk, debit uap, dan tekanan uap masuk. Parameter lain seperti kelembaban uap, tekanan kondensat, kecepatan putar turbin, atau loss mekanis belum dianalisis secara kuantitatif karena keterbatasan alat ukur serta ruang lingkup penelitian.

Oleh karena itu, hasil analisis pada subbab ini difokuskan pada hubungan langsung antara variabel yang tersedia dengan efisiensi aktual turbin selama periode pengamatan. Meskipun demikian, pembahasan telah mencoba menyertakan pendekatan teoritis dan interpretasi teknis dari hasil yang diperoleh agar tetap mencerminkan prinsip dasar termodinamika secara umum.

4.3.1 Pengaruh Suhu Uap terhadap Efisiensi

Berdasarkan data yang diperoleh, terdapat kecenderungan bahwa peningkatan suhu uap tidak selalu diikuti oleh peningkatan efisiensi dari turbin uap. Meskipun secara teori, suhu yang lebih tinggi meningkatkan energi uap (entalpi), namun efisiensi aktual dipengaruhi oleh kondisi peralatan, serta performa sistem ekspansi uap di dalam turbin.

Sebagai contoh, pada suhu uap 262°C efisiensi mencapai 43,19%, namun menurun menjadi 34,19% saat suhu dinaikkan ke 276°C . Hal ini menunjukkan bahwa setelah titik optimum tertentu, peningkatan suhu justru dapat menyebabkan efisiensi menurun akibat kerugian energi tambahan atau ketidakseimbangan antara suhu dan tekanan operasi turbin.



Gambar 4. 2 Grafik Suhu °c Vs Efisiensi %

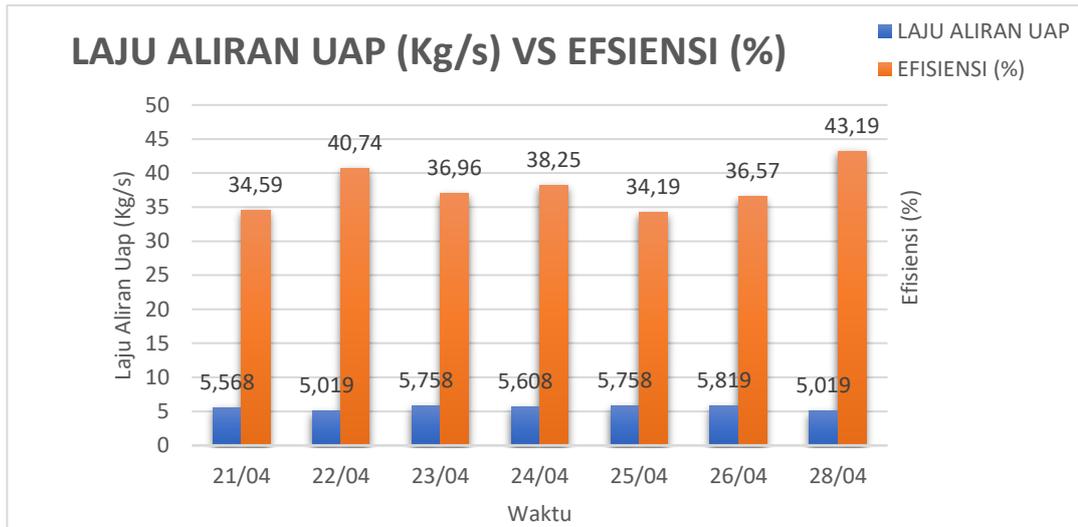
Berdasarkan data pada gambar 4.2, suhu uap masuk yang dicatat berkisar antara 261°C hingga 272°C. Secara teori, peningkatan suhu uap akan meningkatkan entalpi uap sehingga daya keluaran turbin menjadi lebih besar.

Berdasarkan Teori termodinamika, Semakin tinggi suhu uap masuk → semakin besar energi dalam uap → beda entalpi (Δh) membesar → efisiensi meningkat. Namun, dari grafik dapat dilihat bahwa peningkatan suhu tidak selalu linier terhadap peningkatan efisiensi. Misalnya, pada tanggal 22 April dengan suhu 265°C, efisiensi justru menurun hingga 34,19% dibandingkan suhu 261°C pada tanggal 23 April yang menghasilkan efisiensi lebih tinggi (38,25%). Nilai efisiensi diperoleh dari pembagian antara kinerja turbin berdasarkan pengukuran dilapangan dengan kinerja ideal yang seharusnya dapat di hasilkan oleh turbin, lalu dikalikan dengan 100 persen.

Menurut penulis, selain suhu, faktor seperti tekanan uap, kualitas uap, dan beban turbin juga mempengaruhi hasil akhir. Oleh karena itu, peningkatan suhu saja tidak menjamin peningkatan efisiensi jika tidak dibarengi parameter pendukung lainnya.

4.3.2 Pengaruh Laju Aliran Uap Terhadap Efisiensi

Laju aliran uap atau debit uap juga berpengaruh terhadap efisiensi. Umumnya, laju aliran uap yang terlalu rendah atau terlalu tinggi tidak efisien. Saat debit sesuai kapasitas rancangan turbin, maka energi uap dapat dimanfaatkan secara maksimal.



Gambar 4. 3 Grafik Laju Aliran Uap (Kg/s) Vs Efisiensi (%)

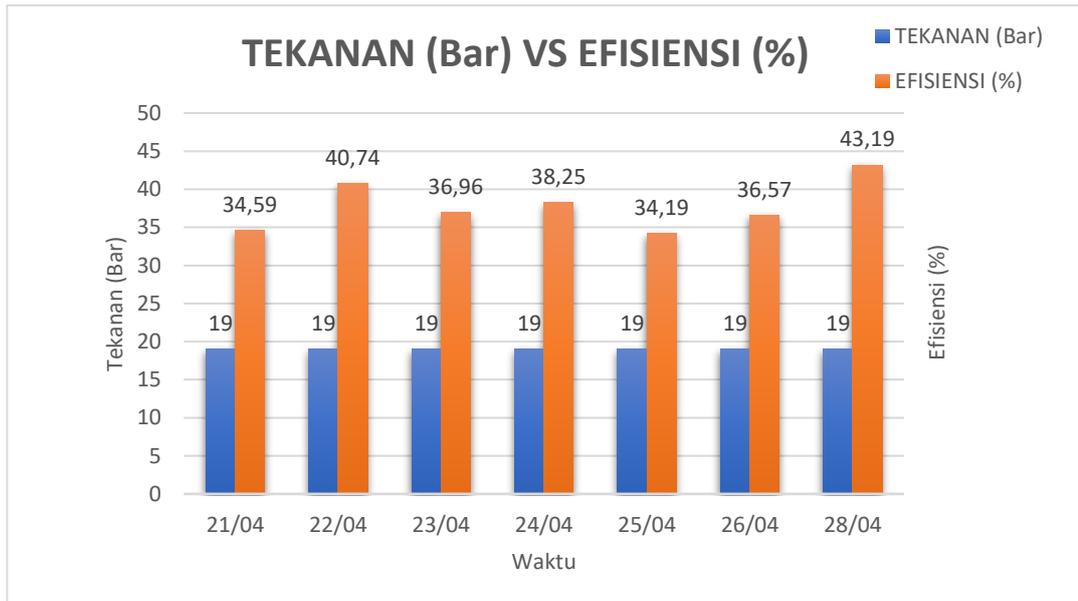
Dari data terlihat bahwa debit 5,019 kg/s menghasilkan efisiensi tertinggi, sementara debit 5,758 kg/s menghasilkan efisiensi yang lebih rendah. Ini menunjukkan bahwa laju aliran uap optimal tidak selalu yang terbesar, melainkan yang paling sesuai dengan desain turbin dan beban kerja saat itu. Dari teori Rankine, debit yang terlalu kecil menyebabkan daya output menurun, sementara debit yang terlalu besar bisa menimbulkan kerugian tekanan (pressure drop). Ada titik debit optimal di mana turbin bekerja paling efisien, di luar itu efisiensi menurun karena sistem tidak mampu mengelola aliran secara optimal.

Dari grafik terlihat bahwa efisiensi tertinggi (43,19%) dicapai pada tanggal 28 April, yaitu saat debit uap berada pada 5,819 kg/s. Hal ini mengindikasikan bahwa debit tersebut cukup ideal untuk menghasilkan ekspansi uap yang maksimal dalam turbin.

Menurut pendapat penulis menilai bahwa kontrol debit sangat penting. Jika terlalu rendah → daya tidak maksimal, jika terlalu tinggi → tekanan drop dan kerugian mekanik meningkat. Debit 5,6–5,8 kg/s tampaknya merupakan kisaran terbaik.

4.3.3 Pengaruh Tekanan Terhadap Efisiensi Turbin Uap

Tekanan uap masuk sangat menentukan seberapa besar energi potensial dari uap yang bisa dikonversi menjadi daya. Berikut grafik hubungan antara tekanan dan efisiensi.



Gambar 4. 4 Grafik Tekanan (Bar) Vs Efisiensi (%)

Teori termodinamika menjelaskan bahwa semakin tinggi tekanan uap, maka entalpi uap meningkat. Perbedaan entalpi antara kondisi inlet dan outlet menjadi lebih besar, sehingga kerja turbin meningkat dan efisiensi cenderung naik.

Namun dalam praktiknya, efisiensi tidak selalu meningkat karena:

1. Potensi tekanan drop di sepanjang saluran,
2. Keterbatasan kapasitas komponen (safety valve, sealing, dsb.),
3. Pengaruh suhu dan debit yang tidak dikontrol bersamaan.

Penulis berpendapat bahwa meskipun tekanan tinggi memberikan efisiensi lebih baik, namun harus dikombinasikan dengan suhu dan debit yang seimbang. Sistem tidak bisa dipaksa bekerja pada tekanan tinggi tanpa memperhitungkan integritas peralatan dan rugi tekanan sistem.

4.4 Perbandingan Dengan Teori

Dalam teori siklus *Rankine*, efisiensi turbin dapat mendekati 80% dalam kondisi ideal (tanpa kerugian). Namun dalam kenyataannya, efisiensi aktual cenderung lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh:

1. Rugi gesek di komponen internal turbin.
2. Penurunan tekanan yang tidak sepenuhnya menghasilkan kerja.
3. Kebocoran uap, Dan kondisi aktual peralatan.

Hasil penelitian ini menunjukkan efisiensi maksimum sebesar 43,19%. Nilai ini masih realistis dan sesuai dengan efisiensi sistem turbin di industri kelapa sawit atau pembangkit menengah.

Efisiensi turbin uap tidak hanya ditentukan oleh parameter utama seperti suhu dan tekanan, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh berbagai kondisi teknis dan operasional di lapangan. Beberapa faktor yang secara nyata memengaruhi efisiensi adalah sebagai berikut.

1. Kondisi Peralatan (Turbin)

Turbin uap yang sudah beroperasi dalam jangka waktu lama umumnya mengalami penurunan performa. Hal ini disebabkan oleh:

1. Erosi dan korosi pada sudu (*blade*) turbin akibat paparan uap panas
2. Berkecepatan tinggi.
3. Kebocoran internal pada segel (*seal*), yang menyebabkan uap tidak seluruhnya diekspansikan menjadi energi mekanik.
4. Kerusakan pada *nozzle*, yang menyebabkan perubahan pola aliran uap dan tidak optimalnya konversi energi.

Turbin dalam kondisi ideal (baru atau hasil overhaul) memiliki efisiensi yang lebih tinggi karena kehilangan energi mekanis akibat friksi dan kebocoran lebih kecil.

2. Akurasi Pengukuran

Efisiensi turbin uap dihitung dari selisih entalpi masuk dan keluar. Jika nilai tekanan, suhu, atau laju aliran uap yang diukur tidak akurat, maka:

1. Nilai entalpi akan salah (karena entalpi diperoleh dari tabel atau software berdasarkan input tekanan dan suhu).
2. Laju massa uap yang tidak akurat akan menyebabkan perhitungan daya isentropik tidak sesuai kenyataan.
3. Kesalahan sekecil apapun dalam alat ukur (*termometer, manometer, atau flowmeter*) dapat memengaruhi hasil perhitungan efisiensi secara signifikan.

3. Kualitas Uap (*Steam Quality*)

Kualitas uap sangat penting dalam proses ekspansi turbin. Uap jenuh kering atau uap superheated lebih efektif dalam mentransfer energi karena:

1. Uap basah (*wet steam*) mengandung partikel air cair yang menurunkan efisiensi karena air tidak ikut berkontribusi dalam ekspansi.
2. Uap kering memiliki energi lebih tinggi dan dapat diekspansikan lebih sempurna di dalam turbin.

Kelembaban yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan kerusakan mekanis pada bilah turbin akibat impak air (*water hammer*).

4. Perawatan (*Maintenance*)

Faktor yang mempengaruhi penurunan efisiensi dan kegagalan turbin uap yaitu metode dalam melaksanakan *maintenance*. Maka dari itu harus teratur melaksanakan pemeliharaan serta perawatan perlengkapan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Efisiensi turbin uap sangat dipengaruhi oleh kondisi operasional, terutama suhu uap masuk dan debit uap. Kombinasi parameter yang optimal menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 43,19% pada suhu uap 262°C dan debit uap 5,019 kg/s.
2. Peningkatan suhu uap tidak selalu menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi. Efisiensi justru menurun setelah melewati suhu optimum, disebabkan oleh adanya rugi-rugi termal dan penurunan performa sistem di luar kondisi desain.
3. Debit uap juga berperan besar terhadap efisiensi. Debit uap yang terlalu tinggi atau terlalu rendah menyebabkan efisiensi menurun, sehingga diperlukan pengaturan aliran uap yang sesuai dengan kapasitas dan beban turbin.
4. Nilai efisiensi yang diperoleh dalam penelitian ini termasuk dalam rentang efisiensi aktual turbin uap di industri (sekitar 30–45%), lebih rendah dari efisiensi teoritis siklus *Rankine* akibat adanya rugi energi nyata di sistem.
5. Faktor-faktor teknis seperti kondisi peralatan, kualitas uap, kestabilan beban, dan akurasi alat ukur juga sangat memengaruhi efisiensi turbin secara nyata dan perlu diperhatikan dalam pengoperasian jangka panjang.

5.2 Saran

Untuk peningkatan kinerja sistem turbin uap di masa mendatang dan perbaikan pada penelitian sejenis, beberapa saran yang dapat diberikan adalah:

1. Lakukan perawatan rutin pada sistem turbin uap, terutama komponen yang berkaitan langsung dengan ekspansi uap seperti *nozzel* dan bilah turbin, guna meminimalkan rugi-rugi energi mekanik.
2. Gunakan alat ukur yang terkalibrasi dan akurat, terutama untuk pengukuran suhu, tekanan, dan laju aliran uap, karena data tersebut sangat menentukan hasil perhitungan efisiensi.

3. Jaga kestabilan suhu dan tekanan uap masuk agar turbin selalu bekerja dalam rentang kondisi yang optimal sesuai perancangannya.
4. Dalam penelitian lanjutan, disarankan untuk melibatkan lebih banyak parameter, seperti tekanan buang aktual, kelembaban uap (steam quality), serta pengaruh beban terhadap efisiensi.
5. Perlu dikembangkan model simulasi atau penggunaan perangkat lunak termodinamika untuk memperoleh perhitungan yang lebih akurat dan efisien pada berbagai skenario operasi turbin.

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
- Arrazi, M., Zamzami, & Maimun. (2023). Analisis Efisiensi Turbin Uap Sebagai Penggerak Generator Pabrik Minyak Kelapa Sawit PT. Syaukath Sejahtera (GANDAPURA). *Jurnal Tektro*, 7(1), 91–97.
- D., Tinggi, S., & Migas, T. (2023). Optimasi Flowrate dan Beban Generator Terhadap Efisiensi Turbin C60-8.883/535 di PLTU PT. XYZ Unit 3 Kapasitas 1x60 MW. *Jurnal Pendidikan Tambusai* , 7(2), 4502–4506.
- El-Wakil, M. M. (2015). Instalasi Pembangkit Daya. In Erlangga.
- Fatimura, M. (2015). Tinjauan Teoritis Permasalahan Boiler Feed Water pada Pengoperasian Boiler yang Dipergunakan dalam Industri. *Jurnal Media Teknik*, 12(1), 24–32.
- Hadi, I. (2021). Analisis efisiensi turbin uap sebagai penggerak generator pada pabrik kelapa sawit. *Jurnal Teknik Mesin*, 1–42.
- Li L, Li Y, Xie X, L. J. (2014). Quantitative evaluation of wetness losses in steam turbines based on three-dimensional simulations of non-equilibrium condensing flows. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Journal of Power and Energy*.
- 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>
- Megawati, E., Gantri Pirri, M., Ketut Warsa, I., Studi, P., Minyak, P., Gas,

- Merle C Potter & Craig W. Somerton. (2011). *TERMODINAMIKA TEKNIK*.
- Muin, I. S. A. (1993). (PESAWAT-PESAWAT KONVERSI ENERGI II (Turbin Uap)).
- P.Shlyakhin. (1999). *TURBIN UAP (STEAM TURBINES) Teori dan Rancangan*. In Erlangga.
- POLSRI. (2019). BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1. In *Gastronomía Ecuatoriana y Turismo Local.*, 1(69), 1–64.
- Prasojo F F. (2022). Tugas sarjana. 2(1), 1–93.
- Sector, P. T. (2005). Effects of wetness in steam turbines. 219(August),. [https://Dx.Doi.Org/10.1243/095440605x32110](https://dx.doi.org/10.1243/095440605x32110).
- Setiawan, F., Melkias, A., & Slameto. (2022). Analisis Kinerja Turbin Uap
- Sibarani. A. I. (2019). Identifikasi Keandalan Turbin Uap Berdasarkan. In.
- 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.
- Umurani, K., Siregar, A. M., & Al-Amin, S. (2020). Pengaruh Jumlah Sudu Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Tipe Whirlpool Terhadap Kinerja. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 3(2), 103–111. <https://doi.org/10.30596/rmme.v3i2.5272>
- Unit 1 Di Cirebon Power. *Jurnal Teknik Energi*, 11(2), 7–11. <https://doi.org/10.35313/energi.v11i2.3517>
- Viki Wahyu Endriyana dan Djatmiko Ichsani. (2013). Analisa Unjuk Kerja Secondary Superheater PLTGU dan Evaluasi Peluang Peningkatan Effectiveness dengan cara Variasi Jarak, Jumlah dan Diameter Tube. *Jurnal Teknik POMITS*, 2(3), 5–6.

- Wisnaningsih, W. (2019). Perencanaan Turbin Uap Penggerak Generator Dengan Daya 100 Mw Pada 3000 Rpm. *Teknika Sains : Jurnal Ilmu Teknik*, 4(1), 33–40. <https://doi.org/10.24967/teksis.v4i1.637>
- Yanti, I., Effendi, Z., & Rangkuti, I. U. P. (2024). Pengaruh Laju Massa Uap Terhadap Efisiensi Kerja Turbin Uap Pada Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 50 Ton/Jam. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 13(1). <https://doi.org/10.24127/trb.v13i1.3301>
- Yolnasdi, Palaha, F., Chrismondari, & Maidianto, D. B. (2023). Analisa Daya Listrik Generator Pada Turbin Uap Berdasarkan Pemanfaatan Uap Kering di PT.Gandaerah Hendana. *Jurnal Sainstek Stt Pekanbaru*, VOL. 11, 66–71. <https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index%0A%7C>

TABLE A-6

Superheated water (Continued)

<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K
<i>P</i> = 1.00 MPa (179.88°C)				<i>P</i> = 1.20 MPa (187.96°C)				<i>P</i> = 1.40 MPa (195.04°C)				
Sat.	0.19437	2582.8	2777.1	6.5850	0.16326	2587.8	2783.8	6.5217	0.14078	2591.8	2788.9	6.4675
200	0.20602	2622.3	2828.3	6.6956	0.16934	2612.9	2816.1	6.5909	0.14303	2602.7	2803.0	6.4975
250	0.23275	2710.4	2943.1	6.9265	0.19241	2704.7	2935.6	6.8313	0.16356	2698.9	2927.9	6.7488
300	0.25799	2793.7	3051.6	7.1246	0.21386	2789.7	3046.3	7.0335	0.18233	2785.7	3040.9	6.9553
350	0.28250	2875.7	3158.2	7.3029	0.23455	2872.7	3154.2	7.2139	0.20029	2869.7	3150.1	7.1379
400	0.30661	2957.9	3264.5	7.4670	0.25482	2955.5	3261.3	7.3793	0.21782	2953.1	3258.1	7.3046
500	0.35411	3125.0	3479.1	7.7642	0.29464	3123.4	3477.0	7.6779	0.25216	3121.8	3474.8	7.6047
600	0.40111	3297.5	3698.6	8.0311	0.33395	3296.3	3697.0	7.9456	0.28597	3295.1	3695.5	7.8730
700	0.44783	3476.3	3924.1	8.2755	0.37297	3475.3	3922.9	8.1904	0.31951	3474.4	3921.7	8.1183
800	0.49438	3661.7	4156.1	8.5024	0.41184	3661.0	4155.2	8.4176	0.35288	3660.3	4154.3	8.3458
900	0.54083	3853.9	4394.8	8.7150	0.45059	3853.3	4394.0	8.6303	0.38614	3852.7	4393.3	8.5587
1000	0.58721	4052.7	4640.0	8.9155	0.48928	4052.2	4639.4	8.8310	0.41933	4051.7	4638.8	8.7595
1100	0.63354	4257.9	4891.4	9.1057	0.52792	4257.5	4891.0	9.0212	0.45247	4257.0	4890.5	8.9497
1200	0.67983	4469.0	5148.9	9.2866	0.56652	4468.7	5148.5	9.2022	0.48558	4468.3	5148.1	9.1308
1300	0.72610	4685.8	5411.9	9.4593	0.60509	4685.5	5411.6	9.3750	0.51866	4685.1	5411.3	9.3036
<i>P</i> = 1.60 MPa (201.37°C)				<i>P</i> = 1.80 MPa (207.11°C)				<i>P</i> = 2.00 MPa (212.38°C)				
Sat.	0.12374	2594.8	2792.8	6.4200	0.11037	2597.3	2795.9	6.3775	0.09959	2599.1	2798.3	6.3390
225	0.13293	2645.1	2857.8	6.5537	0.11678	2637.0	2847.2	6.4825	0.10381	2628.5	2836.1	6.4160
250	0.14190	2692.9	2919.9	6.6753	0.12502	2686.7	2911.7	6.6088	0.11150	2680.3	2903.3	6.5475
300	0.15866	2781.6	3035.4	6.8864	0.14025	2777.4	3029.9	6.8246	0.12551	2773.2	3024.2	6.7684
350	0.17459	2866.6	3146.0	7.0713	0.15460	2863.6	3141.9	7.0120	0.13860	2860.5	3137.7	6.9583
400	0.19007	2950.8	3254.9	7.2394	0.16849	2948.3	3251.6	7.1814	0.15122	2945.9	3248.4	7.1292
500	0.22029	3120.1	3472.6	7.5410	0.19551	3118.5	3470.4	7.4845	0.17568	3116.9	3468.3	7.4337
600	0.24999	3293.9	3693.9	7.8101	0.22200	3292.7	3692.3	7.7543	0.19962	3291.5	3690.7	7.7043
700	0.27941	3473.5	3920.5	8.0558	0.24822	3472.6	3919.4	8.0005	0.22326	3471.7	3918.2	7.9509
800	0.30865	3659.5	4153.4	8.2834	0.27426	3658.8	4152.4	8.2284	0.24674	3658.0	4151.5	8.1791
900	0.33780	3852.1	4392.6	8.4965	0.30020	3851.5	4391.9	8.4417	0.27012	3850.9	4391.1	8.3925
1000	0.36687	4051.2	4638.2	8.6974	0.32606	4050.7	4637.6	8.6427	0.29342	4050.2	4637.1	8.5936
1100	0.39589	4256.6	4890.0	8.8878	0.35188	4256.2	4889.6	8.8331	0.31667	4255.7	4889.1	8.7842
1200	0.42488	4467.9	5147.7	9.0689	0.37766	4467.6	5147.3	9.0143	0.33989	4467.2	5147.0	8.9654
1300	0.45383	4684.8	5410.9	9.2418	0.40341	4684.5	5410.6	9.1872	0.36308	4684.2	5410.3	9.1384
<i>P</i> = 2.50 MPa (223.95°C)				<i>P</i> = 3.00 MPa (233.85°C)				<i>P</i> = 3.50 MPa (242.56°C)				
Sat.	0.07995	2602.1	2801.9	6.2558	0.06667	2603.2	2803.2	6.1856	0.05706	2603.0	2802.7	6.1244
225	0.08026	2604.8	2805.5	6.2629								
250	0.08705	2663.3	2880.9	6.4107	0.07063	2644.7	2856.5	6.2893	0.05876	2624.0	2829.7	6.1764
300	0.09894	2762.2	3009.6	6.6459	0.08118	2750.8	2994.3	6.5412	0.06845	2738.8	2978.4	6.4484
350	0.10979	2852.5	3127.0	6.8424	0.09056	2844.4	3116.1	6.7450	0.07680	2836.0	3104.9	6.6601
400	0.12012	2939.8	3240.1	7.0170	0.09938	2933.6	3231.7	6.9235	0.08456	2927.2	3223.2	6.8428
450	0.13015	3026.2	3351.6	7.1768	0.10789	3021.2	3344.9	7.0856	0.09198	3016.1	3338.1	7.0074
500	0.13999	3112.8	3462.8	7.3254	0.11620	3108.6	3457.2	7.2359	0.09919	3104.5	3451.7	7.1593
600	0.15931	3288.5	3686.8	7.5979	0.13245	3285.5	3682.8	7.5103	0.11325	3282.5	3678.9	7.4357
700	0.17835	3469.3	3915.2	7.8455	0.14841	3467.0	3912.2	7.7590	0.12702	3464.7	3909.3	7.6855
800	0.19722	3656.2	4149.2	8.0744	0.16420	3654.3	4146.9	7.9885	0.14061	3652.5	4144.6	7.9156
900	0.21597	3849.4	4389.3	8.2882	0.17988	3847.9	4387.5	8.2028	0.15410	3846.4	4385.7	8.1304
1000	0.23466	4049.0	4635.6	8.4897	0.19549	4047.7	4634.2	8.4045	0.16751	4046.4	4632.7	8.3324
1100	0.25330	4254.7	4887.9	8.6804	0.21105	4253.6	4886.7	8.5955	0.18087	4252.5	4885.6	8.5236
1200	0.27190	4466.3	5146.0	8.8618	0.22658	4465.3	5145.1	8.7771	0.19420	4464.4	5144.1	8.7053
1300	0.29048	4683.4	5409.5	9.0349	0.24207	4682.6	5408.8	8.9502	0.20750	4681.8	5408.0	8.8786

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

Data Hasil Penelitian

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 (Bar)	P2 (Bar)	m (kg/s)	W aktual (kw)
21/04/2025	272	19	3,0	5,658	490
22/04/2025	265	19	3,0	5,019	490
23/04/2025	261	19	3,0	5,758	480
24/04/2025	266	19	3,0	5,608	490
25/04/2025	276	19	3,0	5,758	490
26/04/2025	261	19	3,0	5,819	480
28/04/2025	262	19	3,0	5,019	490
<i>design</i>	260	17	3,4	5,821	768

**LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR
PENGARUH KONDISI OPERASI TERHADAP EFISIENSI TURBIN UAP**

Nama : REZA BAYU SYAHPUTRA
NPM : 2107230128

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

No	Hari/tanggal	Kegiatan	Paraf
1	29/12-2024	lengkap halaman pembuka	f
2	30/12-2024	perbaiki bab 1	f
3	01/1-2025	perbaiki bab iii lengkap daftar pustaka	f f
4	9/1-2025	ACC skripsi	f
5	25/5-2025	Perbaiki format	f
6	26/5-2025	Perbaiki bab IV	f
7	1/7-2025	ACC skripsi	f
8	28/7-2025	ACC Sidang	f



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya
Bila menjawab 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.Pj/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 [f umsumedan](#) [@umsumedan](#) [umsumedan](#) [umsumedan](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 2103/IL.3AU/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 : REZA BAYU SYAHPUTRA
Npm : 2107230128
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : 7 (Tujuh)
Judul Tugas Akhir : PENGARUH KONDISI OPERASI TERHADAP EFISIENSI UAP.

Pembimbing : CHANDRA A SIREGAR ST.MT

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, 10 Jumadil Awal 1446 H
13 November 2024 M



Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT
NIDN: 0101017202



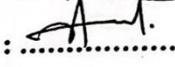
**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK Mesin
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2024 – 2025**

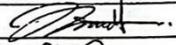
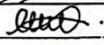
Peserta seminar

Nama : Reza Bayu Syaputra

NPM : 2107230128

Judul Tugas Akhir : Pengaruh Kondisi Operasional Terhadap Efisiensi Turbin Uap

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	1807230072	Dicky Farhan	
2	2107230032	Iqbal Pramudita	
3	2107230055	MHD ALWI RIZKY HARAHAP	
4	2107230014	Dermawan mullia	
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan 28 Safar 1447 H
22 Agustus 2025 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar ST.MT

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

Nama : Reza Bayu Syaputra
NPM : 2107230128
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Kondisi Operasional Terhadap Efisiensi Turbin Uap

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 Laporan... selesai*.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

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

Medan 28 Safar 1447 H
22 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 : Reza Bayu Syaputra
NPM : 2107230128
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Kondisi Operasional Terhadap Efisiensi Turbin Uap

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 :
 - *Libert Contentan pada Buku Skripsi*
 - *Penulisan mesin belum ~~mencafi~~*
 - *Template*
 3. Harus mengikuti seminar kembali
- Perbaikan :
-
-
-
-

Medan 28 Safar 1447 H
22 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 : Reza Bayu Syahputra
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 19 Januari 2003
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Alamat : Jl. Karya Jaya No. 73, Pangkalan Mansyur,
Kec. Medan Johor, Kota Medan, Sumatera Utara.
Nomor Telepon : 083191317169
E-mail : rezabayu149@gmail.com

PENDIDIKAN FORMAL

Tahun 2009-2015 : SD Negeri 060898
Tahun 2015-2018 : SMP Negeri 2 Medan
Tahun 2018-2021 : SMA Negeri 13 Medan
Tahun 2021-2025 : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara