

TUGAS AKHIR

ANALISA PENGARUH SATURATED STEAM TERHADAP EFISIENSI DAN KOMPONEN TURBIN UAP DENGAN METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS

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

Disusun Oleh:

AGUNG SETIAWAN
1907230032



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

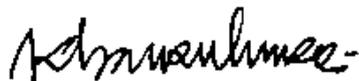
Nama : Agung Setiawan
NPM : 1907230032
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisa pengaruh *saturated steam* terhadap efisiensi dan komponen turbin uap dengan metode *failure mode and effect analysis*
Bidang ilmu : Konversi Energi

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

Medan, 25 Agustus 2023

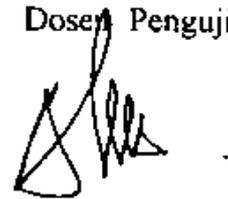
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



Khairul Umurani, S.T., M.T

Dosen Penguji II



Sudirman Lubis, S.T., M.T

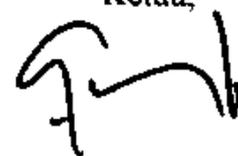
Dosen Penguji III



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 : Agung Setiawan
Tempat /Tanggal Lahir : Medan/18 Agustus 2001
NPM : 1907230032
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“Analisa pengaruh *saturated steam* terhadap efisiensi dan komponen turbin uap dengan metode *failure mode and effect analysis*”,

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

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

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

Medan, 25 Agustus 2023

Saya yang menyatakan,



METERAI TEMPEL
2#09AKX588714297

Agung Setiawan

ABSTRAK

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. Terhambatnya proses dalam suatu industri kelapa sawit cenderung mengarah ke turbin uap yang bermasalah atau tidak berkerja secara optimal mengakibatkan kerusakan pada bagian komponen, yang dapat menghambat jalannya suatu turbin uap dan berpengaruh pada efisiensi turbin uap. Ada banyak efek mekanis karena keberadaan turbin uap saturasi, yang masalah utamanya adalah erosi sudu yang bergerak. Kebasahan uap di turbin semacam itu secara luas diketahui merusak dua kali lipat, yang mengarah ke keduanya hilangnya efisiensi dan kerusakan mekanis. Dalam hal ini Rendahnya nilai efisiensi ini dipengaruhi oleh energi input yang masuk kedalam turbin uap seperti laju aliran massa serta nilai entalpi *steam*. Kemudian semakin besar energi input yang masuk kedalam turbin maka kinerja turbin uap hendak terus menjadi baik, seperti itu juga kebalikannya. Terlihat bahwa efisiensi tertinggi yaitu pada tanggal 6 february 2023 sebesar 24,75% dan terendah adalah 22,19 januari 2023 sebesar 22,19% dan perbandingan antara efisiensi turbin uap dengan design turbin uap tersebut lebih dari setengah nilai efisiensi design. Dimana penurunan efisiensi tertinggi pada tanggal 19 januari 2023 sebesar 57,49% dan terendah adalah 2 february 2023 sebesar 52,59%, Hal lain yang mempengaruhi rendahnya efisiensi adalah kerja turbin secara aktual jika kerja turbin semakin besar maka semakin baik efisiensinya begitu juga sebaliknya. Kerja tertinggi pada turbin uap tersebut adalah sebesar 472,328 KW dengan standard spesifikasi sebesar 840 KW. Terlihat bahwa kerja turbin uap masih cukup jauh di bandingkan dengan spesifikasi turbin tersebut. Pada *Failure Mode and Effect Analysis* di dapatkan hasil mengenai penilaian *Risk Priority Number* (RPN), yang mendapatkan nilai terendah adalah *shaft* dan *strainer* sebesar 32 dan paling tinggi yaitu *carbon ring* sebesar 96.

Kata kunci: Turbin uap, efisiensi turbin, *failure mode and effect analysis*

ABSTRACT

Steam turbine is a prime mover that converts steam potential energy into kinetic energy and this kinetic energy is then converted into mechanical energy in the form of turbine shaft rotation. The turbine shaft is directly or by means of a reduction gear, connected to the driven mechanism. Process delays in the palm oil industry tend to lead to steam turbines having problems or not working optimally resulting in damage to component parts, which can hinder the running of a steam turbine and affect the efficiency of the steam turbine. There are many mechanical effects due to the existence of saturation steam turbines, the main problem of which is the erosion of the moving blades. Wet steam in such turbines is widely known to be doubly damaging, leading to both loss of efficiency and mechanical damage. In this case the low efficiency value is influenced by the input energy that goes into the steam turbine such as the mass flow rate and the steam enthalpy value. Then the greater the input energy that goes into the turbine, the better the performance of the steam turbine will continue to be, and vice versa. It can be seen that the highest efficiency was on 6 February 2023 of 24.75% and the lowest was 22.19 January 2023 of 22.19% and the comparison between the efficiency of the steam turbine and the design of the steam turbine is more than half the design efficiency value. Where the highest reduction in efficiency was on January 19 2023 of 57.49% and the lowest was February 2 2023 of 52.59%. Another thing that affects low efficiency is the actual turbine work if the turbine work is getting bigger then the efficiency is better and vice versa. The highest work on the steam turbine is 472.328 KW with a standard specification of 840 KW. It can be seen that the work of the steam turbine is still quite far from the specifications of the turbine. In the Failure Mode and Effect Analysis, the results regarding the Risk Priority Number (RPN) assessment were obtained, with the lowest score being the shaft and strainer of 32 and the highest being the carbon ring of 96.

Keywords: Steam turbine, turbine efficiency, failure mode and effect analysis

KATA PENGANTAR

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

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

1. Bapak Chandra A Siregar, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini,
3. Bapak Sudirman Lubis, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini,
4. Bapak Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik mesin kepada penulis.
6. Orang tua penulis: Burhan Juanda dan Lisnawati, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
7. Uwek wedok dan uwek lanang, yang telah bersusah payah membesarkan dan mendukung penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

9. Sahabat-sahabat penulis: Heru Pradista, Maun Pulungan, Ilham Syahputra, Fajar Habib, Arya Repangga, Amrizal Ramadhan, dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

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

Medan, 25 Agustus 2023

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Agung' with a stylized flourish at the end.

Agung Setiawan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang lingkup	3
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Turbin Uap	4
2.1.1. Prinsip Kerja Turbin Uap	4
2.1.2. Komponen Utama Turbin Uap	6
2.1.3. Identifikasi Kegagalan Turbin Uap	8
2.1.4. Alat-Alat Pengaman Turbin Uap	10
2.2. Boiler	14
2.3. Proses Pembentukan Uap	15
2.3.1. <i>Saturated Steam</i>	16
2.3.2. <i>Superheated Steam</i>	16
2.4. Termodinamika	16
2.4.1. Hukum Termodinamika pertama	17
2.4.2. Hukum Termodinamika kedua	19
2.5. Efisiensi Turbin Uap	20
2.5.1. Fraksi Uap	20
2.5.2. Kerja Turbin	20
2.6. <i>Failure Mode And Effect Analysis</i>	21
2.6.1. Tujuan <i>Failure Mode And Effect Analysis</i>	21
2.6.2. Penggunaan <i>Failure Mode And Effect Analysis</i>	21
2.6.3. Proses Pembuatan <i>Failure Mode And Effect Analysis</i>	22
2.6.4. Identifikasi dalam proses <i>Failure Mode And Effect Analysis</i>	23
BAB 3 METODOLOGI	27
3.1. Tempat dan Waktu	27
3.2. Bahan dan Alat	27
3.2.1. Bahan	27
3.2.2. Alat	27

3.3	Bagan Alir Penelitian	33
3.4	Rancangan Alat Penelitian	34
3.5	Prosedur Penelitian	34
3.6	Variabel	34
3.6.1	Variabel Bebas	34
3.6.2	Variabel Tetap	34
3.7	Pengumpulan Data	35
3.8	Pengolahan Data	35
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1	Analisa Pembahasan Efisiensi Turbin Uap	35
4.1.1	Entalpi Masuk	36
4.1.2	Entropi Masuk	37
4.1.3	Energi Keluar	38
4.1.4	Fraksi Uap	39
4.1.5	Entalpi Keluar	39
4.1.6	Perubahan entalpi	40
4.1.7	Kerja Turbin Uap	40
4.1.8	Efisiensi Turbin Uap	40
4.2	Analisa Pembahasan <i>Failure Mode And Effect Analysis</i>	42
4.2.1	Pengumpulan data Komponen Kritis Turbin Uap	42
4.2.2	<i>Failure Mode And Effect Analysis</i> Terhadap Komponen Turbin Uap	44
4.3	Alternatif Solusi Dengan <i>Diagram Fish Bone</i>	46
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1.	Kesimpulan	48
5.2.	Saran	48
	DAFTAR PUSTAKA	49
	LAMPIRAN	
	LEMBAR ASISTENSI	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Lembar kerja FMEA	23
Tabel 2.2 Tingkatan <i>Severity</i>	24
Tabel 2.3 Tingkatan <i>Occurrence</i>	25
Tabel 2.4 Tingkatan <i>Detection</i>	26
Tabel 3.1 Waktu Penelitian	27
Tabel 3.2 Spesifikasi turbin uap	32
Tabel 4.1 Data parameter 1 tanggal 19 januari 2023	36
Tabel 4.2 Entalpi	37
Tabel 4.3 Entropi	38
Tabel 4.4 s_f2 (entropi cair jenuh) dan $s_{fg}2$ (entropi evaporasi)	38
Tabel 4.5 h_f2 (entalpi cair jenuh) dan $h_{fg}2$ (entalpi evaporasi)	39
Tabel 4.6 Data komponen kritis turbin uap	43
Tabel 4.5 Tabel FMEA	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 diagram fase	2
Gambar 2.1 turbin uap	4
Gambar 2.2 prinsip kerja turbin uap	5
Gambar 2.3 erosi pada sudu	9
Gambar 2.4 carbon ring	10
Gambar 2.5 <i>lube oil cooler</i>	10
Gambar 2.6 <i>strainer</i>	11
Gambar 2.7 <i>steam Separator</i>	11
Gambar 2.8 <i>steam trap</i>	12
Gambar 2.9 <i>governor</i>	12
Gambar 2.10 <i>overspeed Trip</i>	13
Gambar 2.11 <i>boiler</i>	14
Gambar 2.12 diagram proses pembentukan uap	15
Gambar 3.1 Turbin uap	28
Gambar 3.2 <i>Pressure gauge</i>	29
Gambar 3.3 <i>Control panel turbin</i>	29
Gambar 3.4 Ampere Meter	29
Gambar 3.5 Voltase	30
Gambar 3.6 $\cos \varphi$	30
Gambar 3.7 <i>Boiler</i>	30
Gambar 3.8 Panel parameter <i>boiler</i>	31
Gambar 3.9 Laju aliran massa	31
Gambar 3.10 Temperatur <i>steam</i>	32
Gambar 3.11 Teknan Steam	32
Gambar 3.12 Diagram Alir	33
Gambar 4.1 Efisiensi turbin uap	41
Gambar 4.2 Efisiensi perbandingan aktual dengan design	42
Gambar 4.3 Frekuensi kegagalan	43
Gambar 4.4 <i>Risk priority number</i>	45
Gambar 4.5 Diagram <i>fish bone</i> penurunan efisiensi serta kegagalan turbin uap	46

DAFTAR NOTASI

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

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri khususnya Pabrik Kelapa Sawit (PKS) dalam menghasilkan produk yang berkualitas tentunya terdapat faktor pendukung, antara lain yaitu adanya mesin-mesin yang berkualitas dan beroperasi secara optimal. Untuk mesin dapat beroperasi secara optimal tentunya dibutuhkan manajemen perawatan yang baik sehingga dapat memperpanjang usia, performa dan efisiensi mesin tersebut.

Terhambatnya suatu proses pada proses produksi cenderung disebabkan karena adanya masalah dalam mesin/peralatan produksi, misalnya mesin berhenti secara tiba-tiba, menurunnya hasil produksi, lamanya waktu *set up* dan *adjustment*, kecacatan produk. (Sibarani. A. I., 2019).

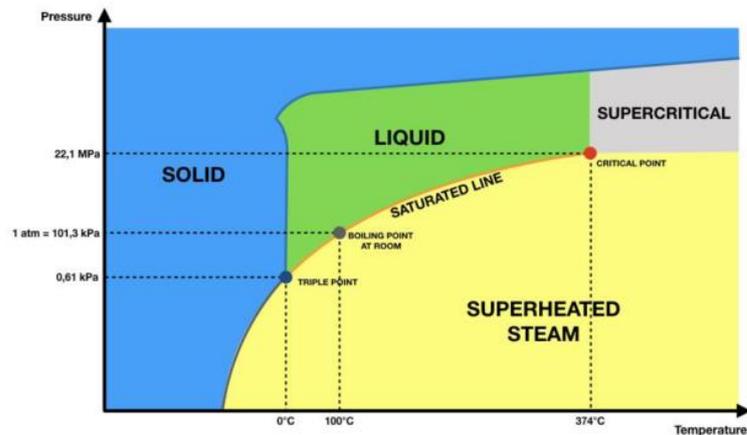
Karena terhambatnya proses dalam suatu industri kelapa sawit cenderung mengarah ke turbin uap yang bermasalah atau tidak berkerja secara optimal mengakibatkan kerusakan pada bagian komponen, yang dapat menghambat jalannya suatu turbin uap dan berpengaruh pada efisiensi turbin uap. Penerapan manajemen perawatan pasti akan mengeluarkan finansial perusahaan. Maka dari itu dibutuhkan analisa dalam menentukan kerusakan pada setiap mesin untuk menjaga kualitas mesin agar efisiensi turbin uap tetap stabil.

Seiring berjalannya waktu, pada kondisi aktual, performa atau pun efisiensi dari turbin uap sebagai pembangkit listrik tenaga uap yang digunakan di Pabrik Kelapa Sawit akan berubah dan tidak optimal, Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor dimulai dari faktor umur (*lifetime*), perawatan (*maintenance*), bahan baku uap (*steam*) dan kebutuhan listrik setiap harinya, maupun bahan bakar dari boiler itu sendiri (*fiber* dan *shell*) ataupun konsumsi panas suatu pembangkit listrik (dalam hal ini kita berbicara mengenai turbin) (Prasojo. F. F., 2022).

Ada banyak efek mekanis karena keberadaan turbin uap basah (*saturated steam*), yang masalah utamanya adalah erosi sudu yang bergerak. Kebasahan uap di turbin semacam itu secara luas diketahui merusak dua kali lipat, yang mengarah ke keduanya hilangnya efisiensi dan kerusakan mekanis (Sector, 2005) dengan

demikian pembahasan atau pengaruh dari saturated steam berdampak sangat besar bagi turbin uap.

Saturated Steam adalah sebuah kondisi dimana *steam* air berada dalam satu kondisi ekuilibrium tekanan dan temperatur dengan air *fase liquid* (cair). Dengan kata lain, uap saturasi merupakan uap yang masih basah, yang masih tercampur dengan molekul-molekul air berfase cair. Pada diagram fase air, fase *saturated steam* ditunjukkan hanya berupa garis kurva saturasi yang menjadi batas antara air liquid dengan *superheated steam* (Polsri, 2019)



Gambar 1.1 Diagram fase (Polsri, 2019)

Riset ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi dan juga kegagalan pada komponen turbin uap pada *Saturated Steam* serta memberikan solusi untuk meningkatkan efisiensi pada turbin uap.

Berlandaskan dengan latar belakang tersebut, peneliti terinspirasi untuk melaksanakan penelitian dengan mengangkat judul “Analisa Pengaruh *Saturated Steam* Terhadap Efisiensi dan Komponen Turbin Uap Dengan *Metode Failure Mode And Effect Analysis*”.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana menganalisis efisiensi turbin uap?
2. Bagaimana dampak komponen turbin uap akibat *saturated Steam* dengan *metode failure mode and effect analysis*?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup penelitian tugas akhir sarjana ini meliputi beberapa hal yaitu diantaranya temperatur steam inlet, temperatur steam exhaust, tekanan steam inlet, tekanan steam exhaust, laju aliran massa dan *gross output generator* dan data kegagalan turbin uap.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Untuk menganalisis efisiensi turbin uap
2. Untuk menilai dampak kritis komponen turbin uap akibat *saturated steam*.

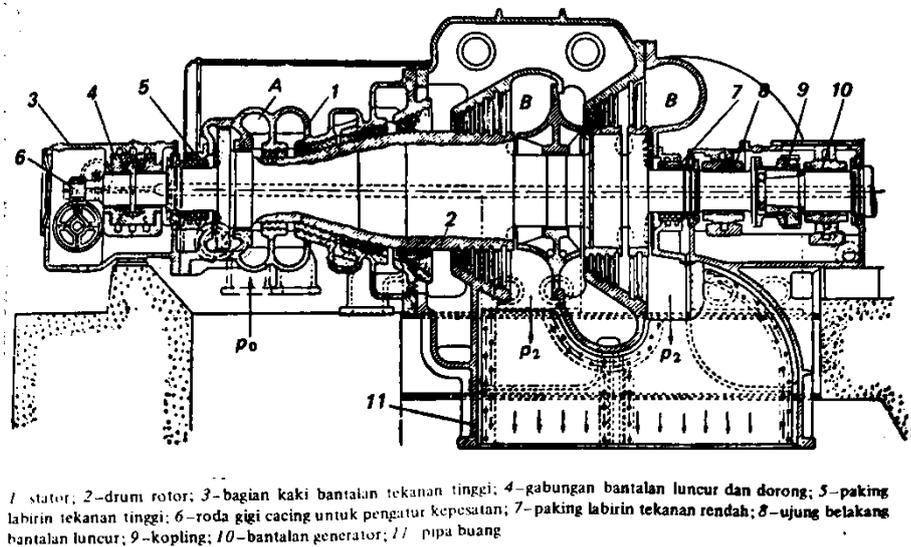
1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat mengetahui efisiensi turbin uap.
2. Dapat mengetahui dampak dari *saturated steam* terhadap *spare part* dan efisiensi turbin uap.
3. Dapat menjadi sumber referensi pembelajaran di bidang pembangkit listrik (turbin uap) dalam menambah bahan ajar bagi pembaca.
4. Dapat memberikan masukan kepada perusahaan untuk dapat memperbaiki sistem pembangkit tenaga dan meningkatkan *preventive maintenance* di perusahaan tersebut.

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 2.1 Turbin Uap (P.Shlyakhin, 1999)

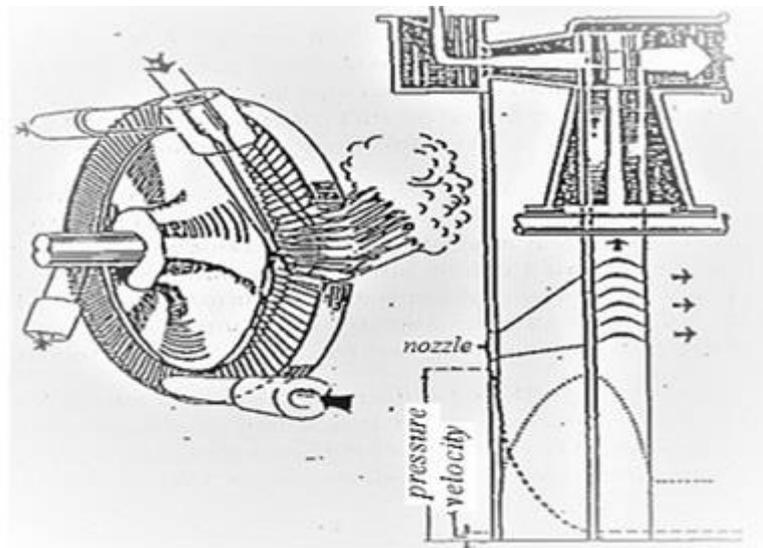
2.1.1 Prinsip Kerja Turbin Uap

Prinsip turbin uap adalah menerima energi kinetik dari *steam* yang dikeluarkan dari *nozzel*, sehingga sudu turbin didorong atau digerakan secara miring. Singkatnya, (Hadi, 2021) Menegaskan prinsip kerja turbin uap adalah sebagai berikut :

1. Jika uap masih mempunyai kecepatan saat keluar dari sudu turbin, artinya sudu yang sedang bekerja hanya menyerap sebagian energi kinetik uap, sehingga digunakan sisa energi kinetik pada saat keluar sudu turbin, sehingga turbin dilengkapi dengan beberapa baris sudu yang bergerak. Sebelum memasuki baris kedua dari sudu-sudu penggerak, sederet sudu tetap (sudu-

sudu pemandu) dipasang antara baris pertama dan baris kedua untuk mengubah arah kecepatan uap sehingga uap dapat memasuki baris kedua dengan arah yang benar.

2. tekanan dari uap dirubah menjadi energi kinetis. Tekanan uap pada saat keluar dari *nozzel* lebih kecil dari pada masuk ke dalam *nozzel*, akan tetapi sebaliknya kecepatan uap keluar *nozzel* lebih besar dari pada saat masuk kedalam *nozzel*. Uap yang memancar keluar dari *nozzel* diarahkan ke sudu-sudu turbin yang berbentuk lengkungan dan dipasang disekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah-celah antara sudu turbin itu dibelokkan kearah mengikuti lengkungan dari sudu turbin, perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar roda dan poros turbin,
3. Kecepatan uap saat meninggalkan baris sudu gerak yang terakhir harus dapat dibuat sekecil mungkin, agar energi kinetis yang digunakan untuk mendorong sudu turbin dapat dimanfaatkan secara optimal. Dengan demikian efisiensi turbin menjadi lebih tinggi dikarenakan energi yang tidak termanfaatkan. Seperti yang terlihat pada gambar 2.2. Sebagai berikut.



Gambar 2.2 prinsip kerja turbin uap (Hadi, 2021)

2.1.2 Komponen-komponen turbin uap

Secara umum, bagian-bagian utama dari sebuah turbin uap yaitu (Prasojo. F. F., 2022):

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. *Stasionary Blade*

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

10. *Moving Blade*

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

11. *Control Valve*

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

12. *Stop Valve*

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

13. *Reducing Gear*

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

- 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.

2.1.3 Identifikasi Kegagalan Turbin Uap

(Muin, 1993) menegaskan “bahaya bukan hanya korosi saja, yang menyebabkan sudu erosi atau aus, tetapi menurunnya energi mekanik yang mengakibatkan menurunnya efisiensi turbin dan serta naiknya kerugian energi”.

(Sibarani. A. I., 2019) menegaskan 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. Adapun beberapa kerusakan akibat kualitas steam yang buruk, antara lain :

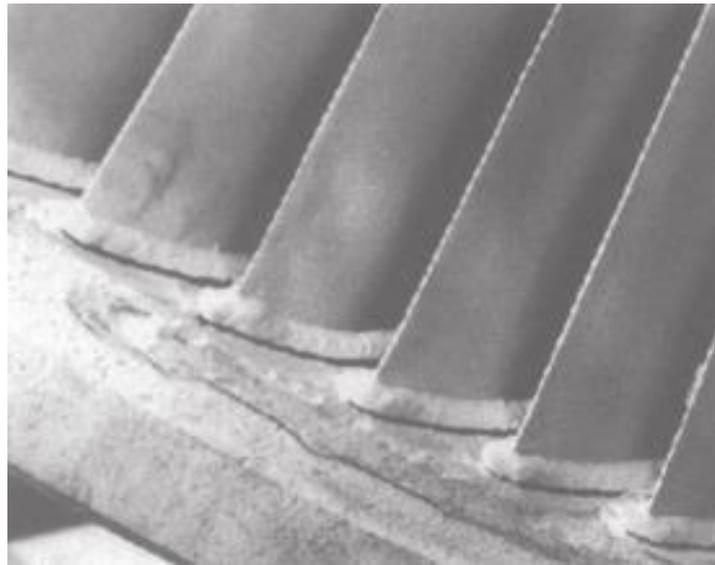
1. Getaran pada turbin uap

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*. (Lubis et al., 2021) 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.

2. Erosi pada Sudu

Sudu merupakan 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 (Umurani et al., 2020). Masalah uap basah telah menjadi isu penting dalam industri turbin uap. Hal ini menyebabkan penurunan efisiensi dan erosi air pada sudu (Li et al., 2014) . Ada banyak efek mekanis karena adanya uap basah di turbin, di mana masalah utamanya adalah erosi bilah yang bergerak (Sector, 2005). Dengan erosi di artikan pengrusakan oleh gesekan dan sentuhan uap pada sudu. Pagaruh ini lebih terasa lagi dibagian turbin

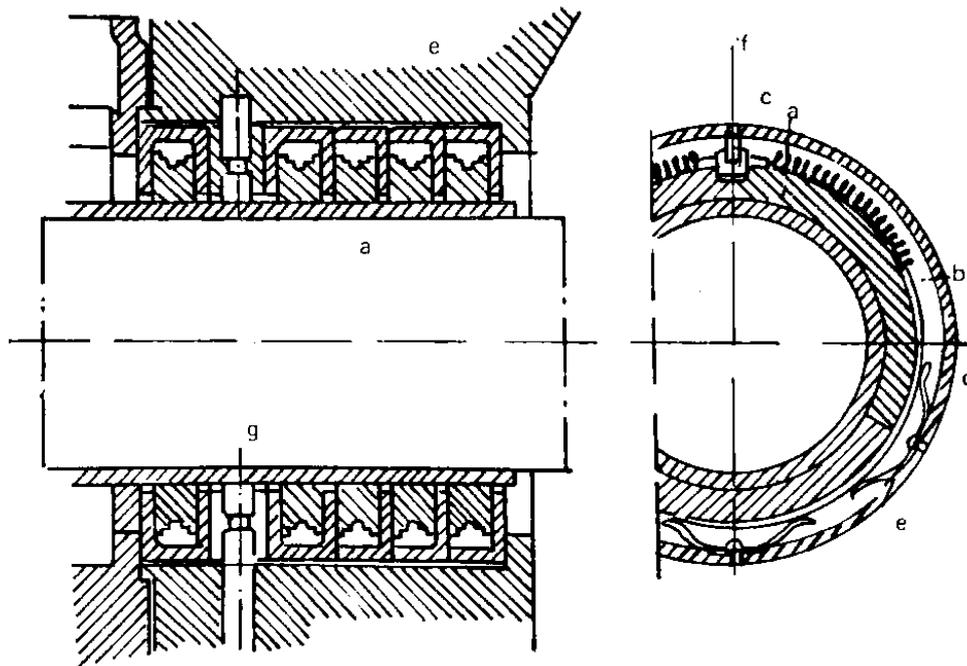
pada saat dimana uap mengalami perubahan dari keadaan jenuh menjadi basah. Kerusakan pada sudu turbin penyebab utamanya adalah karena carry over. Sudu turbin yang seharusnya di dorong oleh steam kering tetapi ini bercampur dengan air. Mengakibatkan kerusakan pada sudu-sudu. Bisa berupa bintik-bintik lubang kecil bahkan sampai keausan yang tinggi. (Sibarani. A. I., 2019)



Gambar 2.3 erosi pada sudu (Sector, 2005)

3. Keausan pada carbon Ring

(Thamrin, 1986) Menegaskan “ Bahan pakking berbentuk cincin-cincin terbuat dari campuran zat arang dan grafit. .Bahan carbon mempunyai sifat yang negatif di banding dengan bahan–bahan pada umumnya, jadi dalam keadaan panas malahan susut sehingga akan makin rapat pada poros dan menjadikan timbul gesekan. Bahan Carbon tahan suhu tinggi tetapi cukup lunak terhadap porosnya, sehingga mengalami keausan; sebab itu memerlukan banyak pemeliharaan”



Gambar 2.4 carbon ring (Thamrin, 1986)

2.1.4 Alat pengaman turbin uap

a. *Lube oil cooler*

Lube oil cooler adalah *cross flow compact heat exchanger* yang berfungsi untuk melepaskan panas yang dibawa oleh minyak pelumas dialirkan melalui sisi shell menuju sisi *tube* dengan fluida pendingin air demin dimana masing-masing cairan dipisahkan di dalam *lube oil cooler* (Ibrahim et al., 2020).



Gambar 2.5 *lube oil cooler* (Ibrahim et al., 2020)

b. *Strainer Steam*

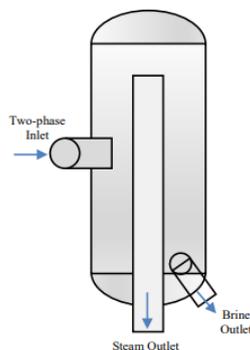
Saringan memiliki banyak diameter 2-5 mm lubang. Ini mencegah partikel padat benda asing agar tidak masuk bersama uap memasuki turbin. Partikel-partikel ini dapat menyebabkan kerusakan serius pada turbin jika memasuki turbin (Mustangin, 2018)



Gambar 2.6 *strainer* (Panuška et al., 2018)

c. *Steam Separator*

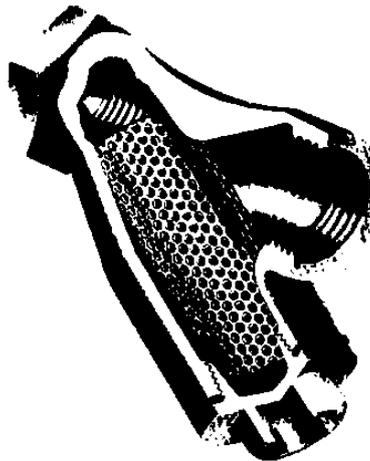
Separator adalah peralatan utama untuk memisahkan air uap di lapangan panas bumi basah. Dalam panas bumi uap kering pemisah bidang tidak diperlukan, meskipun kelembaban removal system (MRS) diperlukan di dekat pembangkit listrik untuk memastikan kekeringan dan kebersihan uap masuk turbin (Rizaldy et al., 2016).



Gambar 2.7 *Steam Separator* (Rizaldy et al., 2016)

d. *Steam trap*

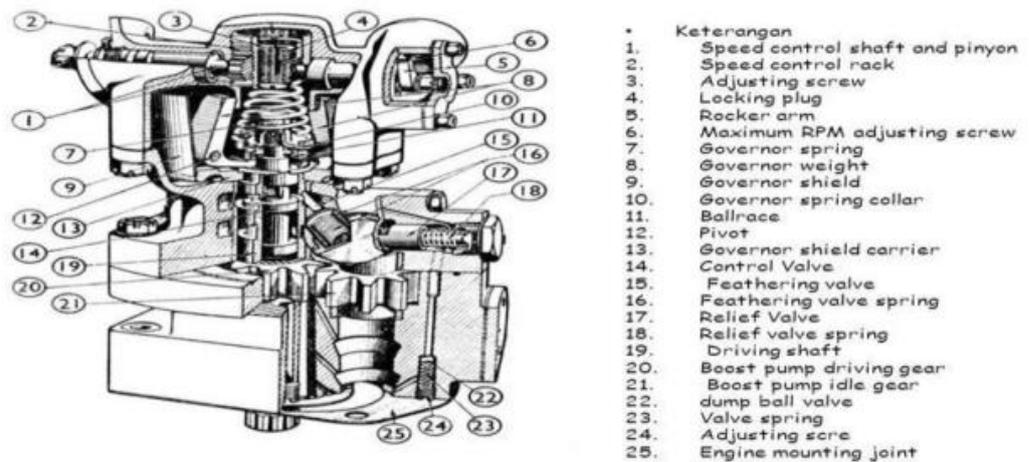
Walaupun kantong kotoran dapat menangkap sebagian dari kotoran, namun akibat pengaruh kecepatan aliran uap dan kondensat, maka sebagian dari kotoran yang berada di bagian atas kantong kotoran tak dapat dielakan akan terbawa ke trap uap. Oleh sebab itu maka kantong perlu sering-sering dibersihkan. Untuk mengatasi problema tersebut di atas, maka sebelum *steam trap*, di pasang alat penyaring (Strainer) (Muin, 1993)



Gambar 2.8 *steam trap* (Muin, 1993)

e. *Governor*

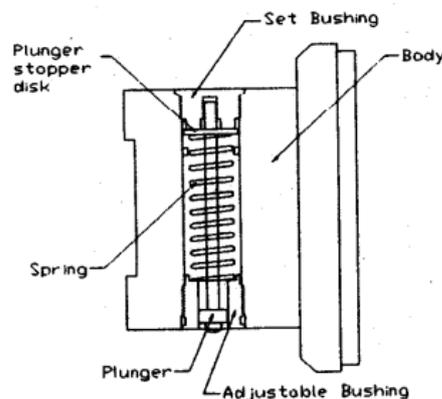
Fungsinya mengatur cara kerja klep/valve turbin agar putaran turbin dapat stabil. (Sibarani. A. I., 2019)



Gambar 2.9 *Governor* (Sibarani. A. I., 2019)

f. *Overspeed Trip*

Bila turbin mempunyai sistem pengaturan kecepatan yang tidak begitu memuaskan, kenaikan kecepatan poros yang tiba-tiba pada waktu pemutusan hubungan beban bisa mencapai angka yang membahayakan. Batas kecepatan-lebih yang bisa di ambil kira-kira 10 sampai 12% (P.Shlyakhin, 1999). Di dalam mekanisme overspeed trip mekanis terdapat empat komponen dasar. Komponen internal terdiri dari dua buah bushing, sebuah plunger, dan sebuah pegas. Salah satu busing disekrup sepenuhnya ke badan trip kecepatan berlebih pada kedalaman yang ditentukan. Ini mengontrol posisi ketika turbin tidak berputar. Kemudian selongsong dipasang di atas pendorong dan pegas, lalu dikencangkan. Pegas mendorong “stopper disk” pendorong dan busing yang dapat disesuaikan tempat pendorong keluar dari bodi. Sekarang pegas dalam kompresi menahan pendorong di dalam badan mekanisme. Overspeed trip kemudian dipasang, biasanya dibaut, ke ujung tempel rotor. Saat kecepatan rotor meningkat, gaya sentrifugal menarik pendorong ke luar, melawan pegas. Saat kecepatan rotor meningkat, gaya dari pendorong meningkat pada pegas. Sekali gaya sentrifugal meningkat dari kecepatan, rpm, pendorong mengatasi gaya pegas yang menyebabkan pendorong menonjol ke luar. Tuas stasioner, diatur dengan jarak bebas yang relatif ketat, diposisikan sedemikian rupa sehingga saat pendorong bergerak keluar, tuas akan dipukul. Tuas merupakan bagian integral dengan perangkat perjalanan mekanis darurat. Saat perjalanan mekanis digerakkan, oli hidrolis dibuang ke saluran pembuangan, yang mengakibatkan katup segera tertutup katup rak dan trip (Rutan et al., 1973).

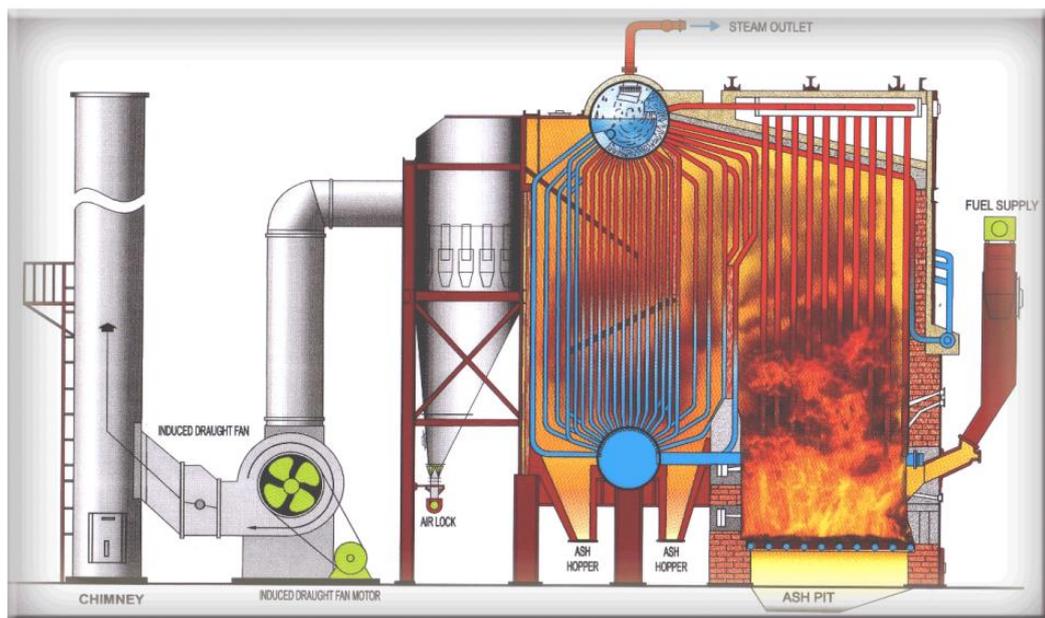


Gambar 2.10 *Overspeed Trip* (Rutan et al., 1973)

2.2 Boiler

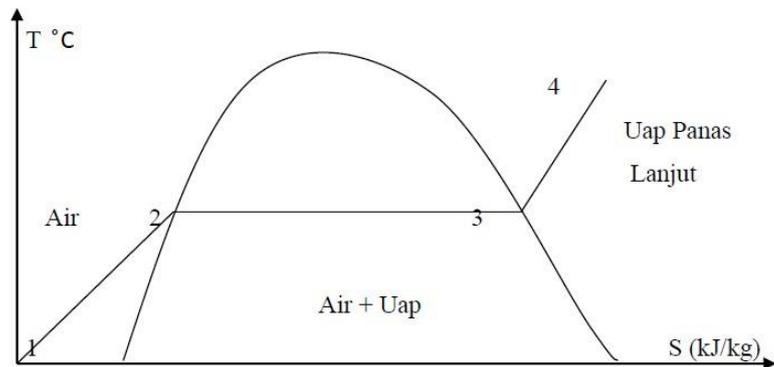
Boiler merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menghasilkan steam (uap) dalam berbagai keperluan dalam industri dan proses produksi. Air di dalam boiler dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar (sumber panas lainnya) sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut menjadi panas atau berubah wujud menjadi uap (Fatimura, 2015).

Uap yang disirkulasikan dari boiler digunakan untuk berbagai proses dalam aplikasi industri, seperti untuk penggerak, pemanas, dan lain-lain. Pengoperasian Boiler harus sesuai dengan standar operasi yang telah ditentukan oleh pengguna boiler maupun standard pabrikan pembuat boiler itu sendiri. Standar yang dibuat akan menjamin keamanan dan kehandalan operasi boiler pada saat dioperasikan, sehingga akan meningkatkan efisiensi sekaligus menekan biaya operasional (Sugiharto, 2016)



Gambar 2.11 *Boiler* (Mustangin, 2018)

2.3 Proses pembentukan uap



Gambar 2.12 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).

Proses terbentuknya uap terjadi melalui perubahan energi panas pembakaran bahan bakar menjadi energi panas dalam bentuk uap. Panas hasil pembakaran digunakan untuk menaikkan entalpi air sampai terbentuk uap air yang mengandung energi dalam yang disimpan dalam bentuk panas dan tekanan. Salah satu proses pembentukan uap adalah dengan menyentuh titik didih air, dimana titik didih suatu zat cair bergantung pada tekanan yang diberikan pada permukaan zat cair. Untuk menghasilkan uap yang lebih besar digunakan ketel uap, dimana fluida kerja yang digunakan adalah air (El-Wakil, 2015).

(Prasojo. F. F., 2022) menegaskan 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*) (Polsri, 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

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

2.4.1 Hukum termodinamika pertama

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

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

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

Entalpi adalah istilah dalam termodinamika yang menyatakan jumlah energi internal dari suatu sistem termodinamika ditambah energi yang digunakan untuk melakukan kerja. Dari tinjauan, entalpi tidak bisa diukur namun yang bisa dihitung adalah nilai perubahannya. Secara matematis, perubahan entalpi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$h = u + pv \tag{2.1}$$

Keterangan :

h = Entalpi sistem (*joule*)

u = Energi internal (*joule*)

p = Tekanan dari sistem (Pa)

v = Volume Sistem (m^3)

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

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 :

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

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 (h_2)

Untuk menentukan nilai entalpi keluar pada turbin uap digunakan persamaan sebagai berikut

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

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 melakukan usaha. Mungkin kata lain yang paling umum untuk menjelaskan apa itu entropi (berdasarkan hukum termodinamika), entropi dari sebuah sistem tertutup selalu naik dan pada kondisi perpindahan panas, energi panas berpindah dari komponen yang bersuhu tinggi ke komponen yang bersuhu lebih rendah. Pada suatu sistem yang panasnya terisolasi, entropi hanya berjalan satu arah (bukan sistem reversibel atau bolak-balik). Entropi suatu sistem perlu diukur untuk menentukan bahwa energi tidak dapat dipakai untuk melakukan kerja pada proses-proses termodinamika. Proses-proses ini hanya bisa dilakukan oleh energi yang sudah dirubah bentuknya dan ketika energi dirubah menjadi kerja atau usaha, maka secara teoritis mempunyai efisiensi maksimum tertentu. Selama kerja atau usaha tersebut, entropi akan terkumpul pada sistem, yang lalu terdisipasi dalam bentuk panas buangan (Merle C Potter & Craig W. Somerton, 2011)

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

Dimana :

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

2.5 Efisiensi Turbin

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)

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

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 :

$$X = \frac{(s1 - sf2)}{sfg2} \quad (2.7)$$

2.5.2 Kerja Turbin

Kerja turbin uap ditentukan dengan persamaan 9 dan diperlukan parameter berupa laju aliran massa.

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

2.6 *Failure Mode And Effect Analysis*

Failure Mode Effect Analysis (FMEA) adalah suatu alat yang secara sistematis mengidentifikasi akibat atau konsekuensi dari kegagalan sistem atau proses, serta mengurangi atau mengeliminasi peluang terjadinya kegagalan. (Aprianto et al., 2021). FMEA digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan, efek yang ditimbulkan pada operasi dari produk dan mengidentifikasi aksi untuk mengatasi masalah tersebut (Badariah et al., 2016).

2.6.1 Tujuan *Failure Mode And Effect Analysis*

Tujuan dari penerapan FMEA adalah mencegah masalah terjadi pada proses dan produk. Jika digunakan dalam desain dan proses manufaktur, FMEA dapat mengurangi atau menekan biaya dengan mengidentifikasi dan memperbaiki produk dan proses secara cepat pada saat proses pengembangan FMEA bertujuan melakukan perbaikan dengan cara (Sibarani. A. I., 2019) :

- a. Mengidentifikasi model-model kegagalan pada komponen, peralatan, dan sistem.
- b. Menentukan akibat yang potensial pada peralatan, sistem yang berhubungan dengan setiap model kegagalan
- c. Membuat rekomendasi untuk menambah keandalan komponen, peralatan, dan sistem

2.6.2 Penggunaan *Failure Mode And Effect Analysis*

Penggunaan efektif FMEA dapat menghasilkan pengurangan dalam hal berikut (Sibarani. A. I., 2019) :

- a. Meningkatkan reliabilitas dan kualitas produk/proses.
- b. Meningkatkan kepuasan pelanggan.
- c. Cepat dalam mengidentifikasi dan mengurangi kecacatan yang terjadi pada produk/proses.
- d. Memprioritaskan pada kekurangan produk/proses.
- e. Mendapatkan perekayasa atau pembelajaran keorganisasian.
- f. Menekankan pada pencegahan terjadinya masalah.
- g. Mempunyai sistem pengulangan jenis kecacatan komponen yang

sistematik untuk menyakinkan bahwa beberapa kegagalan minimal menghasilkan kerugian bagi produk dan proses.

- h. Mengetahui efek-efek dari kegagalan pada produk atau proses yang diteliti dan fungsi-fungsinya.
- i. Menetapkan komponen-komponen dari produk atau proses yang gagal akan memiliki efek kritis pada produk atau proses dan kecacatan-kecacatan tersebut akan menghasilkan efek merugikan.

2.6.3 Prosedur Pembuatan *Failure Mode and Effect Analysis*

Prosedur dalam pembuatan FMEA mengikuti tahapan berikut ini (Sibarani.

A. I., 2019) :

- a. Melakukan peninjauan terhadap proses.
- b. Mengidentifikasi *potential failure mode* (mode kegagalan potensial) pada proses.
- c. Membuat daftar *potential effect* (akibat potensial) dari masing-masing mode kegagalan.
- d. Menentukan peringkat *severity* untuk masing-masing cacat yang terjadi.
- e. Menentukan peringkat *occurance* untuk masing-masing mode kegagalan.
- f. Menentukan peringkat *detection* untuk masing-masing mode keagalandan/atau akibat yang terjadi.
- g. Menghitung nilai *Risk Priority Number* (RPN) untuk masing-masing cacat.
- h. Membuat prioritas mode kegagalan berdasarkan nilai RPN untuk dilakukan tindakan perbaikan.
- i. Melakukan tindakan untuk mengeliminasi atau mengurangi kegagalan yang paling banyak terjadi.

Tahapan tersebut dituangkan ke dalam lembar kerja FMEA yang dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Lembar kerja FMEA (Sibarani. A. I., 2019)

Nama Part	Fungsi Part	Tanda Kesalahan	Efek Kegagalan	Penyebab Kegagalan	SEV	OCC	DET	RPN	Mengatasinya
-----------	-------------	-----------------	----------------	--------------------	-----	-----	-----	-----	--------------

2.6.4 Identifikasi dalam proses FMEA

Berikut ini adalah hal-hal yang diidentifikasi dalam proses FMEA, yaitu (Sibarani. A. I., 2019) :

1. *Process function requirement*

Mendeskripsikan proses yang dianalisa. Tujuan proses harus diberikan selengkap dan sejelas mungkin. Jika proses yang dianalisa melibatkan lebih dari satu operasi, masing-masing operasi harus disebutkan secara terpisah disertai deskripsinya.

2. *Potential failure mode*

Proses FMEA, salah satu dari tiga tipe kesalahan harus disebutkandisini. Yang pertama dan paling penting adalah cara dimana kemungkinan proses dapat gagal. Dua bentuk lainnya termasuk bentuk kesalahan potensial dalam operasi berikutnya dan pengaruh yang terkait dengan kesalahan potensial dalam operasi sebelumnya.

3. *Potential effect of failure*

Sama dengan *design* FMEA, pengaruh potensial dari kesalahan adalah pengaruh yang diterima oleh konsumen. Pengaruh kesalahan harus digambarkan dalam kaitannya dengan apa yang dialami konsumen. Pada *potential effect of failure* juga harus dinyatakan apakah keselamatan akan mempengaruhi keselamatan seseorang atau melanggar beberapa peraturan produk.

4. *Severity*

Nilai tingkat keparahan dari akibat yang ditimbulkan terhadap konsumen maupun terhadap kelangsungan proses selanjutnya yang secara tidak langsung juga merugikan. Nilai *severity* terdiri dari rating 1-10. Tabel 2.2 memperlihatkan kriteria dari setiap nilai rating *severity*.Semakin parah efek yang ditimbulkan, semakin tinggi nilai rating yang diberikan.

Tabel 2.2 Tingkatan *Severity* (Sibarani. A. I., 2019)

Ranking	Efek	Keterangan
10	Berbahaya tanpa ada peringatan	Tingkat keseriusan operator <i>maintenance</i> dan keselamatan tidak sesuai dengan peraturan pemerintah yang tidak disertai peringatan
9	Berbahaya dan ada peringatan	Tingkat operator <i>maintenance</i> dan keselamatan tidak sesuai dengan peraturan pemerintah yang disertai peringatan
8	Sangat Tinggi	<i>Downtime</i> lebih dari 9 jam
7	Tinggi	<i>Downtime</i> diantara 4 – 9 jam
6	Sedang	<i>Downtime</i> diantara 1 – 4 jam
5	Rendah	<i>Downtime</i> diantara 0.5 – 1 jam
4	Sangat Rendah	<i>Downtime</i> diantara 10 – 30 menit
3	Kecil	<i>Downtime</i> terjadi hingga 10 menit
2	Sangat Kecil	Variasi parameter proses tidak didalam batas spesifikasi. Pengaturan atau pengendalian proseslainnyadibutuhkan selama produksi. Tidak terdapat downtime.
1	<i>Tidak Ada</i>	Variasi parameter proses didalam batas spesifikasi. Pengendalian proses dapat dilakukan selama maintenance rutin.

5. Klasifikasi (*class*)

Kolom ini digunakan untuk mengklasifikasikan beberapa karakteristik produk khusus untuk komponen, sub sistem atau sistem-sistem yang mungkin memerlukan kontrol proses tambahan.

6. *Potential cause*

Penyebab potensial kesalahan diartikan bagaimana kesalahan dapat terjadi, digambarkan dari segala sesuatu yang dapat diperbaiki atau dikendalikan. Setiap

penyebab kesalahan yang memungkinkan untuk masing-masing kesalahan yang dibuat harus selengkapnya dan sejelas mungkin.

7. *Occurrence*

Seberapa sering kemungkinan penyebab kegagalan terjadi. Nilai *occurrence* ini diberikan untuk setiap penyebab kegagalan yang terdiri dari rating 1-10. Tabel 2.3 memperlihatkan kriteria dari setiap nilai rating *occurrence*. Semakin sering penyebab kegagalan terjadi, semakin tinggi nilai rating yang diberikan.

Tabel 2.3 Tingkatan *Occurrence* (Sibarani. A. I., 2019)

<i>Rating</i>	<i>Probability of Occurrence</i>
10	Lebih besar dari 50 per 7200 jam penggunaan
9	35-50 per 7200 jam penggunaan
8	31-35 per 7200 jam penggunaan
7	26-30 per 7200 jam penggunaan
6	21-25 per 7200 jam penggunaan
5	15-20 per 7200 jam penggunaan
4	11-14 per 7200 jam penggunaan
3	5-10 per 7200 jam penggunaan
2	Lebih kecil dari 5 per 7200 jam penggunaan
1	Tidak pernah sama sekali

8. *Current process control*

Current process control merupakan deskripsi *control* yang dapat mencegah sejauh memungkinkan bentuk kesalahan dari kejadian atau mendeteksi bentuk kesalahan yang terjadi.

9. *Detection*

Merupakan seberapa jauh penyebab kegagalan dapat terjadi yang terdiri dari rating 1-10. Tabel 2.4 memperlihatkan kriteria dari setiap nilai rating *detection*. Semakin sering penyebab kegagalan terjadi, semakin tinggi nilai rating yang diberikan.

Tabel 2.4 Tingkatan *Detection* (Sibarani. A. I., 2019)

<i>Rating</i>	<i>Detection Design Control</i>
10	Tidak mampu terdeteksi
9	Kesempatan yang sangat rendah dan sangat sulit untuk terdeteksi
8	Kesempatan yang sangat rendah dan sulit untuk terdeteksi
7	Kesempatan yang sangat rendah untuk terdeteksi
6	Kesempatan yang rendah untuk terdeteksi
5	Kesempatan yang sedang untuk terdeteksi
4	Kesempatan yang cukup tinggi untuk terdeteksi
3	Kesempatan yang tinggi untuk terdeteksi
2	Kesempatan yang sangat tinggi untuk terdeteksi
1	Pasti terdeteksi

10. *Risk Priority Number*

Risk priority number (RPN) adalah suatu sistem matematis yang menerjemahkan sekumpulan dari efek dengan tingkat keparahan (*severity*) yang serius, sehingga dapat menciptakan suatu kegagalan yang berkaitan dengan efek-efek tersebut (*occurrence*), dan mempunyai kemampuan untuk mendeteksi kegagalan-kegagalan (*detection*) tersebut sebelum sampai kekonsumen.

RPN diperoleh dari hasil perkalian antara rating *Severity*, *Occurrence* dan *Detection*. RPN ditentukan sebelum mengimplementasikan rekomendasi dari tindakan perbaikan dan ini digunakan untuk mengetahui bagian manakah yang menjadi prioritas utama berdasarkan RPN tertinggi.

$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection \quad (2.9)$$

Hasil RPN menunjukkan tingkatan prioritas peralatan yang dianggap beresiko tinggi, sebagai penunjuk kearah tindakan perbaikan. *Recommended Action* mempunyai tujuan untuk mengurangi satu atau lebih kriteria yang menyusun RPN.

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Berikut adalah tempat dan waktu penelitian yang dilakukan pada penelitian analisa pengaruh saturated steam terhadap efisiensi dan komponen turbin uap dengan metode *failure mode and effect analysis*.

3.1.1 Tempat

Penelitian dilakukan di PT.Perkebunan Nusantara II Unit Pagar Merbau Stasiun *Power House* dan Stasiun *Boiler*.

3.1.2 Waktu

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

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

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam proses penelitian ini antara lain adalah :

- a. Data Sekunder yang digunakan adalah *Log sheet* operator dan data frekuensi kegagalan.
- b. Data Primer yang digunakan adalah wawancara dan dokumentasi.

3.2.2 Alat

1. Turbin

Turbin yang di gunakan di PT. Perkebunan Nusantara II Unit Pagar Merbau adalah *Merk Nadroski Tipe C5S-GIV Kapasitas Daya 840 Kilowatt* dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3.2 Spesifikasi turbin uap

No 20631	20631	<i>Baujahr/Year</i>	93
<i>Type</i>	C5S-G IV		
KW Normal	840	KW Maksimal	894
P1	17,2	Bar abs	280°C
P2	3,94		
1/N	1500	<i>Tuthil Nadrowski</i>	



Gambar 3.1 Turbin uap



Gambar 3.2 Pressure gauge

2. *Control Panel Turbin uap*

Control Panel turbin uap yang digunakan di PT. Perkebunan Nusantara II Unit Pagar Merbau.



Gambar 3.3 Control Panel Turbine

Control panel pada turbin uap terdapat parameter-parameter seperti :



Gambar 3.4 Ampere meter



Gambar 3.5 *Voltase*



Gambar 3.6 *Cos φ*

3. *Boiler*

Boiler yang digunakan pada pada PT. Perkebunan Nusantara II Unit Pagar Merbau Merk Takuma Water Tube Boiler Type : N 600 SA.



Gamabr 3.7 *Boiler*

4. *Panel Parameter boiler*

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



Gambar 3.8 Panel Parameter boiler

Panel parameter pada boiler berupa :



Gambar 3.9 Laju aliran massa



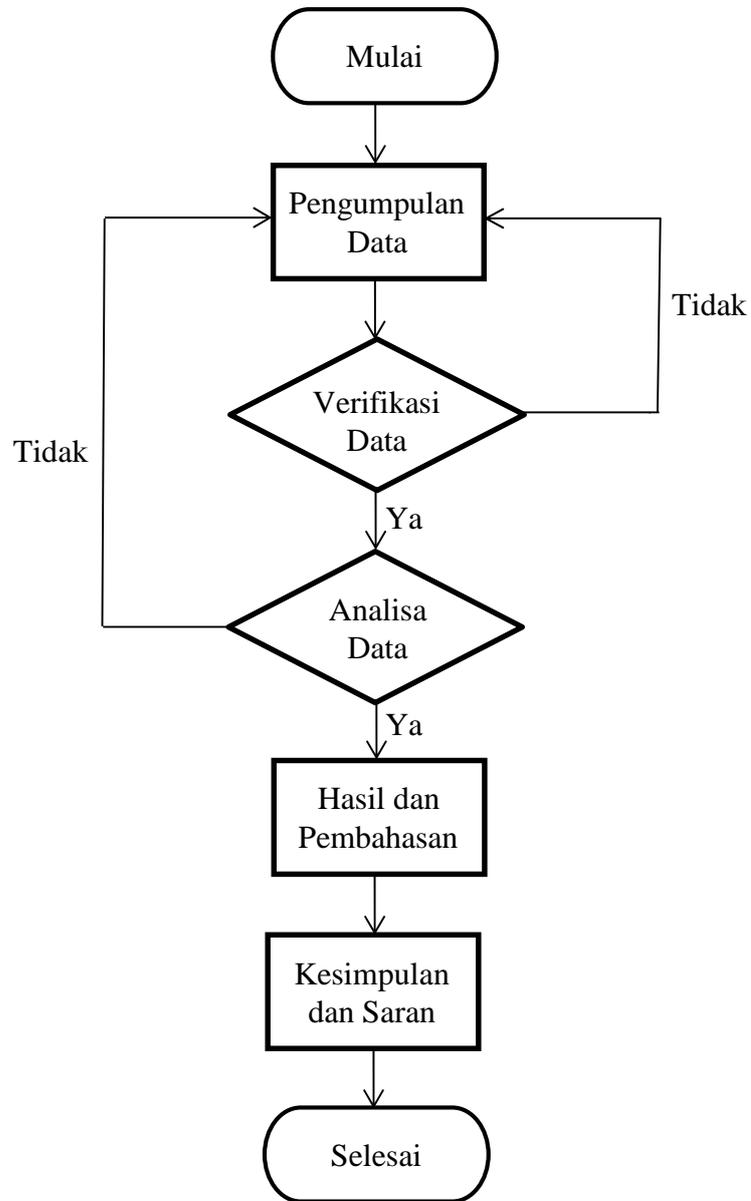
Gambar 3.10 Temperatur *Steam*



Gambar 3.11 Tekanan *Steam*

3.3 Bagan Alir Penelitian

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



Gambar 3.12 Diagram Alir

3.4 Rancangan Alat Penelitian

Adapun penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan cara mengamati, merangkum dan mencatat data *steam* yang keluar dan masuk kedalam turbin yang sedang beroperasi selama satu bulan untuk mencari nilai efisiensi serta mengumpulkan data nilai frekuensi kegagalan pada komponen turbin uap dengan metode *failure mode and effect analysis*.

3.5 Prosedur penelitian

1. Mencatat *log sheet* harian operator Stasiun *Power House* dan *log sheet* harian stasiun *boiler*.
2. Merangkum data kegagalan turbin uap
3. Melakukan wawancara dengan Operator serta pembimbing lapangan yang mengerti tentang stasiun pembangkit tenaga listrik (*power house*).
4. Melakukan perhitungan nilai entalpi, entropi, fraksi uap, kerja turbin dan efisiensi turbin tersebut.
5. Melakukan perhitungan *Severity*, *Occurrence* dan *Detection* untuk menentukan nilai RPN.

3.6 Variabel

3.6.1 Variabel Bebas

1. Tekanan steam masuk (Kg/cm^2)
2. Tekanan steam keluar (Kg/cm^2)
3. Temperatur steam masuk ($^{\circ}\text{C}$)
4. Laju aliran massa (Ton/jam)
5. Data Kegagalan turbin uap

3.6.2 Variabel Tetap

1. Efisiensi turbin uap (%)
2. *Risk Priority Number* (RPN)

3.7 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan selama 1 bulan di PT. Perkebunan Nusantara II Unit Pagar Merbau. Data yang di ambil berupa Tekanan steam masuk (Kg/cm^2), tekanan steam keluar (Kg/cm^2), temperatur steam masuk ($^{\circ}\text{C}$), laju aliran massa (ton/jam) dan data kegagalan turbin uap.

3.8 Pengolahan Data

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

1. Pengolahan terkait kajian efisiensi turbin uap

Merupakan Pengolahan data untuk melihat keberhasilan atau sistem kerja turbin mendekati desain atau proses ideal dengan satuan persen (%).

2. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Merupakan metode untuk mengkaji tingkat risiko kegagalan komponen pada mesin yang sering rusak dan jika terjadi kerusakan pada komponen tersebut maka sejauh mana pengaruh terhadap fungsi sistem.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa pembahasan efisiensi turbin uap

Untuk mencari efisiensi turbin uap 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.

4.1.1 Entalpi masuk

Tabel 4.1 Data parameter 1 tanggal 19 januari 2023

Tanggal	T Steam Masuk (°c)	p Steam Masuk (Kg/cm ²)
19 Januari 2023	270,6	19

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 2.2 Berikut pembahasannya :

Diketahui : Temperatur saturated steam : 270,6°C

Tekanan Steam masuk : 19 Kg/cm² = 18,63 Bar = 1,863 MPa

Entalpi steam uap pada 270,6 C yang diambil dari tabel Appendix. Dilakukan perhitungan dengan menggunakan aplikasi excel 2013 dengan persamaan 2.3. Entalpi pada 270,6°C berada diantara nilai-nilai berikut .

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

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

Tabel 4.2 Entalpi 1

1,8 MPa		2 MPa		1,863 MPa	
250	2911,7	250	2903,3	1,8	2960,4
270,6	2960,4	270,6	2953,1	1,863	2958,1
300	3029,9	300	3024,2	2	2953,1

$$E = 2960,4 + \left[(2953,1 - 2960,4) \times \left(\frac{1,863 - 1,8}{2 - 1,8} \right) \right]$$

$$E = 2958,1 \text{ kJ / kg}$$

Maka di peroleh $E = h_1$ (entalpi uap masuk) adalah sebesar 2958,1 kJ/kg, kemudian untuk menghitung s_1 (entropi uap masuk) dilakukan perhitungan dengan rumus yang sama.

4.1.2 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 steam : 270,6°C

Tekanan steam masuk : 19 Kg/cm² = 18,63 Bar = 1,863 MPa

Entropi steam uap pada 270,6 °C yang diambil dari tabel *appendix*. Dilakukan perhitungan dengan menggunakan aplikasi excel 2013 dengan persamaan 2.5. Entropi pada 270,6°C berada diantara nilai-nilai berikut .

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

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

Tabel 4.3 Entropi

1,8 MPa		2 MPa		1,863 MPa	
250	6,6088	250	6,5475	1,8	6,6977
270,6	6,6977	270,6	6,6385	1,863	6,6791
300	6,8246	300	6,7684	2	6,6385

$$E = 6,6977 + \left[(6,6385 - 6,6977) \times \left(\frac{1,863 - 1,8}{2 - 1,8} \right) \right]$$

$$E = 6,6791 \text{ kJ / kg.K}$$

Setelah dilakukan perhitungan maka di dapatkan hasil entropi masuk (s1) adalah sebesar 6,6791 kJ/kg.K

4.1.3 Energi keluar

Kemudian langkah selanjutnya menghitung energi keluar yaitu sf2 (entropi cair jenuh), sfg2 (entropi evaporasi), hf2 (entalpi cair jenuh) dan hfg2 (entalpi evaporasi). Langkah ini sama halnya dengan perhitungan entalpi steam masuk yaitu menggunakan persamaan 2.5 dan aplikasi excel 2013 dengan penyelesaian sebagai berikut:

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

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

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

sf2		sfg2	
275	1,6408	275	5,3800
294	1,6643	294	5,3344
300	1,6717	300	5,3200

Didapatkan nilai sf2 adalah 1,6643 kJ/kg.K dan sfg2 adalah 5,3344 kJ/kg.K.

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

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

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

hf2		hfg2	
275	548,86	275	2172,00
294	558,41	294	2165,54
300	561,43	300	2163,50

Didapatkan nilai hf2 adalah 558,41 kJ/kg dan hfg2 adalah 2165,54 kJ/kg.

4.1.4 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.

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

$$X = \frac{(6,6791 - 1,6643)}{5,3344}$$

$$X = 0,940$$

Terlihat bahwa nilai fraksi uap adalah < 1 . Maka fraksi uap pada turbin ini adalah *saturated steam*.

4.1.5 Entalpi keluar

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

$$h2 = h2f + (X \times hfg2)$$

$$h2 = 558,41 + (0,940 \times 2165,54)$$

$$h2 = 2594,20 \text{ kJ / kg}$$

Didapatkan nilai entalpi keluar pada perhitungan tersebut adalah 2594,20 kJ/kg.

4.1.6 Perubahan entalpi

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

$$\Delta h = h_1 - h_2$$

$$\Delta h = 2958,1 \text{ kJ / kg} - 2594,20 \text{ kJ / kg}$$

$$\Delta h = 363,9 \text{ kJ / kg}$$

Di dapatkan perubahan entalpi yaitu sebesar 363,9 kJ/kg.

4.1.7 Kerja turbin uap

Kerja turbin uap ditentukan dengan persamaan 2.111 dan diperlukan parameter berupa laju aliran massa (\dot{m}) = 21 ton/jam di konversikan menjadi 5,21 kg/s dan perubahan entalpi sebagai berikut:

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

$$W_{isentropis} = 5,21 \text{ kg / s} \times 363,9 \text{ kJ / kg}$$

$$W_{isentropis} = 1895,93 \text{ kJ / kg}$$

Di dapatkan kerja turbin uap yaitu sebesar 1895,93 kJ/kg

4.1.8 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.

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

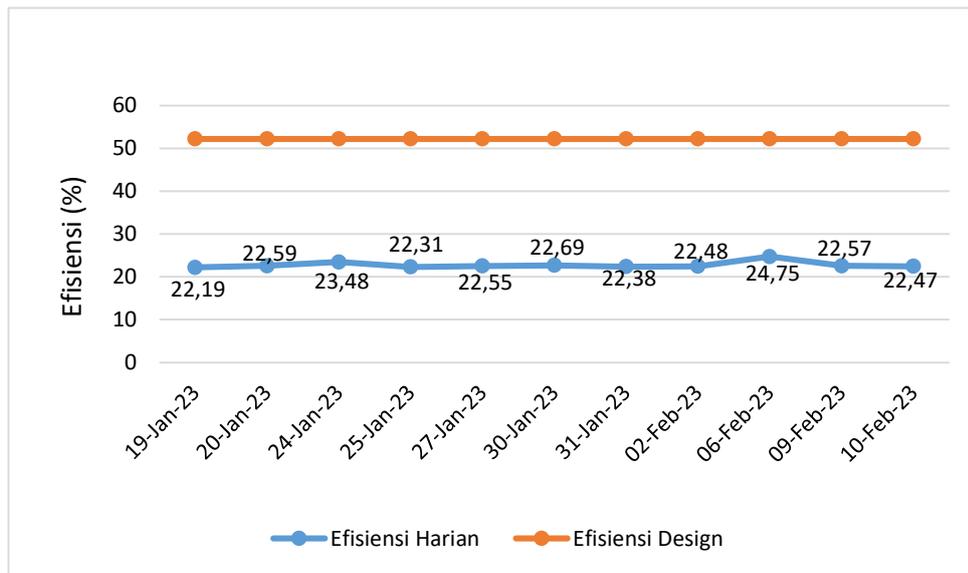
$$\eta_{turbin} = \frac{420,736}{1895,93} \times 100\%$$

$$\eta_{turbin} = 22,19\%$$

Di dapatkan efisiensi turbin uap yaitu sebesar 22,19%

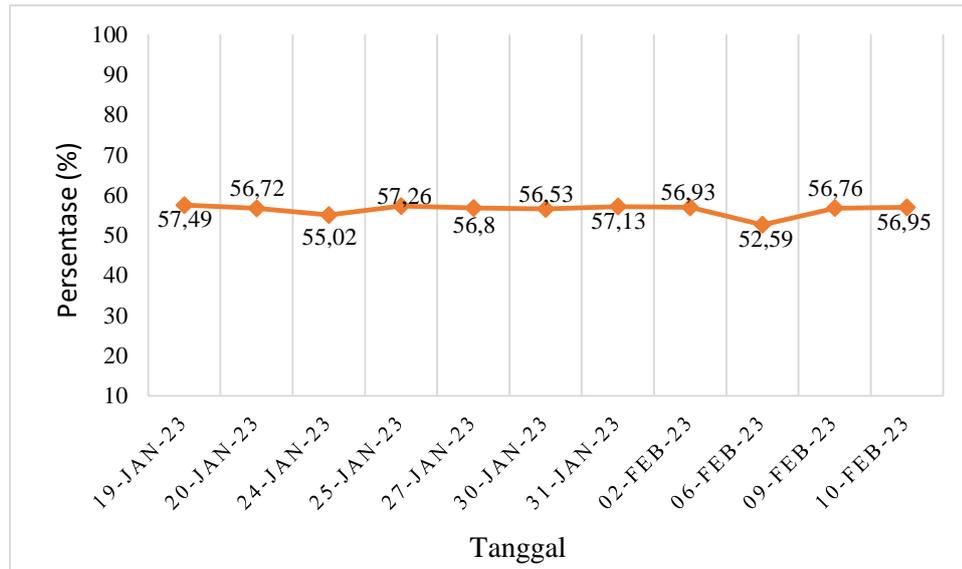
Untuk mencari nilai efisiensi di hari berikutnya dilakukan perhitungan dengan rumus yang sama.

Bersumber pada data yang didapatkan serta sehabis dilakukan perhitungan nilai efisiensi turbin yang sudah dilampirkan, dihasilkan nilai efisiensi turbin selama penelitian di PT. Perkebunan Nusantara II Unit Pagar Merbau penelitian terhitung tanggal 17 Januari 2023 – 17 Februari 2023. Berikut hasil dan pembahasannya :



Gambar 4.1 Efisiensi turbin uap

Pada gambar di atas terlihat bahwa efisiensi design turbin uap 52,20%, sementara kondisi aktual efisiensi turbin uap tersebut mengalami penurunan. Terlihat bahwa efisiensi tertinggi yaitu pada tanggal 6 februari 2023 sebesar 24,75% dan terendah adalah 22,19 januari 2023 sebesar 22,19%. 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 472,328 KW dengan standard spesifikasi sebesar 840 KW. Terlihat bahwa kerja turbin uap masih cukup jauh di bandingkan dengan spesifikasi turbin tersebut.



Gambar 4.2 Persentase penurunan efisiensi turbin uap

Terlihat bahwa perbandingan antara efisiensi turbin uap dengan design turbin uap tersebut lebih dari setengah nilai efisiensi design. Dimana penurunan efisiensi tertinggi pada tanggal 19 januari 2023 sebesar 57,49% dan terendah adalah 2 februari 2023 sebesar 52,59%, Hal ini disebabkan oleh temperatur masuk, perubahan entalpi dan kerja turbin secara aktual yang rendah. Faktor lain karena *life time* turbin uap yang cukup lama sehingga berkurangnya efisiensi turbin uap.

4.2 Analisa Pembahasan *Failure Mode And Effect Analysis*

Terdapat sebagian aspek yang harus kita tahu dalam pemakaian FMEA. Salah satunya merupakan perlunya perawatan sehingga tidak menyebabkan banyaknya pengeluaran finansial, kurangi kesempatan terbentuknya kegagalan, mengenali mutu dari objek yang diteliti, mengenali pemicu kegagalan serta mengetahui terbentuknya kegagalan.

4.2.1 Pengumpulan Data Komponen Kritis Turbin Uap

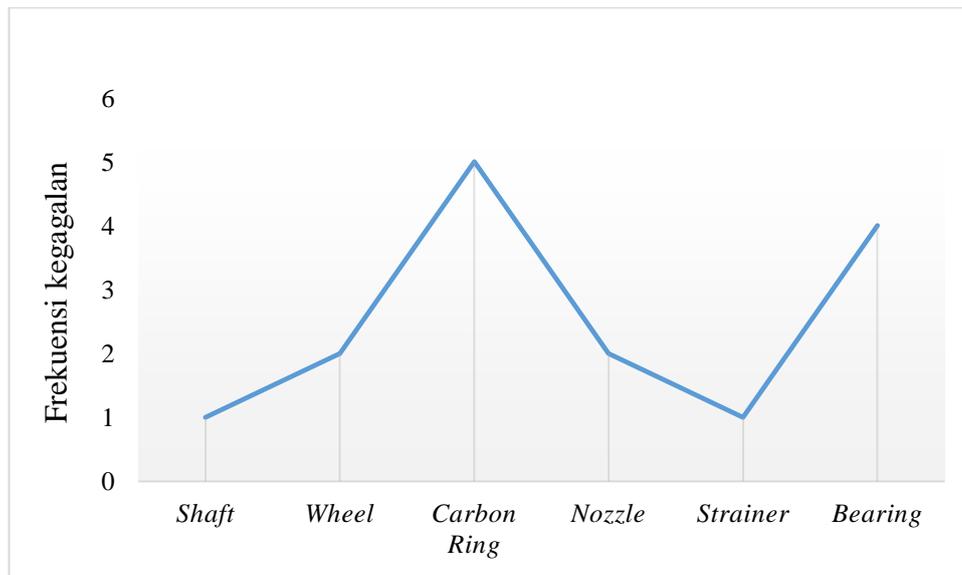
Data yang digunakan untuk penelitian ini yaitu periode 2013-2022 berdasarkan *downtime* pada turbin uap di PT. Perkebunan Nusantara II Unit Pagar Merbau. Berikut ini adalah komponen turbin uap yang mengalami kerusakan akibat *saturated steam* saat pengoperasian. Berdasarkan data kegagalan komponen turbin

uap disajikan pada Tabel 4.1 dibawah ini dilihat bahwa kegagalan yang memiliki frekuensi terbesar terdapat pada komponen carbon ring dengan kegagalan 5 kali.

Tabel 4.6 Data komponen kritis turbin uap

No	Komponen	Jumlah Kegagalan
1	<i>Shaft</i>	1
2	<i>Wheel</i>	2
3	<i>Carbon Ring</i>	5
4	<i>Nozzle</i>	2
5	<i>Strainer</i>	1
6	<i>Bearing</i>	4

Berikut ini merupakan grafik data komponen kritis pada periode 2013-2022 berdasarkan *downtime* pada turbin uap di PT. Perkebunan Nusantara II Unit Pagar Merbau.

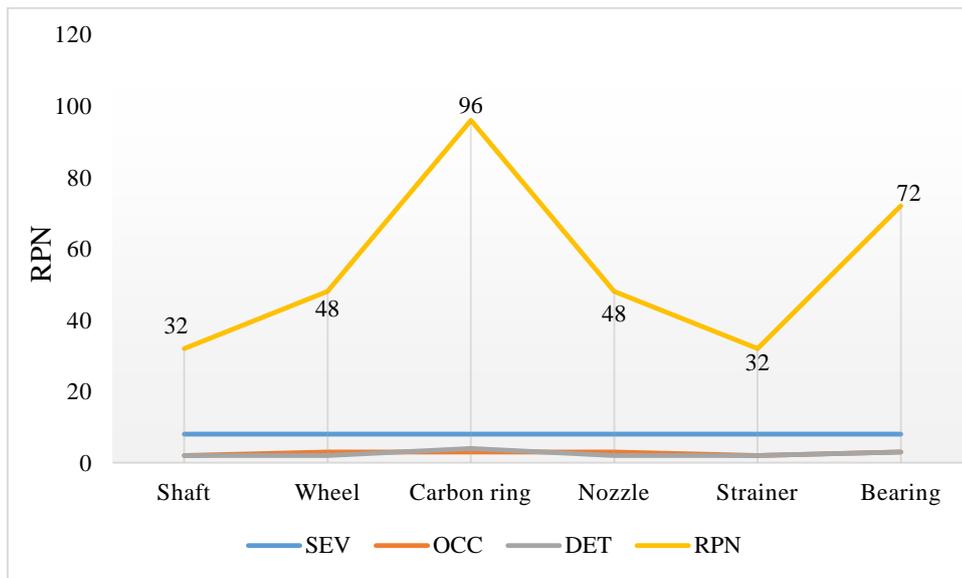


Gambar 4.3 Frekuensi kegagalan

4.2.2 Failure Mode and Effect Analysis terhadap komponen turbin uap

Tabel 4.5 Tabel FMEA

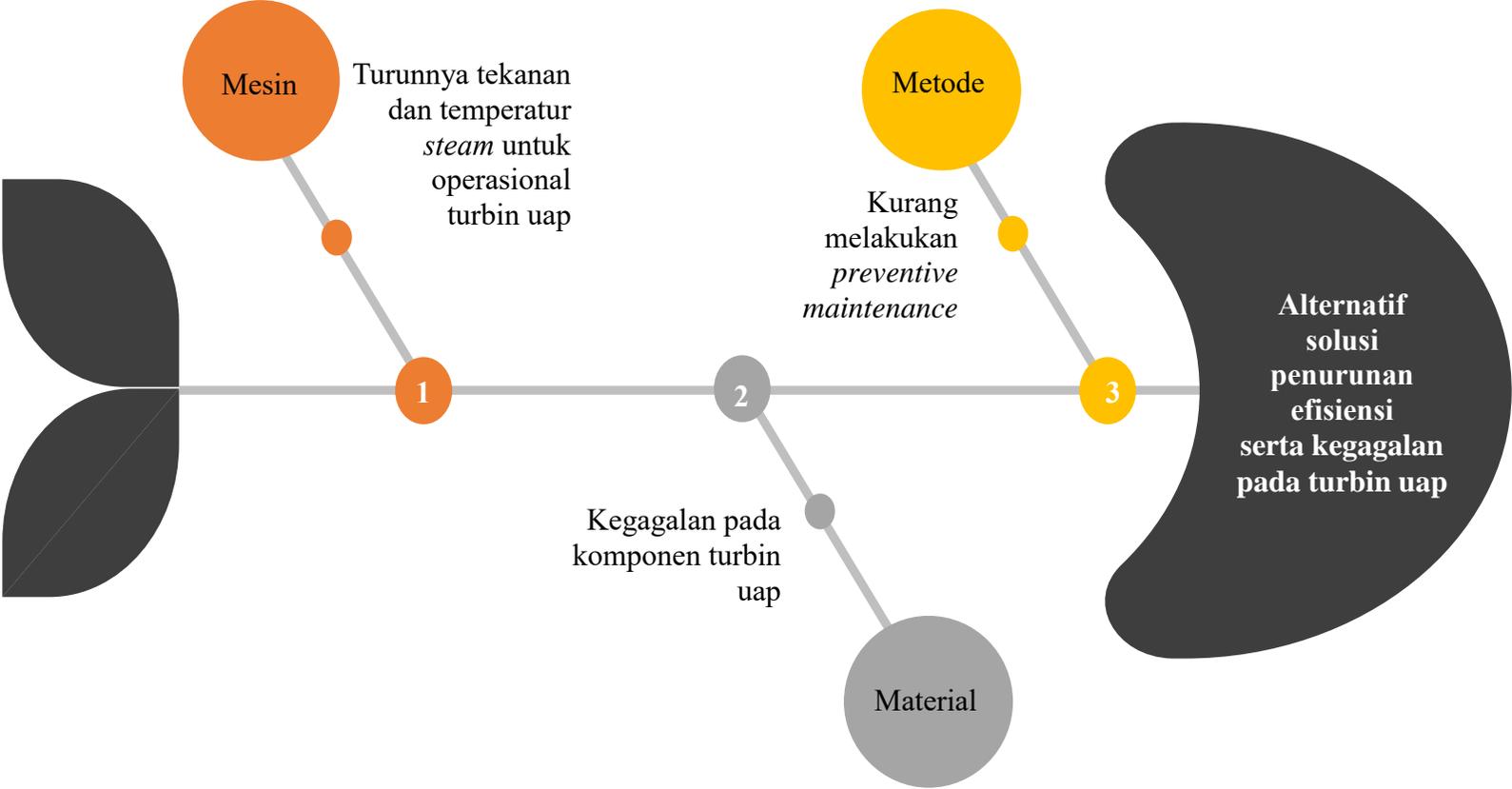
Nama part	Fungsi part	Tanda kesalahan	Efek kegagalan	Penyebab kegagalan	Sev	Occ	Det	Rpn	Mengatasinya
<i>Shaft</i>	Mentransfer putaran dari runner ke generator melalui kopling	<i>Unbalance</i> pada shaft dan <i>bending</i>	Turbin vibrasi	Adanya tumbukan secara aksial yang membuat shaft menjadi bergetar	8	2	2	32	Melaksanakan perbaikan
<i>Wheel</i>	Sebagai penggerak mula yang merubah energi kinetis menjadi energi mekanis	Korosi dan <i>unbalance</i>	Turbin vibrasi	Adanya <i>steam saturated</i> yang masuk ke turbin dan terdapat <i>silica</i> yang masuk ke dalam turbin	8	3	2	48	Melaksanakan perbaikan (<i>sanblasting</i>)
<i>Carbon ring</i>	Menahan kebocoran uap	Penyusutan pada bagian <i>carbon ring</i>	Turbin vibrasi, kebocoran <i>steam</i> dan berkurang nya efisiensi turbin uap	Adanya <i>steam saturated</i> yang masuk ke turbin uap dan kebasahan <i>steam</i>	8	3	4	96	Melaksanakan <i>Blowdown</i> atau melakukan <i>service</i>
<i>Nozzle</i>	Sebagai sudu pengarah untuk penggerak mula	Erosi pada ujung penampang <i>nozzle</i>	Turbin vibrasi, berkurangnya efisiensi turbin uap	Tidak terarahnya tembakan <i>steam</i> melalui <i>nozzle</i> ke <i>wheel</i>	8	3	2	48	Melaksanakan <i>blowdown</i> atau melakukan <i>service</i>
<i>Strainer</i>	Menyaring <i>steam</i> yang akan masuk ke dalam turbin uap	Erosi pada dinding <i>strainer</i>	Masuknya <i>silica</i> pada turbin uap	Masuknya <i>steam</i> melalui celah-celah <i>strainer</i> karena erosi pada bagian tersebut	8	2	2	32	Melaksanakan <i>blowdown</i> atau melakukan <i>service</i>
<i>Bearing</i>	Menahan gaya radial atau gaya tegak lurus shaft	<i>Clearance</i> semakin kecil	Turbin vibrasi	Adanya tumbukan secara aksial dari <i>shaft</i> dan <i>wheel</i> dan kurangnya pelumasan	8	3	3	72	Pengecekan <i>main oil pump</i> dan melaksanakan perbaikan



Gambar 4.4 *Risk Priority Number*

Berdasarkan Tabel 4.4 pengolahan data dengan metode FMEA di dapatkan hasil mengenai penilaian *Risk Priority Number* (RPN), proses yang mendapatkan nilai paling tinggi yaitu *carbon ring* sebesar 96 dan nilai terendah adalah *shaft* dan *strainer* sebesar 32.

4.3 Alternatif Solusi Dengan Diagram *Fish Bone*



Gambar 4.5 Diagram *fish bone* penurunan efisiensi serta kegagalan turbin uap

Dari gambar 4.4 diatas melihatkan ada beberapa faktor yang mengakibatkan turbin uap mengalami penurunan efisiensi serta kegagalan pada komponen turbin uap. Berikut ini alternatif solusi penanggulangan dari faktor yang terjadi :

1. Mesin

Salah satu faktor yang mempengaruhi penurunan efisiensi dan kegagalan turbin uap ialah ketersediaan perlengkapan pada pemurnian air yang kurang optimal, perihal ini menyebabkan mutu air umpan boiler tidak cocok dengan parameter yang sudah ditetapkan. Oleh karena itu harus mengoptimalkan proses pemurnian air umpan dengan memakai dearator.

2. Material

Dalam faktor ini kualitas steam yang dihasilkan oleh boiler menuju ke turbin yang cukup basah. Steam basah sangat pengaruhi nilai entalpi yang dihasilkan dikarenakan pada steam basah akan berpengaruh pada temperatur serta kinerja turbin. Oleh karena itu operator harus sering melakukan *blowdown* dan memantau kondisi lever air untuk keadaan tingkat air pada gelas penduga di boiler supaya senantiasa pada keadaan wajar.

3. Metode

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. Nilai efisiensi turbin uap paling tertinggi yaitu pada tanggal 6 februari 2023 sebesar 24,75% dengan kerja turbin 1908,13 kJ/kg dan terendah adalah 22,19% pada tanggal 19 januari 2023 sebesar 22,19% dengan kerja turbin 1895,93 kJ/kg dengan fraksi uap (X) keseluruhan < 1 atau disebut *saturated steam*. efisiensi aktual turbin uap dengan design turbin uap tersebut lebih dari setengah nilai efisiensi design. Dimana nilai efisiensi tertinggi pada tanggal 19 januari 2023 sebesar 57,49% dan terendah adalah 2 februari 2023 sebesar 52,59%.
2. Nilai efisiensi turbin uap baik tinggi maupun rendah dipengaruhi oleh temperatur yang masuk ke dalam turbin uap. Jadi semakin tinggi temperatur atau energi yang masuk ke dalam turbin uap maka semakin baik efisiensi turbin uap begitu juga sebaliknya, perubahan entalpi (Δh) dan juga kerja turbin secara aktual. Jika kerja turbin semakin besar maka semakin baik efisiensi turbin begitu juga sebaliknya.
3. Pengolahan data dengan metode FMEA di dapatkan hasil mengenai penilaian *Risk Priority Number* (RPN), yang mendapatkan nilai terendah adalah *shaft* dan *strainer* sebesar 32 dan paling tinggi yaitu *carbon ring* sebesar 96.

5.2 Saran

1. Diharapkan untuk peningkatan tekanan dan temperatur pada *boiler* untuk menggerakkan turbin uap agar menghasilkan efisiensi turbin yang optimal.
2. Pengawas produksi dan manajemen harus memperhatikan kinerja prediktif pemeliharaan yang saling berkesinambungan antara teknisi pemeliharaan, peralatan kerja, dan saran serta tindak lanjut.
3. Untuk meningkatkan keandalan turbin uap, diperlukan kajian analisis lebih lanjut tentang komponen yang sering mengalami kegagalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprianto, T., Setiawan, I., & Purba, H. H. (2021). Implementasi metode Failure Mode and Effect Analysis pada Industri di Asia – Kajian Literature. *Matrik*, 21(2), 165. <https://doi.org/10.30587/matrik.v21i2.2084>
- Badariah, N., Sugiarto, D., & Anugerah, C. (2016). *PENERAPAN METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) DAN EXPERT SYSTEM (SISTEM PAKAR)*.
- El-Wakil, M. M. (2015). *Instalasi Pembangkit Daya*. 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 PENGARUH UNJUK KERJA AIR PRIHEATER SKRIPSI OLEH: SYAH RINAL EFENDI FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MEDAN AREA MEDAN SKRIPSI* Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas M.
- Ibrahim, H., Nasution, A., Hermawan, I., & Hutasuhut, M. I. (2020). Analisa Dampak Penurunan Kinerja Lube Oil Cooler Pada Turbin di PLTU Belawan. *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy*, 4(1), 10–23. <https://doi.org/10.31289/jmemme.v4i1.3282>
- Jaya, N. (2020). *ANALISIS KINERJA TURBIN UAP BERDASARKAN PERFORMANCE TEST PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) BARRU 2X50 MW [PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI JURUSAN TEKNIK MESIN POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG MAKASSAR 2020]*. <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- Li, L., Li, Y., Xie, X., & Li, 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, Part A: Journal of Power and Energy*, 228(6), 708–716. <https://doi.org/10.1177/0957650914534838>
- Lubis, F., Pane, R., Lubis, S., Siregar, M. A., & Kusuma, B. S. (2021). Analisa

- Kekuatan Bearing Pada Prototype Belt Conveyor. *Jurnal MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, 2(2), 51–57. <https://doi.org/10.53695/jm.v2i2.584>
- Merle C Potter, P. D., & Craig W. Somerton, P. D. (2011). *TERMODINAMIKA TEKNIK*.
- Muin, I. S. A. (1993). *(PESAWAT-PESAWAT KONVERSI ENERGI II (Turbin Uap))*.
- Mustangin, M. (2018). Mustangin_buku turbin uap. In *TURBIN UAP Prinsip, start-up, perawatan, penunjangnya: Vol. xvi*.
- P.Shlyakhin. (1999). *TURBIN UAP (STEAM TURBINES) Teori dan Rancangan*.
- Panuška, M., Tajč, L., & Kollross, P. (2018). The effect of a strainer in the control valve of the steam turbine. *AIP Conference Proceedings*, 2047. <https://doi.org/10.1063/1.5081648>
- POLSRI. (2019). BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1. 1–64. In *Gastronomía ecuatoriana y turismo local*. (Vol. 1, Issue 69). POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA.
- Prasojo. F. F. (2022). *TUGAS SARJANA ANALISA PENGARUH TURBIN HEAT RATE TERHADAP EFISIENSI TURBIN di PKS KAPASITAS 40 TON/JAM*.
- Rizaldy, R., Zarrouk, S. J., & Morris, C. (2016). Liquid carryover in geothermal steam-water separators. *Proceedings the 38th New Zealand Geothermal Workshop*, November. https://www.researchgate.net/publication/310818568_LIQUID_CARRYOVER_IN_GEOTHERMAL_STEAM-WATER_SEPARATORS
- Rutan, C. R., Chemicals, L. E., & Charlie, C. R. (1973). *TURBINE OVERSPEED TRIP PROTECTION*.
- Sector, P. T. (2005). *Effects of wetness in steam turbines*. 219(August), 1301–1314. <https://doi.org/10.1243/095440605X32110>
- Sibarani. A. I. (2019). Identifikasi Keandalan Turbin Uap Berdasarkan. In *Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara Medan*. <https://repositori.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/16067/130401099.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 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.

Sugiharto, A. (2016). Tinjauan Teknis Pengoperasian Dan Pemeliharaan Boiler. *Forum Teknologi*, 6(2), 56–69.

Thamrin, R. (1986). Teori Turbin Uap. In *Tarsito*. Tarsito- Bandung.

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>

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.



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya
Pola Berprestasi, Kurai di Agri Berprestasi
Noma dan Langgahya

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

UMSU Terakreditasi A Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 69/SK/BAN-PT/Akred/PT/III/2019
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 [umsu](#) [umsu](#) [umsu](#) [umsu](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 42/11.3AU/UMSU-07/F/2023

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin pada Tanggal 9 Januari 2023 dengan ini Menetapkan :

Nama : AGUNG SETIAWAN
Npm : 1907230032
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : 7 (tujuh)
Judul Tugas Akhir : ANALISA PENGARUH SATU RETED STEAM TERHADAP EFISIENSI DAN KOMPONEN TURBIN UAP DENGAN METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS

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.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.
Medan, 13 Jumadil Akhir 1444 H
9 Januari 2023 M



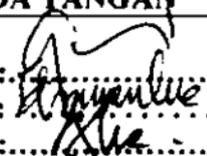
Munawar Alfansury Siregar, ST., MT
NIDN: 0101017202



**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2022 – 2023**

Peserta seminar

Nama : Agung Setiawan
 NPM : 1907230032
 Judul Tugas Akhir : Analisa Pengaruh Saturated Steam Terhadap Efisiensi Dan Komponen turbin uap dengan metode failure mode and effect analysis .

DAFTAR HADIR			TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Chandra A Siregar ST.MT		 
Pembanding – I : Khairul Umurani ST.MT		
Pembanding II : Sudirman Lubis ST.MT		
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1907230086	AGA GEBIN ULTASSAH	
2	1907230103	Yuda Hendrawan	
3	1907230061	Rafliansyah	
4	1907230126	Ahmad Khairul Gadi	
5	1907230100	Agus Tri Wahyudi	
6	Ricky Wah 1907230123	Ricky Wahyudi Aminuddin	
7			
8			
9			
10			

Medan, 20 Muharram 1445 H
7 Agustus 2023 M

Ketua Prodi. T.Mesin



Chandra A Siregar, ST. MT

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

Nama : Agung Setiawan
NPM : 1907230032
Judul Tugas Akhir : Analisa Pengaruh Saturated Steam terhadap efisiensi dan komponen Turbin uap dengan metode failure mode and effect analysis.

Dosen Pembanding – I : Khairul Umurani ST.MT
Dosen Pembanding – II : Sudirman lubis 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 :

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

3. Harus mengikuti seminar kembali
- Perbaikan :

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

Medan. 20 Muharram 1445 H
7 Agustus 2023 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- I



Khairul Umurani ST. MT

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

Nama : Agung Setiawan
NPM : 1907230032
Judul Tugas Akhir : Analisa Pengaruh Saturated Steam terhadap efisiensi dan komponen Turbin uap dengan metode failure mode and effect analysis.

Dosen Pembanding - I : Khairul Umurani ST.MT
Dosen Pembanding - II : Sudirman Lubis ST.MT
Dosen Pembimbing - I : Chandra A Siregar ST.MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (colloquium)
 2. Dapat mengikuti sidang sarjana (colloquium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
 - Perbaiki grafik
 - tambahkan data peroba
 - Buat dgn reaksi harga 1 dan saja
 3. Harus mengikuti seminar kembali
- Perbaikan :
.....
.....
.....
.....

Medan, 20 Muharram 1445 H
7 Agustus 2023 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- II



Sudirman Lubis ST.MT



UMSU

Unggul | Cerdas | Berprestasi

By Innovation and Quality Standard

Since 1954

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

UMSU Terakreditasi A Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 89/SK/BAN-PT/Akred/PT/10/2018
Pusat Administrasi: Jalan Wukhtar Beari No. 3 Medan 20138 Telp. (061) 8420400 - 84224047 Fax. (061) 8425414 - 8421000
E-mail: info@fatek.umsu.ac.id hr.fatek@umsu.ac.id umsu@umsu.ac.id umsu@umsu.ac.id umsu@umsu.ac.id umsu@umsu.ac.id

Nomor : 22/IL.3.AU/UMSU-07/F/2023
Lamp : -
Hal : Pengambilan Data

Medan, 17 Jumadil Akhir 1444 H
10 Januari 2023 M

Kepada Yth. : Bapak / Ibu
Kepala Bagian Sumber Daya Manusia
PT. Perkebunan Nusantara II
Jl. Raya Medan – Tanjung Morawa KM. 16,5
Deli Serdang - Sumatera Utara

Di -
Tempat

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan hormat,
Kami memohon kesediaan Bapak untuk menerima dan memberikan izin bagi Mahasiswa kami yang akan melakukan Pengambilan data di PT. Perkebunan Nusantara II, Jl. Raya Medan – Tanjung Morawa KM. 16,5 Deli Serdang - Sumatera Utara, untuk penulisan Tugas Akhir, guna menyelesaikan program pendidikan Strata Satu (S-1) di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Adapun nama mahasiswa kami tersebut adalah :

Nama : Agung Setiawan
Npm : 1907230032
Jurusan : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Analisa Pengaruh Saturated Steam Terhadap Efisiensi dan Komponen Turbin Uap Dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis

Pembimbing I: Chandra A. Siregar, ST., MT.

Data yang di cari :
1. Data primer
2. Data Sekunder
3. Dokumentasi

Demikianlah harapan kami atas bantuan dan kerjasama yang bapak/ibu berikan kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.



Muhammad Alfansury Siregar, ST., MT.
NIDN : 0101017202

Cc. File



Tanjung Morawa, 14 Januari 2023

Nomor : 2.6 / X / 24 / 1 / 2023
Lampiran : -
Hal : **PENDIDIKAN**
Pelaksanaan Riset

Kepada Yth. :

Ketua Prodi. Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jl. Mukhtar Basri No. 3 Medan

Menghunjuk surat Saudara Nomor : 22/III.3.AU/UMSU-07/F/2023 tanggal 10 Januari 2023 perihal Pengambilan Data atas nama :

No.	Nama Mahasiswa	NIM	Program Studi
1	Agung Setiawan	1907230032	Teknik Mesin

Dengan ini disampaikan bahwa pada prinsipnya PT Perkebunan Nusantara II dapat memberikan izin kepada Mahasiswa yang namanya tersebut di atas untuk melaksanakan Riset di PKS Pagar Merbau PT Perkebunan Nusantara II pada tanggal 17 Januari 2023 s/d 17 Februari 2023 dengan ketentuan tetap mematuhi Protokol COVID-19 yang berlaku di Perusahaan.

Segala biaya yang berkenaan dengan kegiatan tersebut ditanggung oleh Mahasiswa yang bersangkutan dan kepada Mahasiswa yang bersangkutan diharuskan menyampaikan hasil Riset selama di PKS Pagar Merbau yang diketahui oleh Manajer. Selanjutnya menyerahkan 1 (satu) exemplar Laporan hasil Riset ke Bagian SDM apabila telah selesai.

Demikian disampaikan agar Saudara maklum.

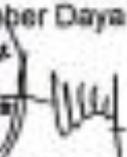
PT Perkebunan Nusantara II
Bagian Sumber Daya Manusia

Loviana Magda Hasibuan
Pj. Kepala Bagian

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., <i>P</i> kPa	Sat. temp., <i>T</i> _{sat} °C	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, <i>v</i> _f	Sat. vapor, <i>v</i> _g	Sat. liquid, <i>u</i> _f	Evap., <i>u</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>u</i> _g	Sat. liquid, <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>h</i> _g	Sat. liquid, <i>s</i> _f	Evap., <i>s</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>s</i> _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

Hasil analisa efisiensi turbin uap PT.Perkebunan Nusantara II Unit Pagar Merbau Penelitian Tugas Akhir pada tanggal 17 Januari 2023 – 17 Februari 2023

Tanggal	T (°C)	P1 (MPa)	P2 (KPa)	h1 (kJ/kg)	s1 (kJ/kg.K)	sf2 (kJ/kg.K)	sfg2 (kJ/kg)	x	hf2 (kJ/kg)	hfg2 (kJ/kg)	h2 (kJ/kg)	Δh (kJ/kg)	\dot{m} (kg/s)	Wt isentropik (kJ/kg)	Waktual (KW)	Efisiensi (%)
19 Januari 2023	270,6	1,863	294	2958,1	6,6791	1,6643	5,3344	0,940	558,41	2165,54	2594,20	363,9	5,21	1895,93	420,736	22,19
20 Januari 2023	260,1	1,863	294	2933,1	6,6334	1,6643	5,3344	0,932	558,41	2165,54	2575,67	357,4	5,21	1862,24	420,736	22,59
24 Januari 2023	273,1	1,863	294	2964,1	6,6899	1,6643	5,3344	0,942	558,41	2165,54	2598,61	365,4	5,21	1903,95	447,032	23,48
25 Januari 2023	267,5	1,863	294	2950,7	6,6656	1,6643	5,3344	0,938	558,41	2165,54	2588,73	362,0	5,21	1885,99	420,736	22,31
27 Januari 2023	261,1	1,863	294	2935,5	6,6378	1,6643	5,3344	0,932	558,41	2165,54	2577,43	358,1	5,21	1865,45	420,736	22,55
30 Januari 2023	257,7	1,863	294	2927,4	6,6230	1,6643	5,3344	0,930	558,41	2165,54	2571,43	356,0	5,21	1854,54	420,736	22,69
31 Januari 2023	265,5	1,863	294	2946,0	6,6569	1,6643	5,3344	0,936	558,41	2165,54	2585,20	360,8	5,21	1879,57	420,736	22,38
2 Februari 2023	263,1	1,863	294	2940,2	6,6465	1,6643	5,3344	0,934	558,41	2165,54	2580,96	359,3	5,21	1871,87	420,736	22,48
6 Februari 2023	274,4	1,863	294	2967,2	6,6956	1,6643	5,3344	0,943	558,41	2165,54	2600,91	366,2	5,21	1908,13	472,328	24,75
9 Februari 2023	260,7	1,863	294	2934,5	6,6360	1,6643	5,3344	0,932	558,41	2165,54	2576,73	357,8	5,21	1864,17	420,736	22,57
10 Februari 2023	265,1	1,863	294	2945,0	6,6578	1,6643	5,3344	0,936	558,41	2165,54	2585,55	359,5	5,21	1872,77	420,736	22,47
Design	280,0	1,720	394	2989,2	6,7638	1,7708	5,1300	0,973	602,28	2135,08	2680,33	308,9	5,21	1609,19	840,000	52,20

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

ANALISA PENGARUH SATURATED STEAM TERHADAP EFISIENSI DAN KOMPONEN TURBIN UAP DENGAN METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS

Nama : Agung Setiawan
NPM : 1907230032

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

Har/Tanggal	Kegiatan	Paraf
31/01-2023	Revisi format	f
	Tambahkan literatur	f
	Perbaiki bab IV	f
02/02-2023	ACC Simpam	f
	Perbaiki bab IV	f
14/6-2023	Perbaiki kesimpulan	f
14/7-2023	Tambahkan literatur doi dan Tim	f
20/7/2023	limsa ACC Simpam	f

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama : Agung Setiawan
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 18 Agustus 2001
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Alamat : Lingkungan 16 Pasar 06, Kelurahan Terjun,
Kecamatan Medan Marelan, Kota Medan
Nomor Telepon : 082171948488
E-mail : Agungsetiawan20011808@gmail.com

PENDIDIKAN FORMAL

Tahun 2007-2013 : SD Negeri 064496
Tahun 2013-2016 : SMP PGRI-3 Medan
Tahun 2016-2019 : SMK Swasta Harapan Mekar 1 Medan
Tahun 2019-2023 : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara