

**ANALISIS KINERJA TURBIN UAP SEBELUM DAN SESUDAH
OVERHAUL PADA UNIT 1 PLTU MAMUJU**



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Pendidikan Sarjana Terapan (S₁ Terapan) Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

SYAMSUL MAARIF

44219043

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2022

HALAMAN PESETUJUAN

Skripsi dengan judul **Analisis Kinerja Turbin Uap Sebelum Dan Sesudah Overhaul Pada Unti 1 PLTU Mamuju** oleh Syamsul Maarif NIM 44219043 dinyatakan layak untuk diseminarkan.

Makassar, Juli 2023

Menyetujui

Pembimbing I



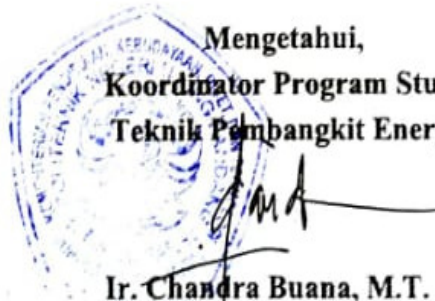
Ir. Chandra Buana, M.T.
NIP.19650319 199103 1 003

Pembimbing II



Yiyin Klistafani, S.T., M.T.
NIP. 19900517 201504 2 001

Mengetahui,
**Koordinator Program Studi
Teknik Pembangkit Energi**



Ir. Chandra Buana, M.T.
NIP. 19650319 199103 1 003

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari Senin, 14 Agustus 2022, Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi telah menerima dengan baik skripsi oleh mahasiswa: Syamsul Maarif NIM 44219043 dengan judul **Analisis Kinerja Turbin Sebelum Dan Sesudah Overhaul Pada Unit 1 PLTU Mamuju.**

Makassar, 14 Agustus 2023

Tim Penguji Seminar Proposal Skripsi:

- | | | |
|----|------------------------------|---------------|
| 1. | Dr. Jumadi Tangko, M.Pd | Ketua |
| 2. | Ir. Herman Nawir, M.T. | Sekretaris |
| 3. | Ir. La Ode Musa, M.T. | Anggota |
| 4. | Abdul Rahman, S.T., M.T. | Anggota |
| 5. | Ir. Chandra Bhuana, M.T. | Pembimbing I |
| 6. | Yiyin Klistafani, S.T., M.T. | Pembimbing II |



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah in :

Nama : Syamsul Maarif

NIM : 44219043

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yng berjudul “**Analisis Kinerja Turbin Sebelum Dan Sesudah Overhaul Pada Unit 1 PLTU Mamuju**” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 14 Agustus 2023



Syamsul Maarif
NIM 44219043

KATA PENGANTAR

Segala puji penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan segala nikmat dan karunia-Nya sehingga penulisan skripsi ini yang berjudul ” **Analisis Kinerja Turbin Sebelum Dan Sesudah Overhaul Pada Unit 1 PLTU Mamuju**” dapat diselesaikan dengan baik. Tidak lupa juga shalawat dan salam penulis kirimkan kepada Nabi Muhammad SAW yang menjadi tokoh teladan bagi penulis.

Terdapat beberapa kendala yang penulis dihadapi pada saat proses penyusunan penulisan skripsi ini. Akan tetapi satu persatu kendala tersebut dapat dilewati dengan baik. Penulis percaya, berbagai kendala yang telah dihadapi tersebut dapat terselesaikan akibat adanya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini terutama kepada:

1. Kedua orang tua, saudara penulis, dan orang-orang terdekat penulis yang telah memberikan perhatian, dukungan dan motivasi yang besar kepada penulis.
2. Bapak Ir. Ilyas Mansur, M.T selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Bapak Dr. Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Ir. Chandra Buana, M.T selaku Koordinator Program Studi Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.

5. Bapak Ir. Herman, M.T. selaku Wali Kelas 4B Teknik Pembangkit Energi.
6. Bapak Ir. Chandra Buana, M.T dan Yiyin Klistafani, S.T., M.T selaku pengarah pada penyusunan skripsi ini yang telah memberikan bimbingan sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
7. Seluruh pegawai di PLTU Mamuju 2 x 25 MW yang telah banyak membantu dan memberikan data analiss kepada penulis.
8. Rekan-rekan 4B Teknik Pembangkit Energi 2019 yang telah menjadi *support system* bagi penulis dalam menjalani perkuliahan.
9. Teman-teman di Ikatan Mahasiswa Soppeng yang telah menjadi wadah bagi penulis untuk berorganisasi dan menjadi lingkungan yang supportif.
10. Semua pihak yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu yang telah ikut berpartisipasi hingga selesainya skripsi ini.

Dengan penuh kesadaran, penulis mengetahui bahwasanya masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan pada skripsi ini. Dengan demikian, penulis memohon maaf serta bimbingan yang membangun dan bermanfaat agar skripsi ini semakin baik dan memiliki manfaat kedepannya. Semoga skripsi ini berguna bagi sesama, aamiin.

Makassar, 14 Juli 2023

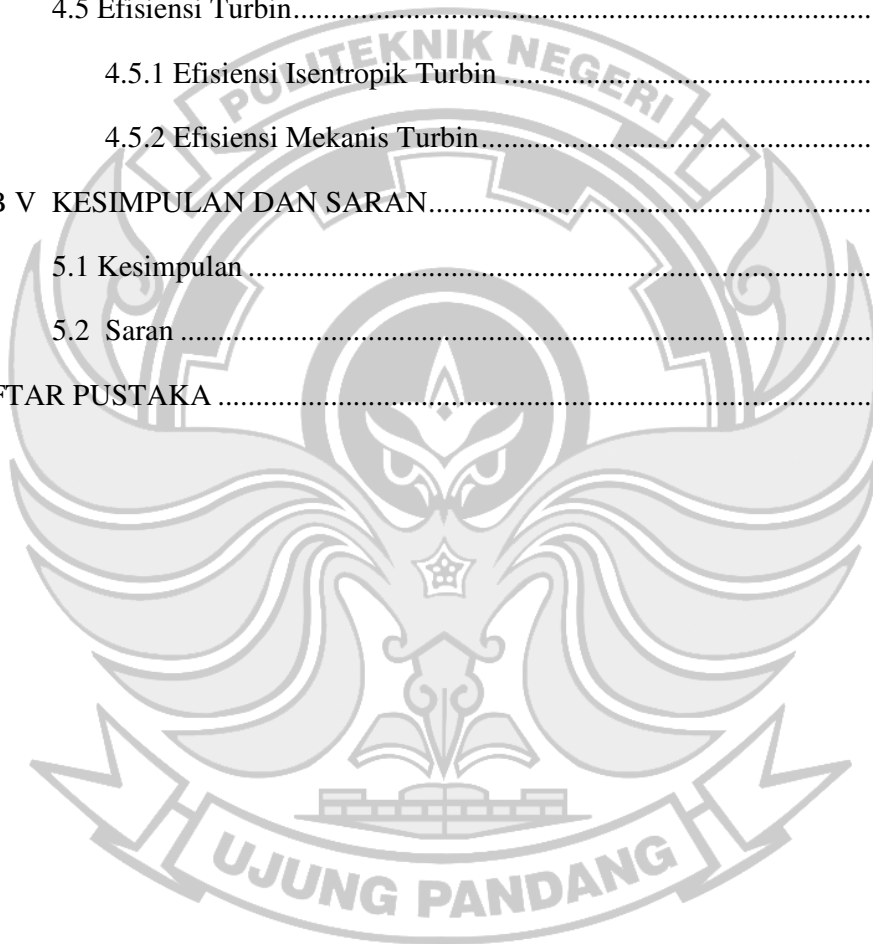
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PESETUJUAN.....	2
HALAMAN PENERIMAAN	3
SURAT PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR SIMBOL.....	xiii
ABSTRAK.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian Umum PLTU	5
2.1.1. Proses Konversi Energi Pada PLTU.....	5
2.1.2. Penggunaan Fluida Kerja.....	6
2.2 Siklus <i>Rankine</i>	7
2.3 Bagian-Bagian PLTU.....	10
2.4 Turbin Uap.....	12

2.4.1 Jenis-Jenis Turbin Uap.....	12
2.4.2 Komponen Turbin	22
2.4.3 Parameter Kinerja Turbin.....	24
2.5 Tinjauan Literatur	29
2.6 Sekilas PLTU Mamuju	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian	32
3.2 Prosedur Penelitian	33
3.3. Data Yang Diperlukan	34
3.4 Teknik Pengumpulan Data.....	34
3.5 Teknik Analisis Data.....	35
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1 Analisis kinerja turbin uap sebelum <i>overhaul</i>	36
4.1.1 Kinerja Turbin.....	37
4.1.2 Fraksi Kekeringan Uap.....	44
4.1.3 <i>Steam Rate</i>	44
4.1.4 Efisiensi Isentropik Turbin	45
4.1.5 Efisiensi Mekanis.....	45
4.2 Analisis kinerja turbin uap setelah <i>overhaul</i>	45
4.2.1 Kinerja Turbin.....	45
4.1.2 Fraksi Kekeringan Uap.....	53
4.1.3 <i>Steam Rate</i>	53
4.1.4 Efisiensi Isentropik Turbin	53
4.1.5 Efisiensi Mekanis.....	54
4.3 Tabel Hasil Analisis	55

4.4 Kinerja Turbin.....	57
4.4.1 Kinerja Turbin Kondisi Aktual	57
4.4.2 Kinerja Turbin Kondisi Isentropis	59
4.4.3 Fraksi Kekeringan Uap	61
4.4.4 <i>Steam Rate</i>	63
4.5 Efisiensi Turbin.....	65
4.5.1 Efisiensi Isentropik Turbin	65
4.5.2 Efisiensi Mekanis Turbin.....	68
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	70
5.1 Kesimpulan	70
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses konversi energi pada PLTU.....	6
Gambar 2. 2 Peralatan Utama Siklus <i>Rankine</i>	7
Gambar 2. 3 (a) Diagram P-v dan (b) T-s siklus <i>Rankine</i>	8
Gambar 2. 4 Single Stage Turbin Uap <i>Cutaway</i>	15
Gambar 2. 5 Prinsip Turbin Impuls.....	16
Gambar 2. 6 Penampang sudu turbin reaksi.....	17
Gambar 2. 7 Prinsip turbin reaksi.....	17
Gambar 2. 8 Diagram perbedaan turbin reaksi dan impuls.....	18
Gambar 2. 9 Area operasional turbin uap.....	18
Gambar 2. 10 Turbin <i>Condensing</i>	19
Gambar 2. 11 Turbin <i>non condensing</i>	20
Gambar 2. 12 Turbin <i>Backpressure</i> dan Ekstraksi.....	21
Gambar 2. 13 Tampilan CCR Turbin PLTU Barru.....	24
Gambar 2. 14 PLTU Mamuju.....	30
Gambar 4. 1 Diagram Turbin dan Ekstraksi PLTU Mamuju.....	36
Gambar 4. 2 Grafik Perbandingan Kinerja Turbin Kondisi Aktual	58
Gambar 4. 3 Grafik Perbandingan Kinerja Turbin Kondisi Isentropis.....	60
Gambar 4. 4 Grafik Perbandingan Fraksi Kekeringan Uap.....	62
Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan <i>Steam Rate</i>	64
Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Efisiensi Isentropik Turbin.....	66
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Efisiensi Mekanis Turbin.....	69

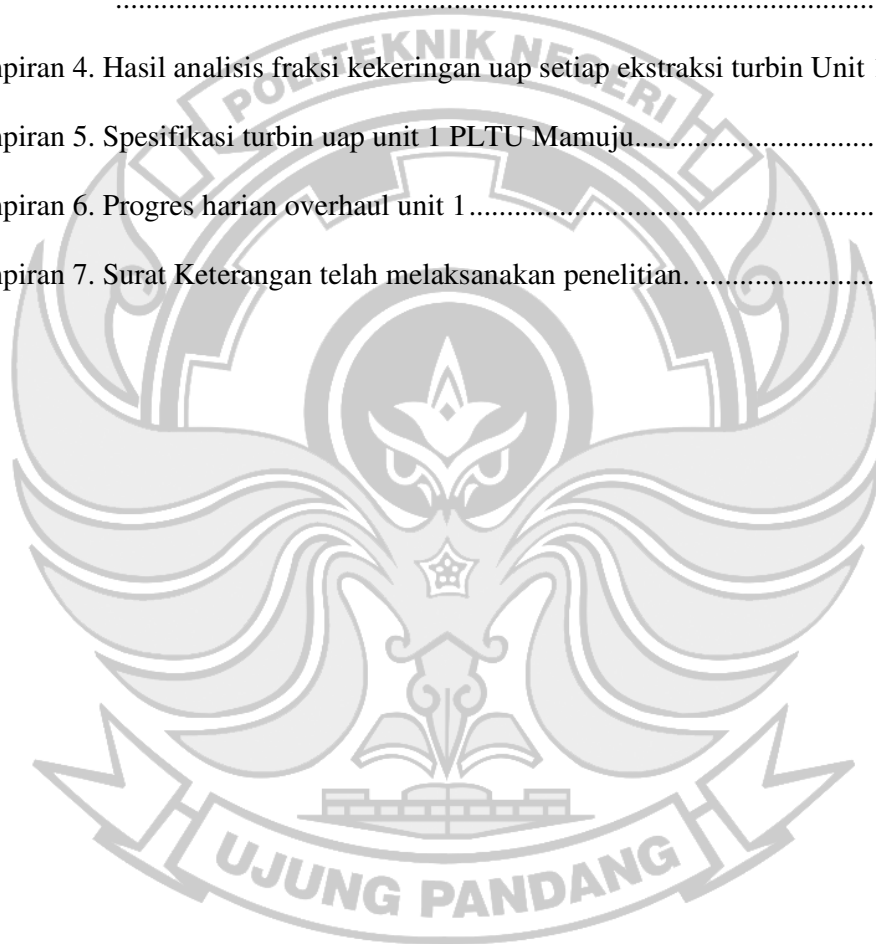
DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian.....	32
Tabel 4. 1 Fraksi Kekeringan Uap Sebelum <i>Overhaul</i>	44
Tabel 4. 2 Fraksi kekeringan uap setelah <i>overhaul</i>	53
Tabel 4. 3 Tabel Hasil Analisis Data.....	55
Tabel 4. 4 Fraksi Kekeringan Uap Setiap Ekstraksi.....	56



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data turbin sebelum dan sesudah overhaul unit 1	73
Lampiran 2. Hasil analisis entalpi secara actual setiap ekstraksi turbin Unit 1	74
Lampiran 3. Hasil analisis entalpi secara isentropis setiap ekstraksi turbin Unit 1	75
Lampiran 4. Hasil analisis fraksi kekeringan uap setiap ekstraksi turbin Unit 1 ..	76
Lampiran 5. Spesifikasi turbin uap unit 1 PLTU Mamuju.....	77
Lampiran 6. Progres harian overhaul unit 1.....	80
Lampiran 7. Surat Keterangan telah melaksanakan penelitian.....	88



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Satuan	Keterangan
q	J	Kalor
w	J/Kg	Kerja
W	Watt	Daya
H	J	Entalpi system
h	J	Entalpi
Bwr	%	Back Word Ratio
η	%	Efisiensi
\dot{m}	kg/h	Laju aliran massa
P	Bar	Tekanan
T	$^{\circ}\text{C}$	Temperatur
U	J	Energi dalam
V	m^3	Volume
s	kJ/kg	Entropi
x	-	Fraksi kekeringan uap
SR	T/MW	Steam Rate

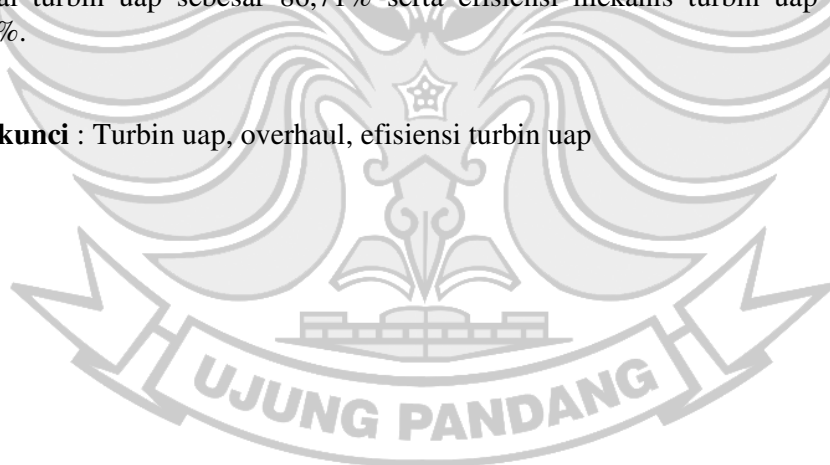
ABSTRAK

Meskipun pada dasarnya, turbin uap merupakan komponen yang memiliki struktur material yang kuat dan tahan terhadap panas, namun tentunya tidak sesuai dengan kenyataan yang ada di lapangan. Oleh karena itu, perlu dilakukan perawatan berkala untuk menjaga keandalan seluruh peralatan pada sistem pembangkitan. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui perbandingan kinerja dan efisiensi turbin uap Unit 1 PLTU Mamuju sebelum dan sesudah *overhaul* pada tahun 2022.

Pengambilan data operasional turbin didapatkan langsung dari Central Control Room (CCR) Unit 1 PLTU Mamuju dengan menggunakan teknik pengambilan data menggunakan metode studi Pustaka dan studi literatur, metode observasi, serta metode wawancara yang kemudian hasil analisisnya dijabarkan menggunakan metode analisis data berupa kualitatif deskriptif.

Sebelum *overhaul*, diperoleh rata-rata kinerja turbin kondisi aktual entalpi sebesar 1.073,54 kJ/kg, kinerja turbin kondisi isentopis entalpi sebesar 1.177,89 kJ/kg, kerja turbin sebesar 31.675,94 kJ/s, fraksi kekeringan uap sebesar 1,02, *steam rate* sebesar 3,97 T/H, efisiensi thermal turbin uap sebesar 91,16% serta efisiensi mekanis turbin uap sebesar 70,16%. sedangkan setelah *overhaul*, diperoleh rata-rata kinerja turbin kondisi aktual entalpi sebesar 991,72 kJ/kg, kinerja turbin kondisi isentopis entalpi sebesar 1.147,03 kJ/kg, kerja turbin sebesar 27.312,75 kJ/s, fraksi kekeringan uap sebesar 0,99, *steam rate* sebesar 4,05 T/H, efisiensi thermal turbin uap sebesar 86,71% serta efisiensi mekanis turbin uap sebesar 67,33%.

Kata kunci : Turbin uap, overhaul, efisiensi turbin uap



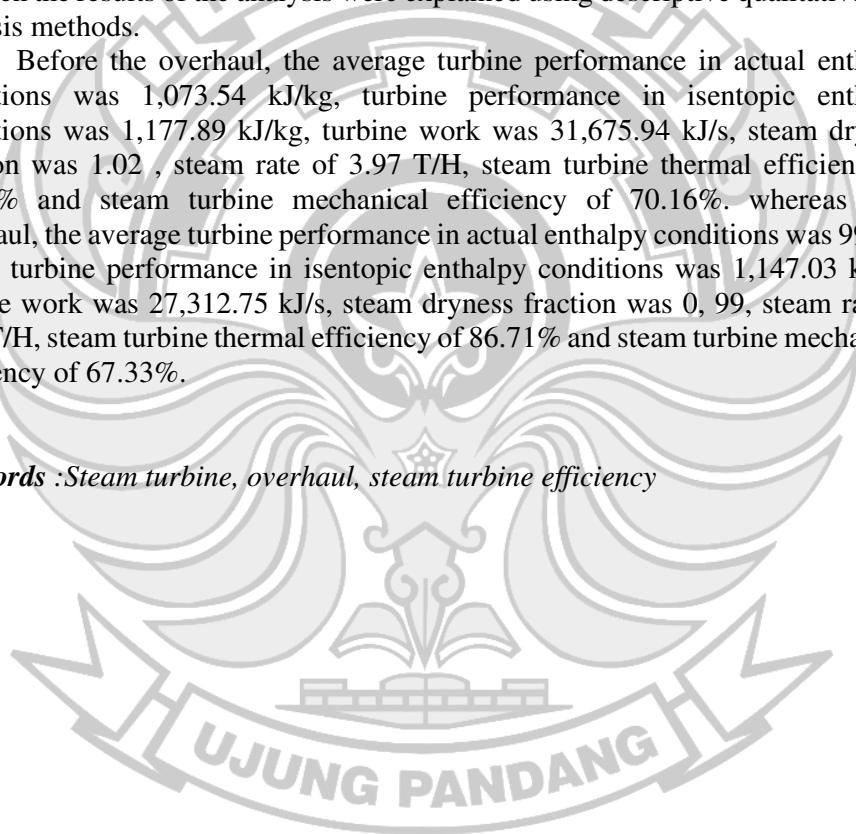
ABSTRACT

Although basically, a steam turbine is a component that has a strong material structure and is heat resistant, but of course it does not correspond to the reality in the field. Therefore, it is necessary to carry out regular maintenance to maintain the reliability of all equipment in the generation system. The aim of this research is to compare the performance and efficiency of the steam turbine Unit 1 of PLTU Mamuju before and after the overhaul in 2022.

Turbine operational data was collected directly from the Central Control Room (CCR) Unit 1 of PLTU Mamuju using data collection techniques using library and literature study methods, observation methods, and interview methods and then the results of the analysis were explained using descriptive qualitative data analysis methods.

Before the overhaul, the average turbine performance in actual enthalpy conditions was 1,073.54 kJ/kg, turbine performance in isentropic enthalpy conditions was 1,177.89 kJ/kg, turbine work was 31,675.94 kJ/s, steam dryness fraction was 1.02, steam rate of 3.97 T/H, steam turbine thermal efficiency of 91.16% and steam turbine mechanical efficiency of 70.16%. whereas after overhaul, the average turbine performance in actual enthalpy conditions was 991.72 kJ/kg, turbine performance in isentropic enthalpy conditions was 1,147.03 kJ/kg, turbine work was 27,312.75 kJ/s, steam dryness fraction was 0,99, steam rate of 4.05 T/H, steam turbine thermal efficiency of 86.71% and steam turbine mechanical efficiency of 67.33%.

Keywords : *Steam turbine, overhaul, steam turbine efficiency*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses pembangkitan energi listrik masih banyak menggunakan pembangkit tenaga uap untuk menghasilkan energi listrik. Meskipun pemerintah telah mencanangkan program energi terbarukan, namun nyatanya proses pembangkitan yang menggunakan fosil ini tidak serta merta langsung dihilangkan karena pembangkit energi terbarukan yang sementara dibangun belum mampu memenuhi permintaan konsumen yang sangat tinggi.

Sebagai salah satu pembangkit listrik tenaga uap yang menggunakan bahan bakar batubara, PLTU Mamuju mempunyai peran yang sangat penting guna memenuhi kebutuhan listrik di Sulawesi, khususnya daerah Sulawesi Barat. Seiring dengan perannya yang penting, maka tentu diperlukan untuk menjaga keandalan pada pembangkitan ini sehingga diperlukan perawatan. Salah satu yang sering menjadi perhatian adalah kondisi turbin uap yang menjadi salah satu komponen utama dalam sistem pembangkitan ini.

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 yang digerakkan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, pembangkit listrik, dan untuk transportasi (Shlyakhin, 1993:3).

Meskipun pada dasarnya, turbin uap merupakan komponen yang memiliki struktur material yang kuat dan tahan terhadap panas, namun tentunya tidak sesuai dengan kenyataan yang ada di lapangan. Oleh karena itu, perlu dilakukan perawatan berkala untuk menjaga keandalan seluruh peralatan pada sistem pembangkitan.

Sebelum dihasilkan keputusan untuk melaksanakan perbaikan (*overhaul*), tentu akan dilakukan riset mengenai segala mekanisme kegiatan *overhaul* yang akan dilaksanakan kedepannya. Sehingga diharapkan keandalan peralatan akan terjadi peningkatan serta kapasitas produksi yang maksimum guna memenuhi kebutuhan pasokan energi listrik di Sulawesi Barat.

Pada publikasi jurnal menurut Latcovich, dkk. (2005:4) menyatakan bahwa meskipun ada perbedaan yang signifikan dalam desain, kompleksitas, aplikasi, kondisi uap, dan ukuran turbin uap, semuanya sama secara fundamental. Mereka melakukan fungsi yang sama, menggunakan komponen utama dan sistem pendukung yang serupa, dan terpapar pada mekanisme kegagalan yang sama. Oleh karena itu, usaha pemeliharaan dan perawatan besar untuk komponen utama untuk mencapai tingkat keandalan dan ketersediaan yang tinggi diharapkan akan serupa, meskipun usaha tersebut harus disesuaikan dengan tipe unit dan aplikasi tertentu.

Pemeliharaan dari turbin uap perlu ditingkatkan, sehingga tingkat kesalahan berkurang secara efektif, dan turbin uap dipertahankan dalam kondisi operasi yang baik, yang tidak hanya membantu meningkatkan efisiensi pembangkit listrik, tetapi juga dapat secara efektif mengurangi biaya perawatan. Selain itu,

pembangkit listrik harus memperhatikan untuk pelatihan personel pemeliharaan turbin uap, sehingga dapat secara efektif memastikan keandalan dan stabilitas pengoperasian unit turbin uap, dan menyediakan catu daya yang andal untuk perkembangan masyarakat.(Sun & Han, 2019:4).

Setelah dilakukan *overhaul* pada turbin, maka tentu diperlukan analisa untuk mengetahui apakah kegiatan yang dilakukan telah efektif atau berhasil. Tentu saat pada analisis, diperlukan parameter untuk mengetahui kinerja dari turbin uap sehingga dihasilkanlah kesimpulan mengenai hasil dari *overhaul* tersebut.

Berdasarkan uraian diatas, penulis akan melakukan penelitian terhadap turbin pada Unit 1 PLTU Mamuju untuk mengetahui perbandingan kinerja turbin sebelum dan setelah dilakukannya *overhaul*. Oleh karena itu, penulis akan mengajukan judul skripsi “**Analisis Kinerja Turbin Uap Sebelum Dan Sesudah Overhaul Pada Unit 1 PLTU Mamuju**”.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan kinerja turbin unit 1 pada PLTU Mamuju sebelum dan sesudah dilakukan *overhaul* pada tahun 2022 ?
2. Bagaimana perbandingan efisiensi turbin unit 1 pada PLTU Mamuju sebelum dan sesudah dilakukan *overhaul* pada tahun 2022 ?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup penelitian ini adalah :

1. Turbin uap yang dianalisis adalah turbin uap Unit 1 PLTU Mamuju.
2. Data yang dianalisis merupakan data operasional tahun 2022 yang bersumber dari PLTU Mamuju .

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perbandingan kinerja turbin uap Unit 1 PLTU Mamuju sebelum dan sesudah *overhaul* pada tahun 2022.
2. Mengetahui perbandingan efisiensi turbin unit 1 pada PLTU Mamuju sebelum dan sesudah dilakukan *overhaul* pada tahun 2022.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Menambah pengetahuan mengenai kinerja turbin sebelum dan sesudah *overhaul* pada tahun 2022.
2. Dapat mengetahui perubahan efisiensi turbin unit 1 pada PLTU Mamuju sebelum dan sesudah dilakukan *overhaul* pada tahun 2022.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

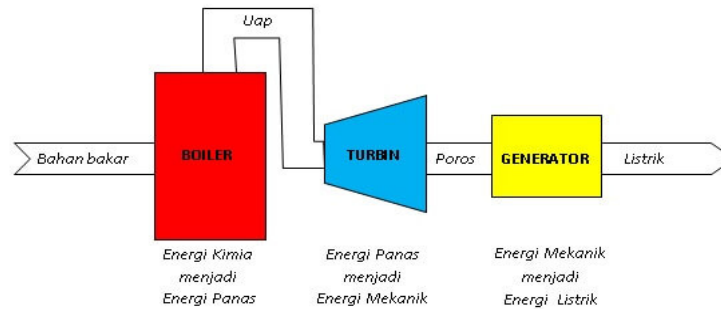
2.1 Pengertian Umum PLTU

Pembangkit listrik tenaga uap adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang di hubungkan ke turbin dimana untuk memutar turbin diperlukan energi kinetik dari uap panas atau kering. Dalam PLTU, energi primer yang dikonversikan menjadi energi listrik adalah bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan dapat berupa batubara (padat), minyak (cair), atau gas. Ada kalanya PLTU menggunakan kombinasi beberapa macam bahan bakar. Konversi energi tingkat pertama yang berlangsung dalam PLTU adalah konversi energi primer menjadi energi panas (kalor). (Hetharia, 2018 :2)

2.1.1. Proses Konversi Energi Pada PLTU

Proses konversi energi pada PLTU berlangsung melalui 3 tahapan, yaitu:

1. Pertama, energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi.
2. Kedua, energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.
3. Ketiga, energi mekanik diubah menjadi energi listrik.



Gambar 2. 1 Proses konversi energi pada PLTU

Sumber : Rizki, dkk. (2022)

2.1.2 Penggunaan Fluida Kerja

Menurut Erizal & Rumi (2019:68), PLTU menggunakan fluida kerja air uap yang bersirkulasi secara tertutup. Siklus tertutup artinya menggunakan fluida yang sama secara berulang-ulang. Urutan sirkulasinya secara singkat adalah sebagai berikut:

1. Pertama air diisikan ke boiler hingga mengisi penuh seluruh luas permukaan pemindah panas. Di dalam boiler air ini dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap.
2. Kedua, uap hasil produksi boiler dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran.
3. Ketiga, generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan, sehingga ketika turbin berputar dihasilkan energi listrik dari terminal output generator

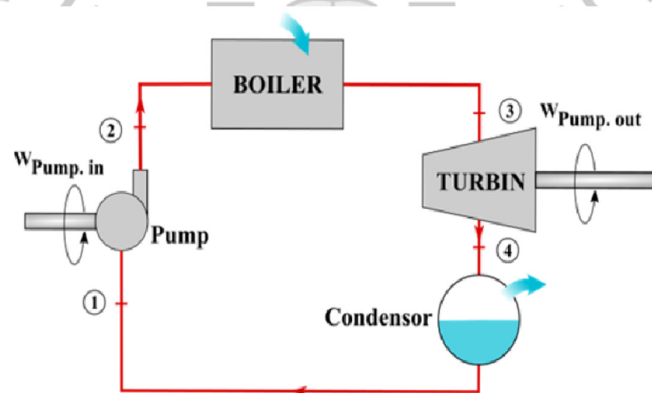
- Keempat, Uap bekas keluar dari turbin masuk ke kondensor untuk didinginkan dengan air pendingin agar berubah kembali menjadi air yang disebut air kondensat. Air kondensat hasil kondensasi uap kemudian digunakan lagi sebagai air pengisi boiler.

Demikian siklus ini berlangsung terus menerus dan berulang-ulang.

2.2 Siklus Rankine

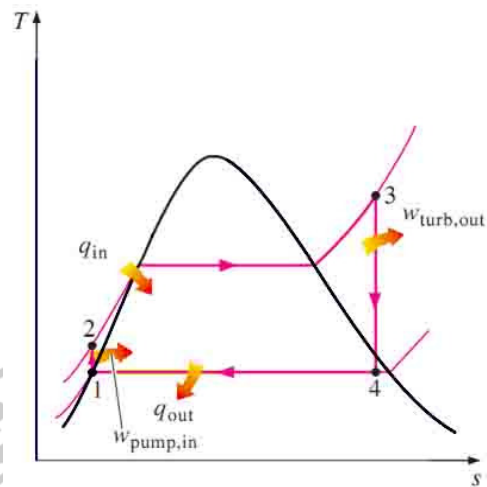
Siklus pembangkitan tenaga uap terdiri dari pompa, generator uap (*boiler*), turbin, dan kondenser dimana fluida kerjanya (umumnya adalah air) mengalami perubahan fasa dari cair (*liquid*) ke uap (*vapor*) atau sebaliknya selama menjalani siklus.

Siklus ideal yang mendasari siklus kerja dari suatu pembangkit daya uap adalah siklus Rankine. Siklus Rankine berbeda dengan siklus siklus udara ditinjau dari fluida kerjanya yang mengalami perubahan fase selama siklus pada saat evaporasi dan kondensasi. Perbedaan lainnya secara termodinamika siklus uap dibandingkan dengan siklus gas adalah bahwa perpindahan kalor pada siklus uap dapat terjadi secara isothermal. (Putera, 2012:15)



Gambar 2. 2 Peralatan Utama Siklus Rankine

sumber : Pratiwi dan Hadi (2022)



Gambar 2. 3 (a) Diagram P - v dan (b) T - s siklus Rankine

sumber : Pratiwi dan Hadi (2022)

Proses 1-2 : Fluida kerja atau air memasuki pompa, kemudian di-kompresi oleh pompa sehingga meningkatkan tekanan dari fluida kerja. Pada fase ini fluida kerja masih berwujud cair atau jenuh sehingga pompa tidak membutuhkan input tenaga yang terlalu besar. Secara ideal, pada proses ini tidak terjadi perubahan entropi.

Proses 2-3 : Fluida bertekanan tinggi dari hasil kompresi pada pompa masuk ke dalam boiler. Pada boiler ini, fluida secara isobaris (tidak ada perubahan tekanan fluida selama proses). Panas boiler didapatkan dari hasil pembakaran dari luar, seperti: pembakaran batubara, solar, maupun reaksi nuklir. Pada proses ini terjadi perubahan wujud fluida dari fase cair menjadi campuran, kemudian menjadi uap jenuh hingga uap lanjut (kondisi *superheated*)

Proses 3-4 : Uap bertekanan dan bertemperatur tinggi dari boiler ini masuk ke dalam turbin uap. Pada proses ini terjadi proses ekspansi secara

isentropik (ideal) akibat dari pergerakan turbin. Hal ini dikarenakan energi yang tersimpan di dalam uap air telah dikonversi menjadi energi gerak turbin. Yang menyerap energi dari uap menjadi kerja turbin. Pada proses ini terjadi penurunan tekanan pada fluida.

Proses 4-5 : Fluida keluar dari turbin dalam kondisi bertekanan rendah dengan wujud campuran maupun masih dalam kondisi uap. Kemudian fluida masuk dalam kondensor dan mengalami proses kondensasi (mengubah fluida menjadi cair maupun cair jenuh). Pada proses ini tidak terjadi perubahan tekanan fluida (Isobaris). Fluida ini nantinya akan kembali menuju pompa dan terus berlanjut.

Menurut Wakil (1992:29) dalam bukunya mengatakan bahwa Analisis siklus Rankine itu sederhana saja. Atas dasar satuan-massa uap siklus jenuh

Kalor yang ditambahkan $q_A = h_3 - h_2$ Btu/lb_m atau J/kg

Kerja turbin $w_T = h_3 - h_4$ Btu/lb_m atau J/kg

Kalor yang dibuang $|q_R| = h_4 - h_1$ Btu/lb_m atau J/kg

Kerja Pompa $|w_P| = h_2 - h_1$ Btu/lb_m atau J/kg

Efisiensi thermal siklus Rankine dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\eta_R = \frac{w_{cycle}}{q_H} = \frac{h_1 - h_2 + h_3 - h_4}{h_3 - h_2} = 1 - \frac{h_4 - h_1}{h_3 - h_2} \dots \dots \dots (2-1)$$

Back work ratio siklus Rankine dapat dituliskan sebagai berikut:

$$BWR = \frac{\frac{w_p}{\dot{m}}}{\frac{w_t}{\dot{m}}} = \frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_4} \dots \dots \dots (2-2)$$

Kerja siklus Rankine dapat dituliskan sebagai berikut:

$$w_{cycle} = h_2 - h_1 + h_3 - h_4 \dots\dots\dots (2-3)$$

Daya siklus Rankine dapat dituliskan sebagai berikut:

$$W_{cycle} = \dot{m} \times w_{cycle} \dots\dots\dots (2-4)$$

Kerja pompa dapat dituliskan sebagai berikut:

$$w_p = v_1(P_2 - P_1) \dots\dots\dots (2-5)$$

$$w_p = h_2 - h_1 \dots\dots\dots (2-6)$$

Daya pompa dapat dituliskan sebagai berikut:

$$W_p = \dot{m} \times w_p \dots\dots\dots (2-7)$$

2.3 Bagian-Bagian PLTU

PLTU adalah mesin pembangkit yang terdiri dari bagian utama dan peralatan penunjang / peralatan bantu. Bagian utama dari PLTU pada adalah:

a. Boiler

Boiler berfungsi untuk mengubah air (*feed water*) menjadi uap panas lanjut (*superheated steam*) yang akan digunakan untuk memutar turbin.

b. Turbin Uap

Turbin uap berfungsi untuk mengonversi energi panas yang dikandung oleh uap menjadi energi putar (energi mekanik). Poros turbin dikopel dengan poros generator sehingga ketika turbin berputar generator juga ikut berputar.

c. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk mengkondensasikan uap bekas dari turbin (uap

yang telah digunakan untuk memutar turbin).

d. Generator

Generator berfungsi untuk mengubah energi putar dari turbin menjadi energi listrik.

Sedangkan peralatan penunjang terdiri dari:

a. *Water Treatment Plant (WTP)*

Water Treatment Plant berfungsi sebagai proses kimiawi dengan cara mengikat unsur anion dan kation pada air baku dengan menggunakan resin yang berada pada sebuah Vesel (*mixbed polisher*) guna mendapatkan *conductivity* yang diharapkan.

b. *Water Cooling System*

Water Cooling System berfungsi sebagai pendingin untuk mendinginkan komponen-komponen atau peralatan-peralatan yang beroperasi pada unit pembangkit sehingga komponen atau peralatan tersebut terhindar dari kerusakan yang diakibatkan oleh panas yang berlebih (*over heating*).

c. *Coal Handling System*

Coal Handling System berfungsi menangani mulai dari pembongkaran batubara dari kapal/tongkang (*unloading area*) sampai ke area penimbunan/penyimpanan di *stock pile* ataupun langsung pengisian ke *bunker (power plant)*, yang selanjutnya digunakan untuk pembakaran di boiler.

d. *Ash Handling System*

Ash Handling System berfungsi untuk menampung abu sisa hasil

pembakaran dan kemudian disalurkan ke tempat pembuangan akhir (*ash valley*). Pada sistem *Ash Handling* abu dibagi menjadi dua yaitu *Fly Ash* (abu kering) dan *Bottom Ash* (abu basah).

Tiap-tiap komponen utama dan peralatan penunjang dilengkapi dengan sistem-sistem dan alat bantu yang mendukung kerja komponen tersebut. Gangguan atau *malfunction* dari salah satu bagian komponen utama akan dapat menyebabkan terganggunya seluruh sistem PLTU.

2.4 Turbin Uap

2.4.1 Jenis-Jenis Turbin Uap

1. Berdasarkan *Stage*

a. *Single stage*

Dalam turbin *single stage* atau satu tahap, uap dipercepat melalui satu riam diam nozel dan diarahkan ke sudu berputar pada roda turbin untuk menghasilkan tenaga. Desain Rateau memiliki satu baris *bucket* per tahap. Desain Curtis memiliki dua barisan *bucket* bertahap dan membutuhkan satu set baling-baling berputar antara yang pertama dan yang lainnya *bucket* ember baris kedua untuk mengarahkan aliran uap. Turbin satu tahap biasanya terbatas pada sekitar 2.500 HP dan untuk unit yang lebih besar butuh desain khusus. Di bawah 2500 HP, pilihan antara *single* dan *multi stage* biasanya aspek ekonomis. Turbin *single stage* memiliki harga lebih rendah namun membutuhkan lebih banyak uap daripada *multi stage* karena efisiensi turbin satu tahap yang lebih rendah.

b. *Multi Stage*

Disini sudu-sudu turbin dibuat bertingkat, biasanya cocok untuk daya besar. Pada turbin bertingkat terdapat deretan sudu 2 atau lebih. Sehingga turbin tersebut terjadi distribusi kecepatan / tekanan. Pada turbin dengan 3 tingkat misalnya, terdiri dari 3 sudu gerak yang terdapat pada poros. Uap dari nosel mengenai sudu-sudu yang akan mengerakkan poros berputar. Ketika uap melewati nosel pertama, kecepatan uap akan menaik, dan tekanan uap akan menurun. Penurunan tekanan akan diikuti dengan kenaikan volume spesifik uap. Uap mengekspansi sebagian energi ke sudu gerak dan meninggalkan nosel pertama, serta memasuki nosel ke 2, dimana uap mengekspansi sebagian energi lagi. Energi diekspansi pada tingkat ke 2 dan ke 3. Setelah uap melalui tingkat ke 3, dimana uap memberikan energinya untuk menghasilkan gerak, uap akan meninggalkan turbin sebagai uap ke luar. Ukuran sudu gerak setiap tingkat akan lebih besar dari tingkat sebelumnya seiring dengan dengan kenaikan volume spesifik uap

2. Berdasarkan Geometri Sudu

Dalam turbin uap, uap dengan entalpi tinggi (tekanan dan suhu tinggi) nozel masuk lebih luas (sudu stasioner) di mana energi kinetik meningkat dengan menghasilkan energi tekanan (peningkatan kecepatan karena penurunan tekanan). Energi kinetik (kecepatan tinggi) diubah menjadi energi mekanik (rotasi peningkatan poros torsi

atau kecepatan) dengan prinsip impuls dan reaksi.

Seperti dalam kasus selang pemadam kebakaran, aliran air yang dikeluarkan dari nozzle, kecepatannya meningkat, sehingga mendorong dengan kekuatan yang cukup besar. Turbin yang memanfaatkan gaya impulsif berkecepatan tinggi dari uap dikenal sebagai turbin impuls. Sementara air keluar dari nozel selang pemadam kebakaran meningkat kecepatannya karena adanya kekuatan reaksioner pada nozzle. Hal ini karena gaya reaksioner berlawanan arah dengan aliran air. Turbin yang menghasilkan gaya reaksi yang dihasilkan oleh aliran uap melalui nozel adalah reaksi turbin.

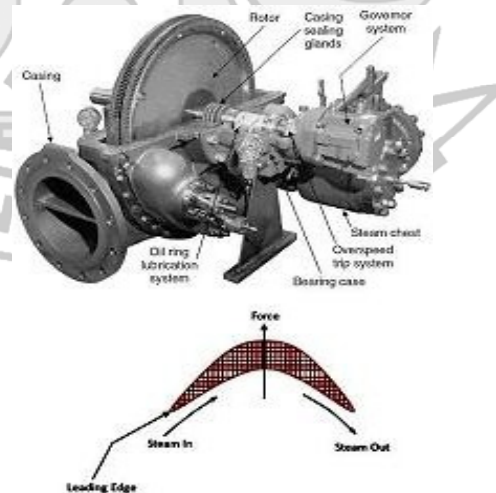
a. Turbin Impuls

Prinsip impuls adalah mengubah momentum aliran, yang diarahkan ke arah sudu yang bergerak oleh sudu stasioner. Dorongan kekuatan mendorong sudu bergerak ke depan. Energi ini diubah menjadi energi mekanik dengan memutar poros dalam nozel turbin. Energi kinetik yang akan dikonversi menjadi sudu menjadi energi mekanis dan ditransfer melalui rotor, poros dan kopleng ke beban. Penurunan enthalpi cukup tinggi untuk setiap sudu yang bergerak.

Turbin impuls memiliki satu *velocity-compounded* (kecepatan diserap oleh sudu) dan 4 *pressure-compounded*. Kecepatan diserap dalam 2 tahap melalui 2 baris awal dalam sudu.

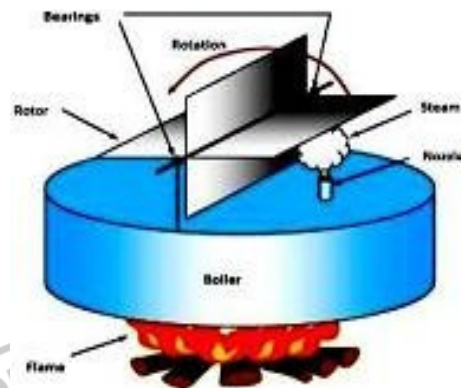
Dalam sudu yang bergerak kecepatan menurun sedangkan tekanan dipertahankan tetap. Sudu impuls biasanya simetris dan memiliki *input* dan *output* dengan sudut sekitar 20° . Mereka umumnya dipasang di bagian tekanan yang lebih tinggi pada bagian turbin di mana volume spesifik uap rendah dan membutuhkan area aliran yang lebih kecil, dibandingkan tekanan yang lebih rendah. Sudu impuls pendek dengan penampang konstan.

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



Gambar 2. 4 Single Stage Turbin Uap Cutaway

Sumber : Mustangin, dkk. (2018)



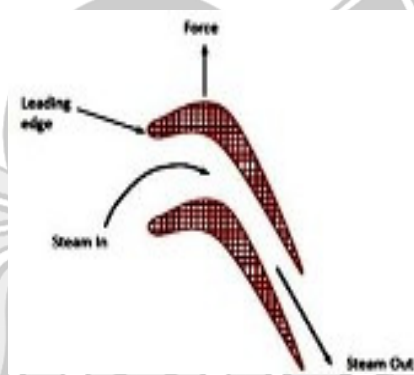
Gambar 2. 5 Prinsip Turbin Impuls

Sumber : Mustangin dkk, (2018)

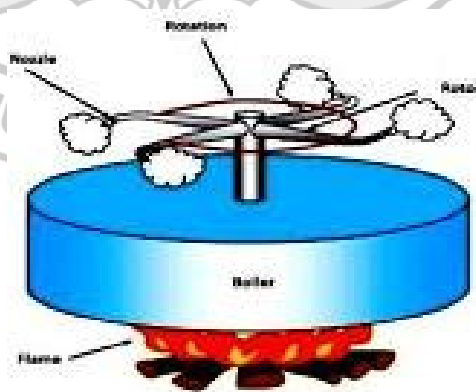
b. Turbin Reaksi

Prinsip turbin reaksi terdiri dari gaya reaksi pada sudu bergerak karena uap dipercepat melalui nozel. Nozel sebenarnya dibuat oleh sudu. Dalam turbin reaksi, tidak ada nozzle untuk mengubah energi uap menjadi energi mekanik. Setiap tahap turbin terdiri dari seperangkat sudu stasioner dan deretan putaran sudu pada poros. Sudu yang bergerak bekerja karena perbedaan tekanan antara uap depan dan di belakang sudu yang bergerak. Karena ada penurunan tekanan terus menerus di setiap tahap, uap diterima sekitar seluruh keliling sudu sehingga sudu stasioner membentang di seluruh lingkaran. Uap melewati sudu stasioner yang mengarahkan uap ke sudu yang berputar. Saat uap lewat sudu berputar ini, ada penurunan tekanan dari sisi input ke sisi output yang meningkatkan kecepatan uap dan menghasilkan rotasi oleh reaksi uap pada sudunya.

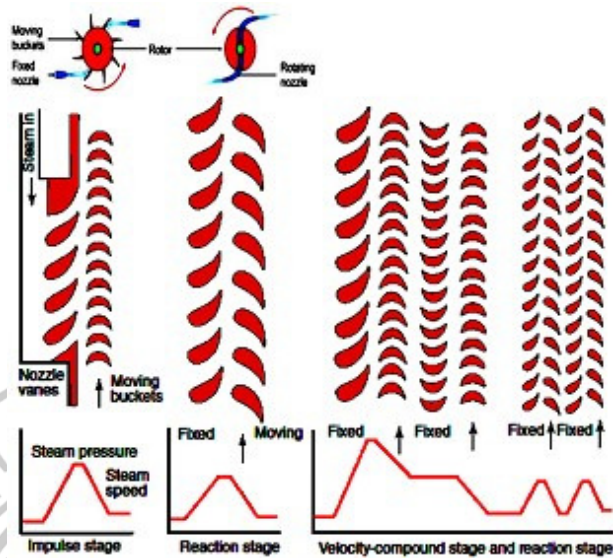
Secara umum, turbin reaksi tidak berdiri sendiri, tetapi bekerja di belakang turbin impuls apakah dibangun dalam satu rotor atau pada rotor yang terpisah, tetapi masih terhubung dengan kopling. Tujuan dari turbin impuls adalah untuk mengontrol kecepatan dan mengurangi entalpi uap ke tingkat yang ditentukan. Turbin reaksi hanya menerima kondisi uap dari sudu impuls. Tahap reaksi didahului oleh tahap impuls kecepatan majemuk awal di mana penurunan tekanan besar terjadi. Ini menghasilkan turbin yang lebih pendek dan lebih murah.



Gambar 2. 6 Penampang sudu turbin reaksi
Sumber : Mustangin dkk, (2018)

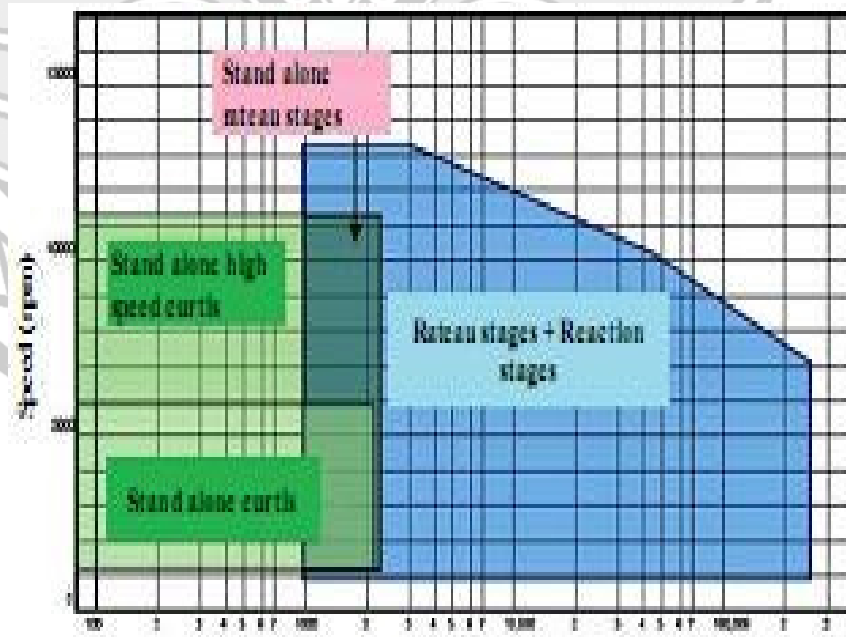


Gambar 2. 7 Prinsip turbin reaksi
Sumber : Mustangin dkk, (2018)



Gambar 2. 8 Diagram perbedaan turbin reaksi dan impuls
 Sumber : Mustangin dkk, (2018)

Kisaran pengoperasian turbin uap dapat ditampilkan dalam grafik Kecepatan - Daya seperti gambar berikut.



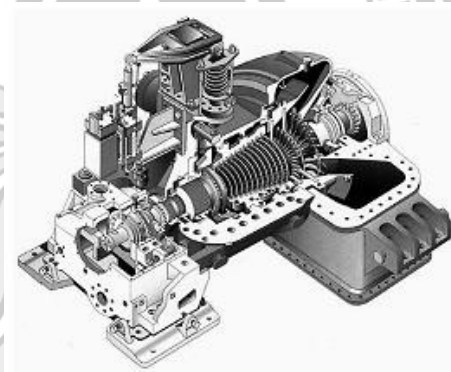
Gambar 2. 9 Area operasional turbin uap
 Sumber : Mustangin dkk, (2018)

3. Berdasarkan Suplai Uap

Saat menentukan turbin sesuai kebutuhan dan kondisi gas buang, mereka dikategorikan sebagai kondensasi (*condensing*) dan non-kondensasi (*non condensing*) atau tekanan balik (*back pressure*), *reheat-condensing*, dan ekstraksi serta induksi.

a. Turbin *condensing*

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

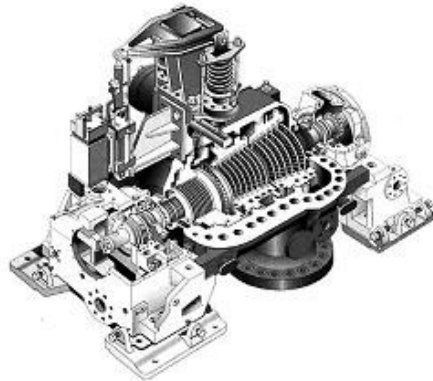


Gambar 2. 10 Turbin *Condensing*

Sumber : Mustangin dkk, (2018)

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

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



Gambar 2. 11 Turbin *non condensing*

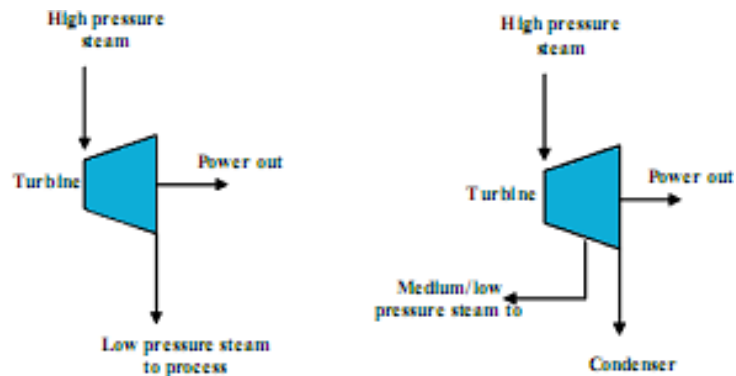
Sumber : Mustangin dkk, (2018)

c. Turbin kondensasi panas ulang (Condensing reheat Turbine).

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

d. Turbin ekstraksi dan induksi.

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



Gambar 2. 12 Turbin *Backpressure* dan *Ekstraksi*

Sumber : Mustangin dkk, (2018)

4. *Casing* atau pengaturan poros.

Turbin uap juga diklasifikasikan berdasarkan susunan selubung atau porosnya sebagai tunggal, *tandem-compound*, atau *cross-compound* dan dijelaskan sebagai berikut:

a. *Casing* tunggal.

Ini adalah pengaturan dasar untuk unit yang lebih kecil, di mana menggunakan satu *casing* dan poros.

b. *Casing Tandem-compound*.

Pengaturan ini memiliki dua atau lebih selubung pada satu poros yang menggerakkan generator.

c. *Casing cross-compound*.

Pengaturan ini memiliki dua atau lebih poros dengan masing-masing poros menggerakkan generator. Unit-unit ini ditemukan dalam pembangkit utilitas listrik besar.

2.4.2 Komponen Turbin

a. Rotor Turbin

Secara umum turbin mempunyai hubungan dengan putaran, maka tentunya ada bagian yang berputar atau biasa disebut rotor. Rotor terdiri dari beberapa sudu yang diserut/diikat sehingga membentuk seperti lingkaran dan ditengah-tengahnya ada poros untuk tempat kedudukan untuk sudu-sudu tadi, sehingga membentuk menyerupai kincir. Rotor Turbin ini terdiri dari kumpulan beban sudu terikat dan ditata secara bertingkat dari mulai terkecil sampai yang terbesar.

b. Stator Turbin

Pada turbin dan sudu antar dan sudu jalan, dan kumpulan dari beberapa sudu tetap inilah yang dinamakan stator turbin. Adapun letaknya diantara sudu jalan sedang ditingkat awal/pertama disebut nozzle, dan bentuknya mirip dengan sudu tetap.

c. *Casing* Turbin (Rumah Turbin)

Rumah turbin adalah *cover* atau tutup sudu putar dan sudu tetap, sehingga terjadi gerak turbin ketika dialiri uap. Adapun *casing* ada dua macam yaitu *casing* ganda dan *casing* tunggal (pejal). Pada turbin dengan daya yang besar umumnya dipakai *casing* ganda yaitu untuk mempercepat *warming up* pada saat *start up* unit dari kondisi awal (*cool start*).

d. *Guidance Blade* (Sudu Antar)

Sudu antar bertugas untuk membalikan arah atau mengantarkan energi panas dari sudu jalan ke sudu gerak, dan tempat kedudukannya tidak berubah, menurut bentuknya hampir mirip dengan sudu jalan yang ada didekatnya.

e. *Moving Blade* (Sudu Bergerak)

Sudu jalan ini bertugas menerima energi panas dari sudu antar, karena tempatnya pada rotor turbin yang ditumpu oleh bantalan-bantalan maka sudu ini akan berputar.

f. *Control Valve*

Control valve berfungsi untuk mengatru atau mengontrol energi panas yang dibutuhkan oleh turbin.

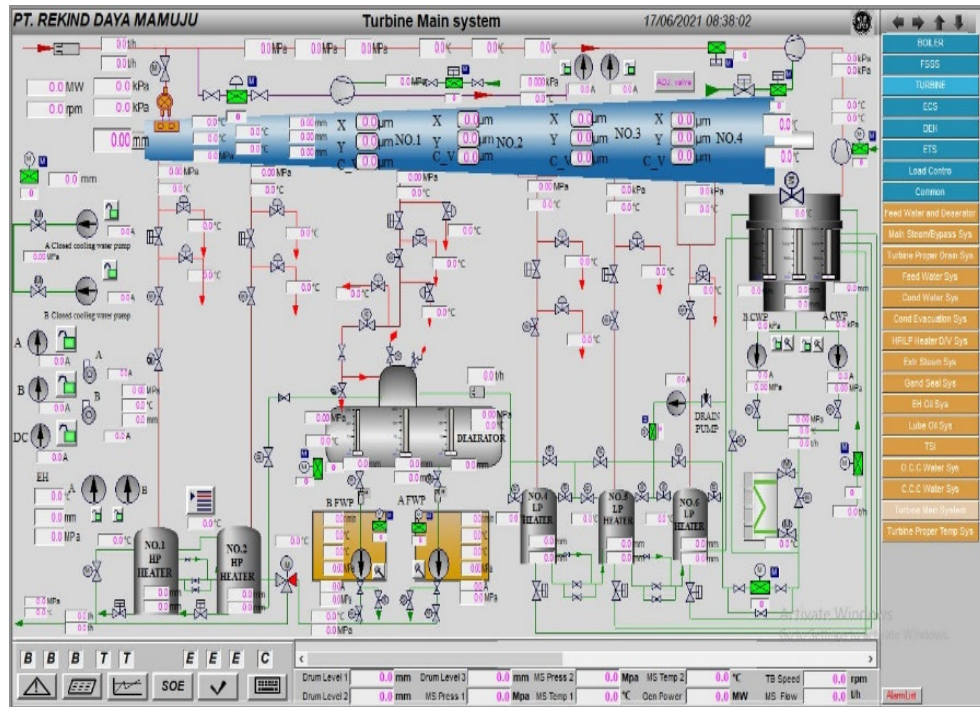
g. *Reheat Stop Valve*

Reheat stop valve digunakan untuk menutup aliran uap dari *reheat* dengan cepat apabila terjadi gangguan sistem dan juga sebagai pengaman turbin.

h. *Bearing*

Bantalan ini digunakan untuk menumpu poros rotor turbin dan generator. Agar tidak terjadi kontak pada permukaan antara dua logam maka bantalan itu diberi pelumas *oil fil*, sehingga akan didapatkan putaran yang maksimal (kerugian geseknya 0). Pasokan pelumas tersebut didapat dari sistem pelumasan

2.4.3 Parameter Kinerja Turbin



Gambar 2. 13 Tampilan CCR Turbin PLTU Barru

Sumber : PLTU Mamuju (2023)

a. Entalpi

Entalpi adalah kaidah dalam termodinamika yang menyatakan jumlah energi dalam, volume dan tekanan panas dari suatu zat yang digunakan guna melakukan kerja. Usaha adalah tenaga yang diserahkan oleh sistem didalam melakukan kerja(W). usaha merupakan selisih nilai entalpi yang masuk dengan entalpi yang keluar.(Puspawan, 2019)

$$H = U + pV \dots\dots\dots (2-8)$$

$$h = u + pv \dots\dots\dots (2-9)$$

Ket :

H = Entalpi sistem (Joule)

U = Energi dalam (Joule)

p = Tekanan (Pa)

V = volume sistem (m³)

h = Entalpi spesifik (Joule)

u = Energi spesifik (Joule)

v = volume spesifik (m³)

1. Kinerja Turbin Kondisi Aktual

Kondisi turbin kondisi aktual menjelaskan bagaimana kinerja turbin sesuai dengan keadaan sebenarnya yang terjadi pada lapangan / sistem. Sehingga didapatkan hasil yang sesuai dengan data yang muncul di system operasi.

$$\begin{aligned} \frac{W_a}{\dot{m}} = & (h_{1a} - h_{2a}) + (h_{2a} - h_{3a}) + (h_{3a} - h_{4a}) + \\ & (h_{4a} - h_{5a}) + (h_{5a} - h_{6a}) + (h_{6a} - h_{7a}) + \\ & (h_{7a} - h_{8a}) \dots\dots\dots (2-10) \end{aligned}$$

Ket :

W_a = Kerja turbin secara aktual (kJ/kg)

ṁ = Laju aliran uap (kg/h)

h_{1a} = Entalpi aktual masuk turbin (kJ/kg)

h_{2a} = Entalpi aktual keluaran ekstraksi 1 (kJ/kg)

h_{3a} = Entalpi aktual keluaran ekstraksi 2 (kJ/kg)

h_{4a} = Entalpi aktual keluaran ekstraksi 3 (kJ/kg)

h_{5a} = Entalpi aktual keluaran ekstraksi 4 (kJ/kg)

h_{6a} = Entalpi aktual keluaran ekstraksi 5 (kJ/kg)

h_{7a} = Entalpi aktual keluaran ekstraksi 6 (kJ/kg)

h_{8a} = Entalpi aktual keluaran kondensor (kJ/kg)

2. Kinerja Turbin Kondisi Isentropis

Kinerja turbin kondisi isentropis merupakan kinerja ideal / usaha yang seharusnya dihasilkan oleh turbin, dimana untuk mendapatkan kinerja isentropis diperlukan parameter sebagai berikut :

$$\frac{W_s}{\dot{m}} = (h_{1s} - h_{2s}) + (h_{2s} - h_{3s}) + (h_{3s} - h_{4s}) + (h_{4s} - h_{5s}) + (h_{5s} - h_{6s}) + (h_{6s} - h_{7s}) + (h_{7s} - h_{8s}) \dots\dots\dots (2-11)$$

$$h_s = h_f + x (h_{fg}) \dots\dots\dots (2-12)$$

$$x = \frac{s_1 - s_f}{s_{fg}} \dots\dots\dots (2-13)$$

Ket :

W_s = Kerja turbin secara isentropik (kJ/kg)

\dot{m} = Laju aliran uap (kg/h)

h_{1s} = Entalpi isentropik masuk turbin (kJ/kg)

h_{2s} = Entalpi keluaran ekstraksi 1 isentropik (kJ/kg)

h_{3s} = Entalpi keluaran ekstraksi 2 isentropik (kJ/kg)

h_{4s} = Entalpi keluaran ekstraksi 3 isentropik (kJ/kg)

h_{5s} = Entalpi keluaran ekstraksi 4 isentropik (kJ/kg)

h_{6s} = Entalpi aktual keluaran ekstraksi 5 isentropik (kJ/kg)

h_{7s} = Entalpi aktual keluaran ekstraksi 6 isentropik (kJ/kg)

h_{8s} = Entalpi aktual menuju kondensor isentropik (kJ/kg)

h_s = Entalpi spesifik (kJ/kg)

h_f = Entalpi cairan jenuh (kJ/kg)

h_{fg} = selisih h_f dan h_g (kJ/kg)

x = fraksi kekeringan uap

s_1 = entropi (kJ/kg.K)

s_f = entropi cairan jenuh (kJ/kg.K)

s_{fg} = selisih h_f dan h_g (kJ/kg)

b. Kualitas Uap

Kualitas uap merupakan mutu uap yang dinyatakan dengan fraksi massa air dalam bentuk gas di dalam uap. Kualitas uap juga digunakan dalam perhitungan entalpi keluaran turbin. Diperlukan nilai entropi untuk mengetahui nilai dari kualitas uap ini sendiri.

$$x = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = \frac{s - s_f}{s_{fg}} \dots\dots\dots (2-13)$$

Ket :

x = Nilai fraksi kekeringan uap

s = Entropi turbin (kJ/kg)

s_{fg} = Entropi turbin kondisi fluida gas (kJ/kg.K)

s_g = Entropi uap/gas (kJ/kg.K)

s_f = Entropi cairan jenuh (kJ/kg.K)

c. *Steam Rate*

Steam rate adalah besaran jumlah uap guna membangkitkan setiap energi listrik, biasanya dinilai setiap kilowatt dalam jam (kWh) dengan membandingkan laju aliran uap terhadap daya generator.

$$SR = \frac{\dot{m}}{P_{generator}} \dots\dots\dots (2-14)$$

Ket :

- SR = *Steam Rate* (T/MW)
- \dot{m} = Laju aliran uap (T/H)
- $P_{generator}$ = Daya generator (MW)

d. Efisiensi Isentropik Turbin.

Efisiensi isentropik turbin adalah perbandingan antara kinerja aktual peralatan dengan kinerja ideal turbin. Hal ini biasanya dilampirkan dalam bentuk persentase guna mengetahui besaran efektifitas kinerja turbin. (Puspawan, 2019)

$$\eta_i = \frac{W_a}{W_s} \times 100 \dots\dots\dots (2-15)$$

Ket :

- η_i = Efisiensi isentropik (%)
- W_a = Kerja turbin aktual (kJ/kg)
- W_s = Kerja turbin isentropik (kJ/kg)

e. Efisiensi Mekanis Turbin Uap

Efisiensi mekanis turbin uap dapat diketahui dengan cara membandingkan daya generator dengan kinerja turbin. Hal ini akan

menunjukkan seberapa baik proses konversi energi mekanik menjadi energi listrik.

$$\eta_{mekanis} = \frac{P_{generator}}{W_t} \times 100\% \dots\dots\dots (2-16)$$

Ket :

$\eta_{mekanis}$ = Efisiensi isentropik (%)

$P_{generator}$ = Daya Generator (MW)

W_T = Kerja turbin (kJ/kg)

2.5 Tinjauan Literatur

Proses *overhaul* dilakukan dengan proses pengecekan setiap komponen-komponen pada turbin dengan cara membuka bagian yang ada pada turbin secara total. Hal ini bertujuan menjaga performa turbin agar tetap stabil atau pada performa maksimal. Proses *overhaul* dilakukan untuk meningkatkan kinerja turbin dengan mengganti atau melakukan perbaikan di beberapa komponen turbin uap (Prastyo dan Dhamayanthie, 2022).

Pada salah satu contoh kasus mengenai perbandingan kinerja turbin uap sebelum dan sesudah *overhaul* dapat dilihat pada kinerja aktual turbin uap di PLTP Darajat sebelum *overhaul* 506,598 [kJ/kg], dan setelah *overhaul* turbin kinerja turbin 513,837 [kJ/kg]. Dampak dari *overhaul*, turbin mengalami kenaikan kinerja sebesar 1,43%. Turbin menghasilkan kinerja rata-rata 506,598 [kJ/kg] sebelum *overhaul* dan menghasilkan beban 51,66 [MW], sedangkan setelah *overhaul* turbin menghasilkan kinerja 513,837 [kJ/kg] dan menghasilkan beban 54,87 [MW]. Jadi dapat

disimpulkan bahwa kinerja turbin berbanding lurus terhadap beban generator (Nurfitria dkk., 2018)

Fadilatul Uswah pada tahun 2018 dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis Performa Turbin Uap Di BTG 2 PT. Semen Tonasa” menyimpulkan bahwa performa turbin C pada BTG 2 rata-rata yang diperoleh selama kurang lebih tiga bulan data beroperasi untuk nilai efisiensi isentropik sebesar 64.37% dan efisiensi mekaniknya 79.40%. Performa turbin D pada BTG 2 rata-rata yang diperoleh selama kurang lebih tiga bulan data beroperasi untuk nilai efisiensi isentropik sebesar 65.07% dan efisiensi mekaniknya 82.31%.

2.6 Sekilas PLTU Mamuju



Gambar 2. 14 PLTU Mamuju

sumber : PLTU Mamuju (2023)

PT. Rekind Daya Mamuju (RDM) adalah perusahaan yang didirikan dengan tujuan untuk membangun, memiliki dan mengoperasikan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), dengan kapasitas 2X25 MW di Mamuju yang berada di kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat untuk disalurkan kepada PT.

Perusahaan Listrik Negara (PLN). PT. Rekind Daya Mamuju didirikan berdasarkan Akta Notaris Nomor 6 Tanggal 21 Februari 2013 yang dibuat dihadapan Notaris Nurul Larasati, SH di Jakarta yang telah disetujui oleh Menteri Hukum dan Hak Asasi Manusia dengan Nomor Keputusan AHU-56700.AH.01.01 pada tanggal 7 November 2013.

Nama	: PT Rekind Daya Mamuju Pembangkit Listrik Tenaga Uap 2 X 25 MW
<i>Type of bussines</i>	: <i>Power Generation Site Office</i>
Alamat	: Dusun Talaba, Desa Belang-Belang, Kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat
No. Telepon	: 021 83789152, 021 83785961, 021 83787760
Fax	: 021 8307578
<i>Website</i>	: www.rdm.co.id
<i>E-mail</i>	: info@rdm.co.id
Luas Lokasi	: ±31,9 ha
Jenis Pembangkit	: PLTU Batu Bara untuk disalurkan kepada PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN)
Jumlah Unit	: 2 Unit
Kapasitas	: 2 X 25 MW
Jenis Bahan Bakar	: Batu Bara
Kebutuhan bahan bakar	: ±21.000 Ton/bulan
Sistem pengiriman	: Kapal Tongkang
Sistem penyimpanan	: Coal Yard

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

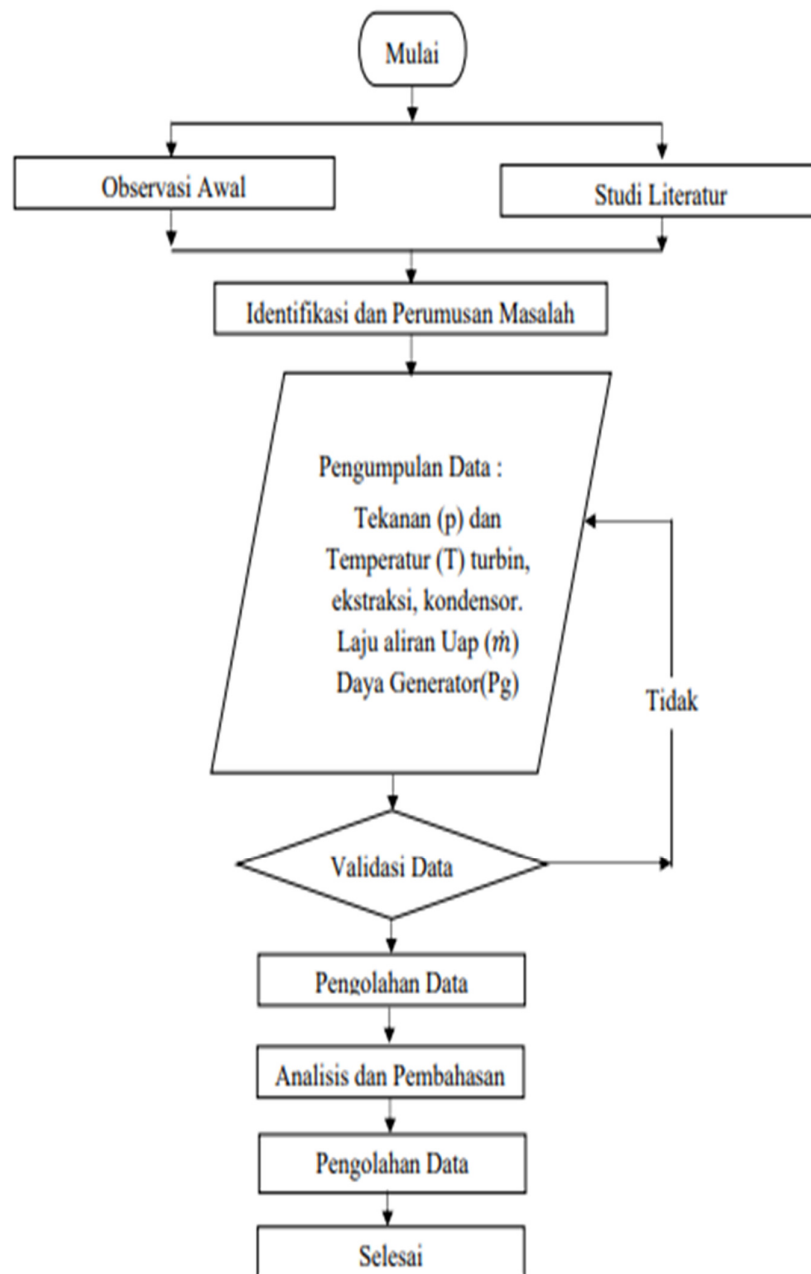
Tempat penelitian dilaksanakan pada Unit 1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Mamuju 2×25 MW. Waktu pelaksanaan penelitian ini dimulai pada bulan Maret hingga bulan Juli 2023 sesuai tabel dibawah:

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Seminar Proposal		■																						
2	Revisi Proposal			■	■	■	■																		
3	Pengumpulan Data						■	■	■																
4	Pengolahan Data									■	■	■	■	■	■										
5	Analisis Data															■	■	■	■						
6	Asistensi Laporan																	■	■	■	■	■			
7	Seminar Hasil																							■	■

3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri atas beberapa langkah. Adapun langkah-langkah tersebut dapat ditunjukkan berdasarkan flowchart berikut:



3.3.Data Yang Diperlukan

Data yang diperlukan untuk melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

W_a = Kinerja turbin kondisi aktual (kJ/kg)

W_s = Kinerja turbin kondisi isentropik (kJ/kg)

\dot{m} = Laju aliran massa (kg/s)

p = Tekanan (bar)

T = Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

h = Entalpi (kJ/kg)

x = Fraksi uap (%)

S = Entropi (kJ/kg.K)

P_g = Daya Generator (MW)

η = Efisiensi (%)

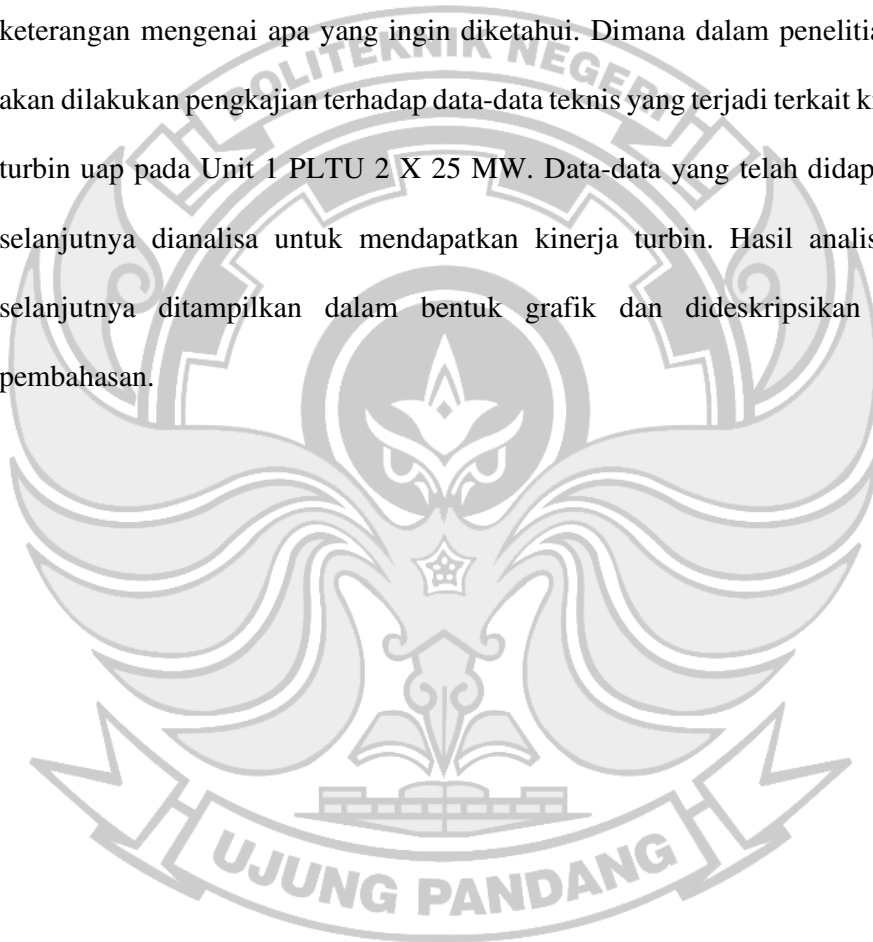
SR = *Steam Rate*

3.4 Teknik Pengumpulan Data

- Metode studi literatur dan studi pustaka, dengan membaca buku ataupun literatur pendukung yang tersedia pada banyak sumber. Selanjutnya dibandingkan dengan keadaan nyata yang ada di lapangan.
- Metode Observasi, dengan mengadakan pengamatan langsung terhadap proses pemeliharaan dan sistem yang ada pada PLTU Mamuju.
- Metode wawancara, mengumpulkan data dengan cara melakukan wawancara atau diskusi dengan narasumber dari perusahaan yang memiliki pengetahuan mengenai sistem yang ada di PLTU Mamuju.

3.5 Teknik Analisis Data

Pada penelitian ini menggunakan metode analisa deskriptif kuantitatif dikarenakan penelitian ini disajikan dalam bentuk angka-angka hasil perhitungan. Penelitian kuantitatif adalah suatu proses menemukan pengetahuan yang menggunakan data berupa angka sebagai alat menganalisis keterangan mengenai apa yang ingin diketahui. Dimana dalam penelitian ini akan dilakukan pengkajian terhadap data-data teknis yang terjadi terkait kinerja turbin uap pada Unit 1 PLTU 2 X 25 MW. Data-data yang telah didapatkan selanjutnya dianalisa untuk mendapatkan kinerja turbin. Hasil analisa ini selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik dan dideskripsikan pada pembahasan.



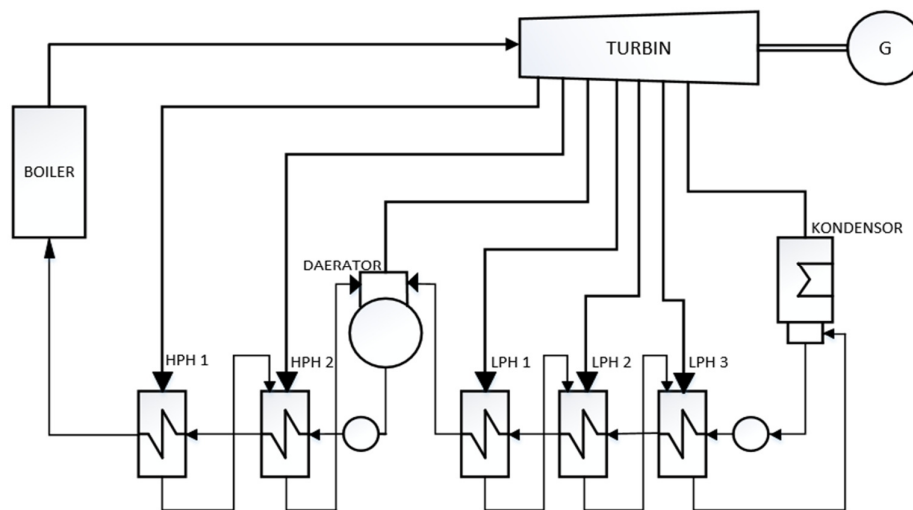
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis kinerja turbin uap sebelum *overhaul*

Hasil perhitungan kinerja turbin menggunakan data operasional turbin 1 pada tanggal 18 Maret 2022 sampai 17 April 2022 yang telah dirata-ratakan :

Asumsi :

1. Setiap komponen siklus dianalisis sebagai volume control yang beroperasi dalam keadaan tunak.
2. Pengaruh energi kinetik dan energi potensial diabaikan.
3. Turbin, pompa, dan pemanas air umpan beroperasi secara adiabatik.
4. Titik pengambilan data bersumber dari dalam turbin, termasuk *inlet* dan *outlet*.



Gambar 4. 1 Diagram Turbin dan Ekstraksi PLTU Mamuju

4.1.1 Kinerja Turbin

a. Kinerja Turbin Kondisi Aktual

Untuk memulai analisis, perlu diketahui nilai entalpi pada setiap titik. Dengan menggunakan tabel uap maka nilai entalpi dapat diketahui. Dimulai pada sisi masukan turbin uap A-4 pada $P_0 = 89,036$ bar dan $T_0 = 525,737$ °C diperoleh $h_0 = 3452,98$ kJ/kg.

Kemudian pada sisi ekstraksi 1 (HPH 1) pada $P_1 = 18,461$ bar dan $T_1 = 366,221$ °C diperoleh $h_1 = 3176,7$ kJ/kg.

Kemudian pada sisi ekstraksi 2 (HPH 2) pada $P_2 = 12,206$ bar dan $T_2 = 317,598$ °C diperoleh $h_2 = 3083,95$ kJ/kg.

Kemudian pada sisi ekstraksi 3 (Daerator) pada $P_3 = 7,800$ bar dan $T_3 = 265,575$ °C diperoleh $h_3 = 2984,48$ kJ/kg.

Kemudian pada sisi ekstraksi 4 (LPH 1) pada $P_4 = 4,053$ bar dan $T_4 = 299,938$ °C diperoleh $h_4 = 3066,82$ kJ/kg.

Kemudian pada sisi ekstraksi 5 (LPH 2) pada $P_5 = 1,916$ bar dan $T_5 = 121,494$ °C diperoleh $h_5 = 2709,96$ kJ/kg.

Kemudian pada sisi ekstraksi 6 (LPH 3) pada $P_6 = 0,408$ bar dan $T_6 = 84,488$ °C diperoleh $h_6 = 2653,09$ kJ/kg.

Kemudian pada Kondensor pada $P_7 = 0,133$ dan $T_7 = 50,510$ °C diperoleh $h_7 = 2378,32$ kJ/kg.

Sehingga:

$$\begin{aligned}
\frac{W_t}{\dot{m}} &= (h_0 - h_1) + (h_1 - h_2) + (h_2 - h_3) + (h_3 - h_4) \\
&\quad + (h_4 - h_5) + (h_5 - h_6) + (h_6 - h_7) \\
&= (3452,98 - 3176,7) \text{ kJ/kg} + (3176,7 - 3083,95) \text{ kJ/kg} \\
&\quad + (3083,95 - 2984,48) \text{ kJ/kg} \\
&\quad + (2984,48 - 3066,82) \text{ kJ/kg} \\
&\quad + (3066,82 - 2709,96) \text{ kJ/kg} \\
&\quad + (2709,96 - 2653,09) \text{ kJ/kg} \\
&\quad + (2653,09 - 2378,32) \text{ kJ/kg} \\
&= 1074,66 \text{ kJ/kg}
\end{aligned}$$

b. Kinerja Turbin Kondisi Isentropis

Untuk memulai analisis, perlu diketahui nilai entalpi pada setiap titik. Dengan menggunakan tabel uap maka nilai entalpi dapat diketahui. Dimulai pada sisi masukan turbin uap A-4 pada $P_0 = 89,036$ bar dan $T_0 = 525,737$ °C diperoleh nilai entropi $s_0 = 6,75$ kJ/kg.K.

Untuk Inlet Turbin diketahui $P_0 : 89,036$ bar, sehingga :

$$\begin{aligned}
s_f &: 3,277 \text{ kJ/kg.K} & h_f &: 1358,097 \text{ kJ/kg} \\
s_g &: 5,684 \text{ kJ/kg.K} & h_{fg} &: 1384,949 \text{ kJ/kg} \\
s_{fg} &: 2,407 \text{ kJ/kg.K}
\end{aligned}$$

Kemudian akan didapatkan fraksi kekeringan uap :

$$x = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = \frac{s - s_f}{s_{fg}}$$

$$x = \frac{6,75 \text{ kJ/kg.K} - 3,277 \text{ kJ/kg.K}}{2,407 \text{ kJ/kg.K}}$$

$$x = 1,44$$

Kemudian akan didapatkan entalpi pada titik tersebut, yaitu :

$$h_{0s} = hf + x \cdot hfg$$

$$h_{0s} = 1358,097 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + \left(1,44 \cdot 1384,949 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$h_{0s} = 3356,405 \text{ kJ/kg}$$

Untuk HPH 1 diketahui $P_1 : 18,461 \text{ bar}$, sehingga :

$$s_f : 2,409 \text{ kJ/kg.K} \quad h_f : 890,050 \text{ kJ/kg}$$

$$s_g : 6,371 \text{ kJ/kg.K} \quad h_{fg} : 1907,507 \text{ kJ/kg}$$

$$s_{fg} : 3,962 \text{ kJ/kg.K}$$

Kemudian akan didapatkan fraksi kekeringan uap :

$$x = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = \frac{s - s_f}{s_{fg}}$$

$$x = \frac{6,75 \text{ kJ/kg.K} - 2,409 \text{ kJ/kg.K}}{3,962 \text{ kJ/kg.K}}$$

$$x = 1,095$$

Kemudian akan didapatkan entalpi pada titik tersebut, yaitu :

$$h_1 = hf + x \cdot hfg$$

$$h_{1s} = 890,050 \text{ kJ/kg} + (1,095 \cdot 1907,507 \text{ kJ/kg})$$

$$h_{1s} = 2978,77 \text{ kJ/kg}$$

Untuk HPH 2 diketahui $P_2 : 12,206$ bar, sehingga :

$$\begin{aligned} s_f &: 2,223 \text{ kJ/kg.K} & h_f &: 801,735 \text{ kJ/kg} \\ s_g &: 6,518 \text{ kJ/kg.K} & h_{fg} &: 1983,598 \text{ kJ/kg} \\ s_{fg} &: 4,295 \text{ kJ/kg.K} \end{aligned}$$

Kemudian akan didapatkan fraksi kekeringan uap :

$$x = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = \frac{s - s_f}{s_{fg}}$$
$$x = \frac{6,75 \text{ kJ/kg.K} - 2,223 \text{ kJ/kg.K}}{4,295 \text{ kJ/kg.K}}$$

$$x = 1,054$$

Kemudian akan didapatkan entalpi pada titik tersebut, yaitu :

$$h_{2s} = h_f + x \cdot h_{fg}$$

$$h_{2s} = 801,735 \text{ kJ/kg} + (1,054 \cdot 1983,598 \text{ kJ/kg})$$

$$h_{2s} = 2892,48 \text{ kJ/kg}$$

Untuk Daerator diketahui $P_3 : 121,49$ bar, sehingga :

$$\begin{aligned} s_f &: 2,035 \text{ kJ/kg.K} & h_f &: 716,273 \text{ kJ/kg} \\ s_g &: 6,672 \text{ kJ/kg.K} & h_{fg} &: 2051,727 \text{ kJ/kg} \\ s_{fg} &: 4,637 \text{ kJ/kg.K} \end{aligned}$$

Kemudian akan didapatkan fraksi kekeringan uap :

$$x = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = \frac{s - s_f}{s_{fg}}$$

$$x = \frac{6,75 \text{ kJ/kg.K} - 2,035 \text{ kJ/kg.K}}{4,637 \text{ kJ/kg.K}}$$

$$x = 1,017$$

Kemudian akan didapatkan entalpi pada titik tersebut, yaitu :

$$h_{3s} = hf + x.hfg$$

$$h_{3s} = 716,273 \text{ kJ/kg} + (1,017 \cdot 2051,727 \text{ kJ/kg})$$

$$h_{3s} = 2802,513 \text{ kJ/kg}$$

Untuk LPH 1 diketahui $P_4 : 4,053 \text{ bar}$, sehingga :

$$s_f : 1,779 \text{ kJ/kg.K} \quad h_f : 605,681 \text{ kJ/kg}$$

$$s_g : 6,895 \text{ kJ/kg.K} \quad h_{fg} : 2133,018 \text{ kJ/kg}$$

$$s_{fg} : 5,116 \text{ kJ/kg.K}$$

Kemudian akan didapatkan fraksi kekeringan uap :

$$x = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = \frac{s - s_f}{s_{fg}}$$

$$x = \frac{6,75 \text{ kJ/kg.K} - 1,779 \text{ kJ/kg.K}}{5,116 \text{ kJ/kg.K}}$$

$$x = 0,972$$

Kemudian akan didapatkan entalpi pada titik tersebut, yaitu :

$$h_{4s} = hf + x.hfg$$

$$h_{4s} = 605,681 \text{ kJ/kg} + (0,972 \cdot 2133,018 \text{ kJ/kg})$$

$$h_{4s} = 2678,244 \text{ kJ/kg}$$

Untuk LPH 2 diketahui $P_5 : 1,916 \text{ bar}$, sehingga :

$$s_f : 1,514 \text{ kJ/kg.K} \quad h_f : 498,409 \text{ kJ/kg}$$

$$s_g : 7,143 \text{ kJ/kg.K} \quad h_{fg} : 2206,05 \text{ kJ/kg}$$

$$s_{fg} : 5,629 \text{ kJ/kg.K}$$

Kemudian akan didapatkan fraksi kekeringan uap :

$$x = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = \frac{s - s_f}{s_{fg}}$$

$$x = \frac{6,75 \text{ kJ/kg.K} - 1,514 \text{ kJ/kg.K}}{5,629 \text{ kJ/kg.K}}$$

$$x = 0,93$$

Kemudian akan didapatkan entalpi pada titik tersebut, yaitu :

$$h_{5s} = hf + x \cdot hfg$$

$$h_{5s} = 498,409 \text{ kJ/kg} + (0,93 \cdot 2206,05 \text{ kJ/kg})$$

$$h_{5s} = 2550,44 \text{ kJ/kg}$$

Untuk LPH 3 diketahui $P_6 : 0,408 \text{ bar}$, sehingga :

$$s_f : 1,031 \text{ kJ/kg.K} \quad h_f : 319,217 \text{ kJ/kg}$$

$$s_g : 7,665 \text{ kJ/kg.K} \quad h_{fg} : 2318,225 \text{ kJ/kg}$$

$$s_{fg} : 6,634 \text{ kJ/kg.K}$$

Kemudian akan didapatkan fraksi kekeringan uap :

$$x = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = \frac{s - s_f}{s_{fg}}$$

$$x = \frac{6,75 \text{ kJ/kg.K} - 1,031 \text{ kJ/kg.K}}{6,634 \text{ kJ/kg.K}}$$

$$x = 0,862$$

Kemudian akan didapatkan entalpi pada titik tersebut, yaitu :

$$h_{6s} = hf + x \cdot hfg$$

$$h_{6s} = 319,217 \text{ kJ/kg} + (0,862 \cdot 2318,225 \text{ kJ/kg})$$

$$h_{6s} = 2317,6988 \text{ kJ/kg}$$

Untuk Kondensor diketahui $P_7 : 0,133$ bar, sehingga :

$$s_f : 0,722 \text{ kJ/kg.K} \quad h_f : 215,153 \text{ kJ/kg}$$

$$s_g : 8,053 \text{ kJ/kg.K} \quad h_{fg} : 2379,357 \text{ kJ/kg}$$

$$s_{fg} : 7,331 \text{ kJ/kg.K}$$

Kemudian akan didapatkan fraksi kekeringan uap :

$$x = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = \frac{s - s_f}{s_{fg}}$$

$$x = \frac{6,75 \text{ kJ/kg.K} - 0,722 \text{ kJ/kg.K}}{7,331 \text{ kJ/kg.K}}$$

$$x = 0,822$$

Kemudian akan didapatkan entalpi pada titik tersebut, yaitu :

$$h_{7s} = h_f + x \cdot h_{fg}$$

$$h_{7s} = 215,153 \text{ kJ/kg} + (0,822 \cdot 2379,357 \text{ kJ/kg})$$

$$h_{7s} = 2171,609 \text{ kJ/kg}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} \frac{W_t}{\dot{m}} = & (h_{0s} - h_{1s}) + (h_{1s} - h_{2s}) + (h_{2s} - h_{3s}) + (h_{3s} - h_{4s}) \\ & + (h_{4s} - h_{5s}) + (h_{5s} - h_{6s}) + (h_{6s} - h_{7s}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= (3356,41 - 2978,77)kJ/kg + (2978,77 - 2892,48)kJ/kg \\
&\quad + (2892,48 - 2802,51)kJ/kg \\
&\quad + (2802,51 - 2678,24)kJ/kg \\
&\quad + (2678,24 - 2550,44)kJ/kg \\
&\quad + (2550,44 - 2317,70)kJ/kg \\
&\quad + (2317,70 - 2171,61)kJ/kg \\
&= 1184,80 kJ/kg
\end{aligned}$$

4.1.2 Fraksi Kekeringan Uap

Tabel 4. 1 Fraksi Kekeringan Uap Sebelum *Overhaul*

No	Titik	Fraksi Kekeringan Uap
1	Inlet Turbin	1,44
2	HPH 1	1,10
3	HPH 2	1,05
4	Daerator	1,02
5	LPH 1	0,97
6	LPH 2	0,93
7	LPH 3	0,86
8	Kondensor	0,82
Rata - rata		1,02

4.1.3 Steam Rate

$$SR = \frac{\dot{m}}{P_{generator}}$$

$$SR = \frac{96,112 T}{24,1349 H}$$

$$SR = 3,98227 T/H$$

4.1.4 Efisiensi Isentropik Turbin

$$\eta_T = \frac{W_a}{W_s} \times 100$$

$$\eta_T = \frac{1074,66 \text{ kJ/kg}}{1184,80 \text{ kJ/kg}}$$

$$\eta_T = 90,70 \%$$

4.1.5 Efisiensi Mekanis

$$W_t = \dot{m} \cdot w_t$$

$$W_t = 26,70 \text{ kg/s} \cdot 1184,80 \text{ kJ/kg}$$

$$W_t = 31631,43 \text{ kJ/s}$$

$$\eta_{mekanis} = \frac{P_{generator} \times \eta_T}{W_t} \times 100\%$$

$$\eta_{mekanis} = \frac{24134,95 \text{ kJ/s} \times 90,70 \%}{31631,43 \text{ kJ/s}}$$

$$\eta_{mekanis} = 69,21 \%$$

4.2 Analisis kinerja turbin uap setelah *overhaul*

4.2.1 Kinerja Turbin

a. Kinerja Turbin Kondisi Aktual

Untuk memulai analisis, perlu diketahui nilai entalpi pada setiap titik. Dengan menggunakan tabel uap maka nilai entalpi dapat diketahui. Dimulai pada sisi masukan turbin uap A-4 pada $P_0 = 89,989$ bar dan $T_0 = 514,432$ °C diperoleh $h_0 = 3429,43$ kJ/kg.

Kemudian pada sisi ekstraksi 1 (HPH 1) pada $P_1 = 17,827$ bar dan $T_1 = 351,784$ °C diperoleh $h_1 = 3146,14$ kJ/kg.

Kemudian pada sisi ekstraksi 2 (HPH 2) pada $P_2 = 11,820$ bar dan $T_2 = 305,132$ °C diperoleh $h_2 = 3057,93$ kJ/kg.

Kemudian pada sisi ekstraksi 3 (Daerator) pada $P_3 = 7,580$ bar dan $T_3 = 255,678$ °C diperoleh $h_3 = 2964,1$ kJ/kg.

Kemudian pada sisi ekstraksi 4 (LPH 1) pada $P_4 = 3,974$ bar dan $T_4 = 290,206$ °C diperoleh $h_4 = 3047,05$ kJ/kg.

Kemudian pada sisi ekstraksi 5 (LPH 2) pada $P_5 = 1,910$ bar dan $T_5 = 117,687$ °C diperoleh $h_5 = 2704,12$ kJ/kg.

Kemudian pada sisi ekstraksi 6 (LPH 3) pada $P_6 = 0,440$ bar dan $T_6 = 87,186$ °C diperoleh $h_6 = 2657,92$ kJ/kg.

Kemudian pada Kondensor pada $P_7 = 0,176$ dan $T_7 = 51,008$ °C diperoleh $h_7 = 2364,19$ kJ/kg.

Sehingga:

$$\begin{aligned} \frac{W_t}{\dot{m}} &= (h_0 - h_1) + (h_1 - h_2) + (h_2 - h_3) + (h_3 - h_4) \\ &\quad + (h_4 - h_5) + (h_5 - h_6) + (h_6 - h_7) \\ &= (3429,43 - 3146,14)kJ/kg + (3146,14 - 3057,93)kJ/kg \\ &\quad + (3057,93 - 2964,1)kJ/kg \\ &\quad + (2964,1 - 3047,05)kJ/kg \\ &\quad + (3047,05 - 2704,12)kJ/kg \\ &\quad + (2704,12 - 2657,92)kJ/kg \\ &\quad + (2657,92 - 2364,19)kJ/kg \end{aligned}$$

$$= 1065,24 \text{ kJ/kg}$$

b. Kinerja Turbin Kondisi Isentropis

Untuk memulai analisis, perlu diketahui nilai entalpi pada setiap titik. Dengan menggunakan tabel uap maka nilai entalpi dapat diketahui. Dimulai pada sisi masukan turbin uap A-4 pada $P_0 = 84,989$ bar dan $T_0 = 514,432$ °C diperoleh nilai entropi $s_0 = 6,74$ kJ/kg.K.

Untuk Inlet Turbin diketahui $P_0 : 84,989$ bar, sehingga :

$$s_f : 3,247 \text{ kJ/kg.K} \quad h_f : 1340,064 \text{ kJ/kg}$$

$$s_g : 5,710 \text{ kJ/kg.K} \quad h_{fg} : 1410,077 \text{ kJ/kg}$$

$$s_{fg} : 2,463 \text{ kJ/kg.K}$$

Kemudian akan didapatkan fraksi kekeringan uap :

$$x = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = \frac{s - s_f}{s_{fg}}$$

$$x = \frac{6,74 \text{ kJ/kg.K} - 3,247 \text{ kJ/kg.K}}{2,463 \text{ kJ/kg.K}}$$

$$x = 1,418$$

Kemudian akan didapatkan entalpi pada titik tersebut, yaitu :

$$h_{0s} = h_f + x \cdot h_{fg}$$

$$h_{0s} = 1340,064 \text{ kJ/kg} + (1,418 \cdot 1410,077 \text{ kJ/kg})$$

$$h_{0s} = 3339,82 \text{ kJ/kg}$$

Untuk HPH 1 diketahui $P_1 : 17,827$ bar, sehingga :

$$\begin{aligned} s_f & : 2,392 \text{ kJ/kg.K} & h_f & : 881,889 \text{ kJ/kg} \\ s_g & : 6,384 \text{ kJ/kg.K} & h_{fg} & : 1914,711 \text{ kJ/kg} \\ s_{fg} & : 3,992 \text{ kJ/kg.K} \end{aligned}$$

Kemudian akan didapatkan fraksi kekeringan uap :

$$x = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = \frac{s - s_f}{s_{fg}}$$
$$x = \frac{6,74 \text{ kJ/kg.K} - 2,392 \text{ kJ/kg.K}}{3,992 \text{ kJ/kg.K}}$$

$$x = 1,089$$

Kemudian akan didapatkan entalpi pada titik tersebut, yaitu :

$$h_1 = h_f + x \cdot h_{fg}$$

$$h_{1s} = 881,889 \text{ kJ/kg} + (1,089 \cdot 1914,711 \text{ kJ/kg})$$

$$h_{1s} = 2967,35 \text{ kJ/kg}$$

Untuk HPH 2 diketahui $P_2 : 11,82$ bar, sehingga :

$$\begin{aligned} s_f & : 2,208 \text{ kJ/kg.K} & h_f & : 799,934 \text{ kJ/kg} \\ s_g & : 6,53 \text{ kJ/kg.K} & h_{fg} & : 1989,143 \text{ kJ/kg} \\ s_{fg} & : 4,322 \text{ kJ/kg.K} \end{aligned}$$

Kemudian akan didapatkan fraksi kekeringan uap :

$$x = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = \frac{s - s_f}{s_{fg}}$$
$$x = \frac{6,74 \text{ kJ/kg.K} - 2,208 \text{ kJ/kg.K}}{4,322 \text{ kJ/kg.K}}$$

$$x = 1,049$$

Kemudian akan didapatkan entalpi pada titik tersebut, yaitu :

$$h_{2s} = hf + x.hfg$$

$$h_{2s} = 799,934 \text{ kJ/kg} + (1,049 \cdot 1989,143 \text{ kJ/kg})$$

$$h_{2s} = 2885,727 \text{ kJ/kg}$$

Untuk Daerator diketahui $P_3 : 121,49$ bar, sehingga :

$$s_f : 2,023 \text{ kJ/kg.K} \quad h_f : 710,749 \text{ kJ/kg}$$

$$s_g : 6,683 \text{ kJ/kg.K} \quad h_{fg} : 2055,914 \text{ kJ/kg}$$

$$s_{fg} : 4,661 \text{ kJ/kg.K}$$

Kemudian akan didapatkan fraksi kekeringan uap :

$$x = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = \frac{s - s_f}{s_{fg}}$$

$$x = \frac{6,74 \text{ kJ/kg.K} - 2,023 \text{ kJ/kg.K}}{4,661 \text{ kJ/kg.K}}$$

$$x = 1,012$$

Kemudian akan didapatkan entalpi pada titik tersebut, yaitu :

$$h_{3s} = hf + x.hfg$$

$$h_{3s} = 710,749 \text{ kJ/kg} + (1,012 \cdot 2055,914 \text{ kJ/kg})$$

$$h_{3s} = 2791,364 \text{ kJ/kg}$$

Untuk LPH 1 diketahui $P_4 : 3,974$ bar, sehingga :

$$s_f : 1,771 \text{ kJ/kg.K} \quad h_f : 602,709 \text{ kJ/kg}$$

$$s_g : 6,9 \text{ kJ/kg.K} \quad h_{fg} : 2135,115 \text{ kJ/kg}$$

$$s_{fg} : 5,189 \text{ kJ/kg.K}$$

Kemudian akan didapatkan fraksi kekeringan uap :

$$x = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = \frac{s - s_f}{s_{fg}}$$
$$x = \frac{6,74 \text{ kJ/kg.K} - 1,771 \text{ kJ/kg.K}}{5,189 \text{ kJ/kg.K}}$$

$$x = 0,958$$

Kemudian akan didapatkan entalpi pada titik tersebut, yaitu :

$$h_{4s} = hf + x \cdot hfg$$

$$h_{4s} = 602,709 \text{ kJ/kg} + (0,958 \cdot 2135,115 \text{ kJ/kg})$$

$$h_{4s} = 2647,3 \text{ kJ/kg}$$

Untuk LPH 2 diketahui $P_5 : 1,91 \text{ bar}$, sehingga :

$$s_f : 1,513 \text{ kJ/kg.K} \quad h_f : 498,562 \text{ kJ/kg}$$

$$s_g : 7,143 \text{ kJ/kg.K} \quad h_{fg} : 2205,95 \text{ kJ/kg}$$

$$s_{fg} : 5,63 \text{ kJ/kg.K}$$

Kemudian akan didapatkan fraksi kekeringan uap :

$$x = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = \frac{s - s_f}{s_{fg}}$$
$$x = \frac{6,74 \text{ kJ/kg.K} - 1,513 \text{ kJ/kg.K}}{5,63 \text{ kJ/kg.K}}$$

$$x = 0,928$$

Kemudian akan didapatkan entalpi pada titik tersebut, yaitu :

$$h_{5s} = hf + x \cdot hfg$$

$$h_{5s} = 498,562 \text{ kJ/kg} + (0,928 \cdot 2205,95 \text{ kJ/kg})$$

$$h_{5s} = 2546,608 \text{ kJ/kg}$$

Untuk LPH 3 diketahui $P_6 : 0,44$ bar, sehingga :

$$\begin{aligned} s_f &: 1,052 \text{ kJ/kg.K} & h_f &: 326,837 \text{ kJ/kg} \\ s_g &: 7,639 \text{ kJ/kg.K} & h_{fg} &: 2313,648 \text{ kJ/kg} \\ s_{fg} &: 6,587 \text{ kJ/kg.K} \end{aligned}$$

Kemudian akan didapatkan fraksi kekeringan uap :

$$x = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = \frac{s - s_f}{s_{fg}}$$
$$x = \frac{6,74 \text{ kJ/kg.K} - 1,052 \text{ kJ/kg.K}}{6,587 \text{ kJ/kg.K}}$$

$$x = 0,864$$

Kemudian akan didapatkan entalpi pada titik tersebut, yaitu :

$$h_{6s} = h_f + x \cdot h_{fg}$$

$$h_{6s} = 326,837 \text{ kJ/kg} + (0,864 \cdot 2313,648 \text{ kJ/kg})$$

$$h_{6s} = 2324,716 \text{ kJ/kg}$$

Untuk Kondensor diketahui $P_7 : 0,176$ bar, sehingga :

$$\begin{aligned} s_f &: 0,796 \text{ kJ/kg.K} & h_f &: 239,43 \text{ kJ/kg} \\ s_g &: 7,955 \text{ kJ/kg.K} & h_{fg} &: 2365,33 \text{ kJ/kg} \\ s_{fg} &: 7,159 \text{ kJ/kg.K} \end{aligned}$$

Kemudian akan didapatkan fraksi kekeringan uap :

$$x = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = \frac{s - s_f}{s_{fg}}$$

$$x = \frac{6,74 \text{ kJ/kg.K} - 0,796 \text{ kJ/kg.K}}{7,159 \text{ kJ/kg.K}}$$

$$x = 0,8302$$

Kemudian akan didapatkan entalpi pada titik tersebut, yaitu :

$$h_{7s} = hf + x \cdot hfg$$

$$h_{7s} = 239,43 \text{ kJ/kg} + (0,8302 \cdot 2365,33 \text{ kJ/kg})$$

$$h_{7s} = 2203,3246 \text{ kJ/kg}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} \frac{W_t}{\dot{m}} &= (h_{0s} - h_{1s}) + (h_{1s} - h_{2s}) + (h_{2s} - h_{3s}) + (h_{3s} - h_{4s}) \\ &\quad + (h_{4s} - h_{5s}) + (h_{5s} - h_{6s}) + (h_{6s} - h_{7s}) \\ &= (3339,82 - 2967,35) \text{ kJ/kg} + (2967,35 - 2885,73) \text{ kJ/kg} \\ &\quad + (2885,73 - 2791,36) \text{ kJ/kg} \\ &\quad + (2791,36 - 2647,30) \text{ kJ/kg} \\ &\quad + (2647,30 - 2546,61) \text{ kJ/kg} \\ &\quad + (2546,61 - 2324,72) \text{ kJ/kg} \\ &\quad + (2324,72 - 2203,32) \text{ kJ/kg} \\ &= 1136,50 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

4.1.2 Fraksi Kekeringan Uap

Tabel 4. 2 Fraksi kekeringan uap setelah *overhaul*

No	Titik	Fraksi Kekeringan Uap
1	Inlet Turbin	1,42
2	HPH 1	1,09
3	HPH 2	1,05
4	Daerator	1,01
5	LPH 1	0,96
6	LPH 2	0,93
7	LPH 3	0,86
8	Kondensor	0,83
Rata – rata		1,02

4.1.3 Steam Rate

$$SR = \frac{\dot{m}}{P_{generator}}$$

$$SR = \frac{92,4 T}{23,125 H}$$

$$SR = 3,98227 T/H$$

4.1.4 Efisiensi Isentropik Turbin

$$\eta_T = \frac{W_a}{W_s} \times 100$$

$$\eta_T = \frac{1065,24 kJ/kg}{1136,50 kJ/kg}$$

$$\eta_T = 93,73 \%$$

4.1.5 Efisiensi Mekanis

$$Wt = \dot{m} \cdot w_t$$

$$Wt = 25,67 \text{ kg/s} \cdot 1136,50 \text{ kJ/kg}$$

$$Wt = 29170,02 \text{ kJ/s}$$

$$\eta_{mekanis} = \frac{P_{generator} \times \eta_T}{W_t} \times 100\%$$

$$\eta_{mekanis} = \frac{23124,72 \text{ kJ/s} \times 93,73 \%}{29170,02 \text{ kJ/s}}$$

$$\eta_{mekanis} = 74,31 \%$$



4.3 Tabel Hasil Analisis

Tabel 4. 3 Tabel Hasil Analisis Data

Periode	Entropy (kJ/kg)	Power Generator (kJ/s)	Flow (kg/s)	H Aktual (kJ/kg)	H Isentropis (kJ/kg)	Eff Thermal (%)	WT	EFF Mekanis (%)	Steam Rate (T/H)
18/03/2022 - 17/04/2022	6,75	24134,95	26,70	1074,66	1184,80	90,70	31631,43	69,21	3,98
18/04/2022 - 17/05/2022	6,74	24484,29	26,90	1068,88	1189,68	89,85	31997,37	68,75	3,95
18/05/2022 - 17/06/2022	6,74	24533,37	27,09	1077,07	1159,18	92,92	31399,01	72,60	3,97
Rata-Rata sebelum	6,74	24384,20	26,89	1073,54	1177,89	91,16	31675,94	70,16	3,97
05/07/2022 - 04/08/2022	6,74	23124,72	25,67	1065,24	1136,50	93,73	29170,02	74,31	4,00
05/07/2022 - 04/08/2022	6,67	22679,69	25,73	1010,01	1105,41	91,37	28439,90	72,86	4,08
05/07/2022 - 04/08/2022	6,56	18001,24	20,29	899,91	1199,18	75,04	24328,33	55,53	4,06
Rata-Rata sesudah	6,66	21268,55	23,89	991,72	1147,03	86,71	27312,75	67,33	4,05

Tabel 4. 4 Fraksi Kekeringan Uap Setiap Ekstraksi

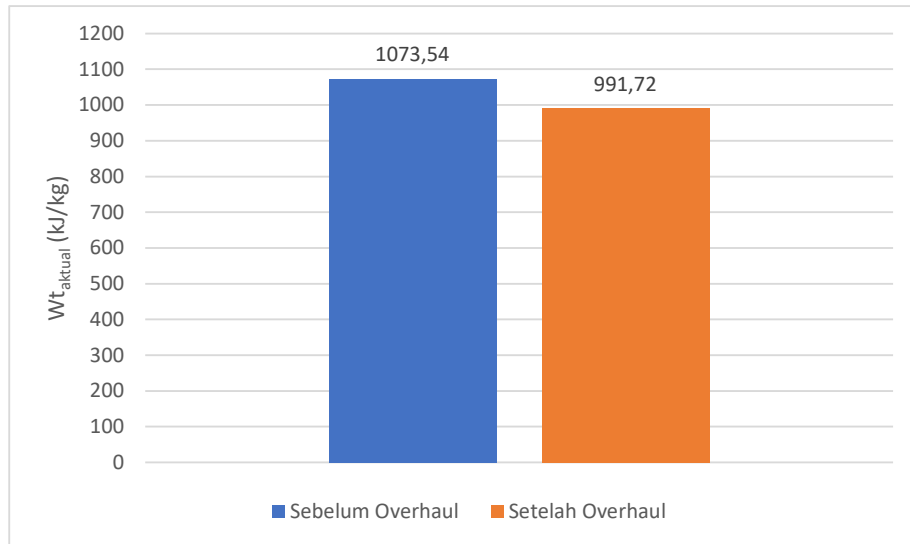
Periode	Inlet	HPH 1	HPH 2	Daerator	LPH 1	LPH 2	LPH 3	Kondensor	Rata-Rata
R1	1,44	1,10	1,05	1,02	0,97	0,93	0,86	0,82	1,02
R2	1,44	1,09	1,05	1,02	0,97	0,93	0,86	0,82	1,02
R3	1,43	1,10	1,05	1,02	0,97	0,93	0,86	0,83	1,02
Sebelum OH	1,44	1,09	1,05	1,02	0,97	0,93	0,86	0,82	1,02
R1	1,42	1,09	1,05	1,01	0,96	0,93	0,86	0,83	1,02
R2	1,39	1,07	1,03	1,00	0,96	0,92	0,86	0,83	1,01
R3	1,27	1,02	0,99	0,96	0,93	0,89	0,84	0,72	0,95
Sesudah OH	1,36	1,06	1,02	0,99	0,95	0,91	0,85	0,79	0,99

4.4 Kinerja Turbin

4.4.1 Kinerja Turbin Kondisi Aktual

Setelah melaksanakan analisis data, didapatkan hasil untuk kinerja kondisi aktual entalpi turbin uap sebelum *overhaul* pada periode pertama (18 Maret-17 April 2022) sebesar 1.074,66 kJ/kg, periode kedua (18 April – 17 Mei 2022) sebesar 1.068,88 kJ/kg, periode ketiga (18 Mei-17 Juni 2022) sebesar 1.077,07 kJ/kg. Sedangkan hasil analisis data sesudah *overhaul* pada periode pertama (5 Juli-4 Agustus 2022) sebesar 1.065,24 kJ/kg, periode kedua (5 Agustus - 4 September 2022) sebesar 1.010,01 kJ/kg, periode ketiga (5 September – 4 Oktober 2022) sebesar 899,912 kJ/kg. Sehingga dari data tersebut, dapat dirata-ratakan kinerja kondisi aktual entalpi pada 3 periode sebelum *overhaul* sebesar 1.073,54 kJ/kg dan rata-rata entalpi pada 3 periode sesudah *overhaul* sebesar 991,719 kJ/kg.

Setelah data hasil analisis entalpi aktual didapatkan, maka dibuatkan grafik untuk mengetahui dampak perbaikan atau pemeliharaan terhadap kinerja turbin tersebut. Grafik perbandingan digunakan sebagai gambaran yang efektif untuk memvisualisasikan perubahan kinerja yang terjadi. Dengan menggunakan grafik perbandingan, dapat dilihat secara langsung peningkatan atau penurunan performa setelah *overhaul*, dan melakukan analisis terperinci tentang efek dari perubahan yang telah dilakukan..



Gambar 4. 2 Grafik Perbandingan Kinerja Turbin Kondisi Aktual

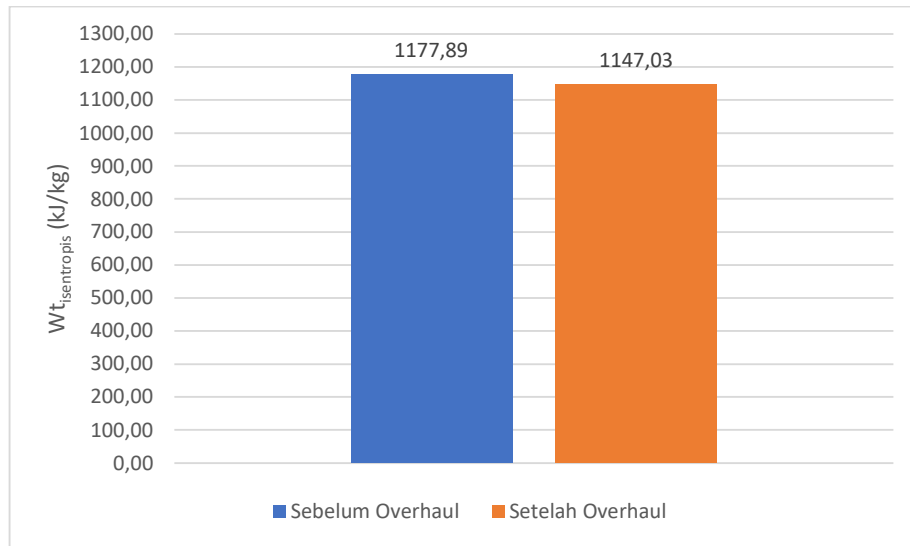
Berdasarkan gambar 4.2, menunjukkan grafik perbandingan kinerja kondisi aktual entalpi turbin uap sebelum dan sesudah *overhaul* pada Unit 1 PLTU Mamuju. Pada grafik tersebut, terlihat bahwa entalpi pada turbin uap Unit 1 PLTU Mamuju mengalami penurunan, meskipun nilai penurunannya tidak signifikan yaitu sebesar sebesar 81,82 kJ/kg.

Penyebab turunnya entalpi aktual turbin dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah berkurangnya tekanan dan temperatur. Berkurangnya tekanan dan temperatur ini menyebabkan penurunan energi yang tersedia untuk dikonversi menjadi energi mekanik oleh turbin, sehingga entalpi aktual turbin menurun. Meskipun demikian, penurunan tekanan dan temperatur ini merupakan hal yang wajar akibat menurunnya daya yang dibangkitkan setelah *overhaul* karena permintaan dari pihak konsumen.

4.4.2 Kinerja Turbin Kondisi Isentropis

Setelah melaksanakan analisis data, didapatkan hasil untuk kinerja kondisi isentropis entalpi turbin uap sebelum *overhaul* pada periode pertama (18 Maret-17 April 2022) sebesar 1.184,80 kJ/kg, periode kedua (18 April – 17 Mei 2022) sebesar 1.189,68 kJ/kg, periode ketiga (18 Mei-17 Juni 2022) sebesar 1.159,18 kJ/kg. Sedangkan hasil analisis data sesudah *overhaul* pada periode pertama (5 Juli-4 Agustus 2022) sebesar 1.136,50 kJ/kg, periode kedua (5 Agustus - 4 September 2022) sebesar 1.105,41 kJ/kg, periode ketiga (5 September – 4 Oktober 2022) sebesar 1.199,18 kJ/kg. Sehingga dari data tersebut, dapat dirata-ratakan kinerja kondisi isentropis entalpi pada 3 periode sebelum *overhaul* sebesar 1.177,89 kJ/kg dan rata-rata entalpi pada 3 periode sesudah *overhaul* sebesar 1.147,03 kJ/kg.

Setelah data hasil analisis entalpi isentropis didapatkan, maka dibuatkan grafik untuk mengetahui dampak perbaikan atau pemeliharaan terhadap kinerja turbin tersebut. Grafik perbandingan digunakan sebagai gambaran yang efektif untuk memvisualisasikan perubahan kinerja yang terjadi. Dengan menggunakan grafik perbandingan, dapat dilihat secara langsung peningkatan atau penurunan performa setelah *overhaul*, dan melakukan analisis terperinci tentang efek dari perubahan yang telah dilakukan..



Gambar 4. 3 Grafik Perbandingan Kinerja Turbin Kondisi Isentropis

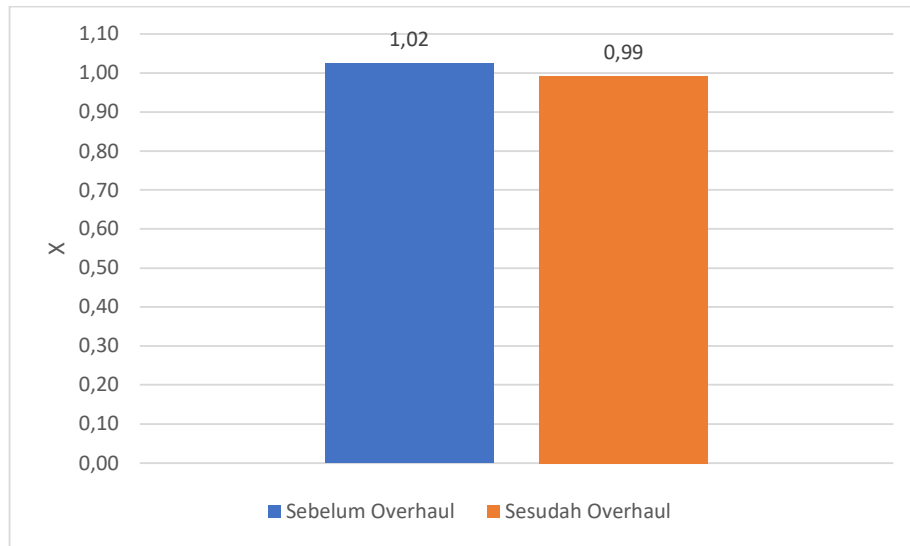
Berdasarkan gambar 4.3 menunjukkan grafik perbandingan kinerja kondisi isentropis entalpi turbin uap sebelum dan sesudah *overhaul* pada Unit 1 PLTU Mamuju. Pada grafik diatas, terlihat bahwa entalpi pada turbin uap Unit 1 PLTU Mamuju mengalami penurunan meskipun nilai penurunannya tidak signifikan yaitu sebesar 30,86 kJ/kg.

Penyebab turunnya entalpi isentropis turbin dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah berkurangnya tekanan dan temperatur. Berkurangnya tekanan dan temperatur ini menyebabkan penurunan energi yang tersedia untuk dikonversi menjadi energi mekanik oleh turbin, sehingga entalpi aktual turbin menurun. Meskipun demikian, penurunan tekanan dan temperatur ini merupakan hal yang wajar akibat menurunnya daya yang dibangkitkan setelah *overhaul* karena permintaan dari pihak konsumen.

4.4.3 Fraksi Kekeringan Uap

Setelah melaksanakan analisis data, didapatkan hasil untuk nilai fraksi kekeringan uap sebelum *overhaul* pada periode pertama (18 Maret-17 April 2022) sebesar 1,02, periode kedua (18 April – 17 Mei 2022) sebesar 1,02, periode ketiga (18 Mei-17 Juni 2022) sebesar 1,02. Sedangkan hasil analisis data sesudah *overhaul* pada periode pertama (5 Juli-4 Agustus 2022) sebesar 1,02, periode kedua (5 Agustus - 4 September 2022) sebesar 1,01, periode ketiga (5 September – 4 Oktober 2022) sebesar 0,95. Sehingga dari data tersebut, dapat dirata-ratakan fraksi kekeringan uap pada 3 periode sebelum *overhaul* sebesar 1,02 dan rata-rata fraksi kekeringan pada 3 periode sesudah *overhaul* sebesar 0,99.

Setelah data hasil analisis fraksi kekeringan uap didapatkan, maka dibuatkan grafik untuk mengetahui dampak perbaikan atau pemeliharaan terhadap kinerja turbin tersebut. Grafik perbandingan digunakan sebagai gambaran yang efektif untuk memvisualisasikan perubahan kinerja yang terjadi. Dengan menggunakan grafik perbandingan, dapat dilihat secara langsung peningkatan atau penurunan performa setelah *overhaul*, dan melakukan analisis terperinci tentang efek dari perubahan yang telah dilakukan..



Gambar 4. 4 Grafik Perbandingan Fraksi Kekeringan Uap

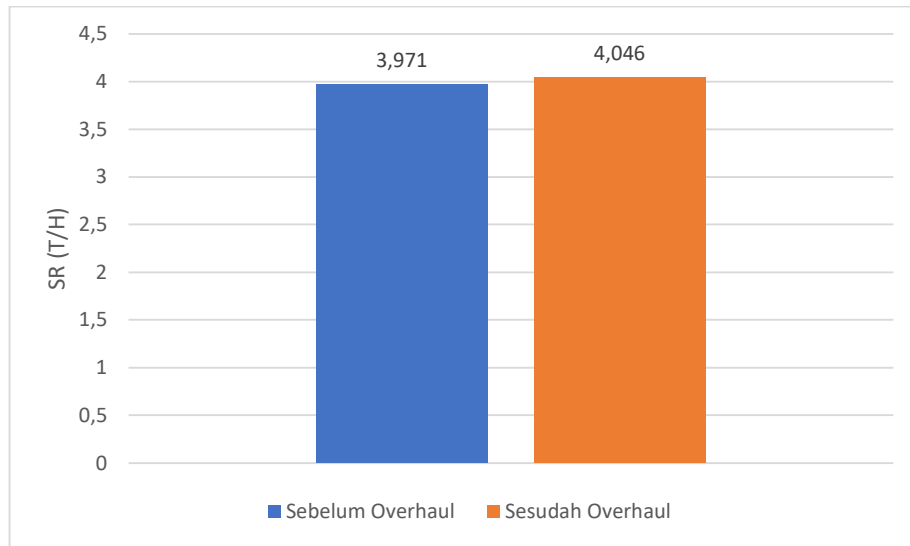
Berdasarkan gambar 4.4 menunjukkan grafik perbandingan fraksi kekeringan uap turbin sebelum dan sesudah *overhaul* pada Unit 1 PLTU Mamuju. Pada grafik diatas, terlihat bahwa fraksi kekeringan uap pada turbin uap Unit 1 PLTU Mamuju mengalami penurunan meskipun tidak signifikan yaitu sebesar 0,03.

Penyebab turunnya fraksi kekeringan uap dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah berkurangnya tekanan dan temperatur. Berkurangnya tekanan dan temperatur ini menyebabkan penurunan nilai fraksi kekeringan uap. Meskipun demikian, penurunan tekanan dan temperatur ini merupakan hal yang wajar akibat menurunnya daya yang dibangkitkan setelah *overhaul* karena permintaan dari pihak konsumen.

4.4.4 *Steam Rate*

Setelah melaksanakan analisis data, didapatkan hasil untuk *steam rate* sebelum *overhaul* pada periode pertama (18 Maret-17 April 2022) sebesar 3,98 T/H , periode kedua (18 April – 17 Mei 2022) sebesar 3,95 T/H, periode ketiga (18 Mei-17 Juni 2022) sebesar 3,97 T/H. Sedangkan hasil analisis data sesudah *overhaul* pada periode pertama (5 Juli-4 Agustus 2022) sebesar 4 T/H, periode kedua (5 Agustus - 4 September 2022)) sebesar 4,08 T/H, periode ketiga (5 September – 4 Oktober 2022) sebesar 4,06 T/H. Sehingga dari data tersebut, dapat dirata-ratakan *steam rate* pada 3 periode sebelum *overhaul* sebesar 3,97 T/H dan rata-rata *steam rate* pada 3 periode sesudah *overhaul* sebesar 4,05 T/H.

Setelah data hasil analisis *steam rate* didapatkan, maka dibuatkan grafik untuk mengetahui dampak perbaikan atau pemeliharaan terhadap kinerja turbin tersebut. Grafik perbandingan digunakan sebagai gambaran yang efektif untuk memvisualisasikan perubahan kinerja yang terjadi. Dengan menggunakan grafik perbandingan, dapat dilihat secara langsung peningkatan atau penurunan performa setelah *overhaul*, dan melakukan analisis terperinci tentang efek dari perubahan yang telah dilakukan..



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan *Steam Rate*

Berdasarkan gambar 4.5 menunjukkan grafik perbandingan *steam rate* turbin sebelum dan sesudah *overhaul* pada Unit 1 PLTU Mamuju. Pada grafik diatas, terlihat bahwa *steam rate* pada turbin uap Unit 1 PLTU Mamuju mengalami kenaikan meskipun tidak signifikan yaitu sebesar 0,075 T/H.

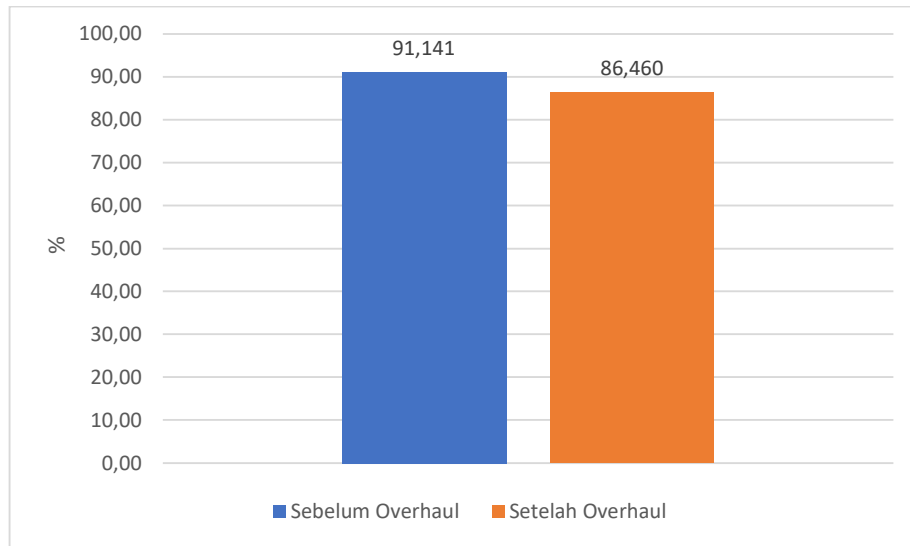
Penyebab meningkatnya *steam rate* pada turbin dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah berkurangnya tekanan dan temperatur. Berkurangnya tekanan dan temperatur ini menyebabkan meningkatnya jumlah kebutuhan uap untuk menghasilkan daya listrik. Meskipun demikian, penurunan tekanan dan temperatur ini merupakan hal yang wajar akibat menurunnya daya yang dibangkitkan setelah *overhaul* karena permintaan dari pihak konsumen.

4.5 Efisiensi Turbin

4.5.1 Efisiensi Isentropik Turbin

Setelah melaksanakan analisis data, didapatkan hasil untuk efisiensi thermal yang dihasilkan oleh turbin uap, sebelum *overhaul* pada periode pertama (18 Maret-17 April 2022) sebesar 90,70% , periode kedua (18 April – 17 Mei 2022) sebesar 89,85%, periode ketiga (18 Mei-17 Juni 2022) sebesar 92,92%. Sedangkan hasil analisis data sesudah *overhaul* pada periode pertama (5 Juli-4 Agustus 2022) sebesar 93,73%, periode kedua (5 Agustus - 4 September 2022) sebesar 91,37%, periode ketiga (5 September – 4 Oktober 2022) sebesar 75,04%. Sehingga dari data tersebut, dapat dirata-ratakan efisiensi thermal pada 3 periode sebelum *overhaul* sebesar 91,16% dan rata-rata efisiensi thermal pada 3 periode sesudah *overhaul* sebesar 86,71%.

Setelah data hasil analisis efisiensi isentropik didapatkan, maka dibuatkan grafik untuk mengetahui dampak perbaikan atau pemeliharaan terhadap kinerja turbin tersebut. Grafik perbandingan digunakan sebagai gambaran yang efektif untuk memvisualisasikan perubahan kinerja yang terjadi. Dengan menggunakan grafik perbandingan, dapat dilihat secara langsung peningkatan atau penurunan performa setelah *overhaul*, dan melakukan analisis terperinci tentang efek dari perubahan yang telah dilakukan..



Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Efisiensi Isentropik Turbin

Berdasarkan gambar 4.6 menunjukkan grafik perbandingan efisiensi isentropik turbin sebelum dan sesudah *overhaul* pada Unit 1 PLTU Mamuju. Pada grafik diatas, terlihat bahwa efisiensi isentropik pada turbin uap Unit 1 PLTU Mamuju mengalami penurunan meskipun tidak signifikan yaitu sebesar 4,681 %.

Penyebab menurunnya efisiensi isentropik turbin uap dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satu faktor penyebab penurunan tersebut seperti fluktuasi suhu atau tekanan. Meskipun demikian, penurunan tekanan dan temperatur ini merupakan hal yang wajar akibat menurunnya daya yang dibangkitkan setelah *overhaul* karena permintaan dari pihak konsumen.

Adapun penurunan kinerja turbin secara isentropik setelah *overhaul* merupakan hal yang wajar. Penurunan kinerja turbin disebabkan beberapa kemungkinan, yaitu proses *overhaul* yang dikerjakan terkait dengan

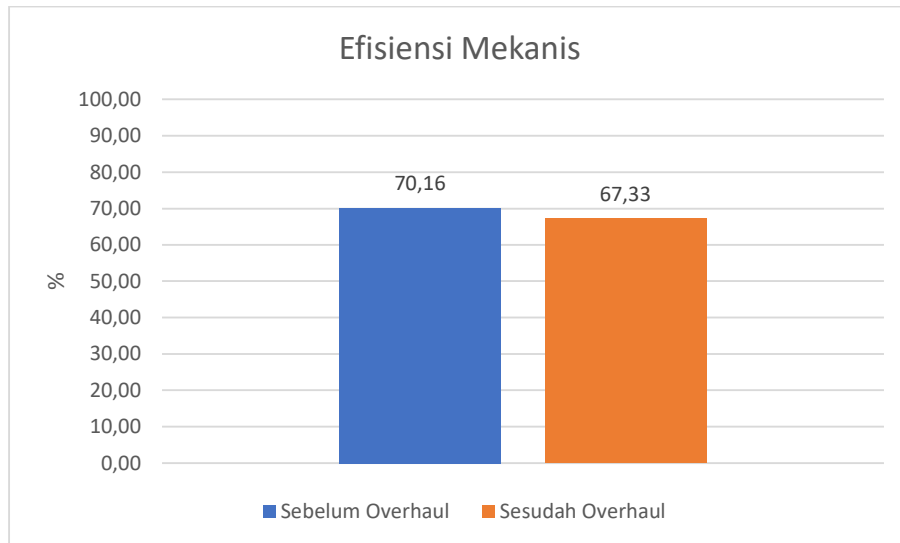
kinerja turbin belum dilaksanakan karena pada tahun 2022, *overhaul* yang dilaksanakan merupakan proses perawatan berkala yang sifatnya *small inspection* (perawatan kecil). Selain itu, penurunan kinerja turbin dapat disebabkan hasil pengerjaan pada saat *overhaul* kurang maksimal, seperti pembersihan kondensor dan alat penukar kalor sehingga tidak memperbaiki kinerja turbin.



4.5.2 Efisiensi Mekanis Turbin

Setelah melaksanakan analisis data, didapatkan hasil untuk efisiensi mekanis sebelum *overhaul* pada periode pertama (18 Maret-17 April 2022) sebesar 69,21% , periode kedua (18 April – 17 Mei 2022) sebesar 68,75%, periode ketiga (18 Mei-17 Juni 2022) sebesar 72,60%. Sedangkan hasil analisis data sesudah *overhaul* pada periode pertama (5 Juli-4 Agustus 2022) sebesar 74,31%, periode kedua (5 Agustus - 4 September 2022) sebesar 72,86%, periode ketiga (5 September – 4 Oktober 2022) sebesar 55,53%. Sehingga dari data tersebut, dapat dirata-ratakan efisiensi mekanis pada 3 periode sebelum *overhaul* sebesar 70,16% dan rata-rata efisiensi mekanis pada 3 periode sesudah *overhaul* sebesar 67,33%.

Setelah data hasil analisis efisiensi mekanis didapatkan, maka dibuatkan grafik untuk mengetahui dampak perbaikan atau pemeliharaan terhadap kinerja turbin tersebut. Grafik perbandingan digunakan sebagai gambaran yang efektif untuk memvisualisasikan perubahan kinerja yang terjadi. Dengan menggunakan grafik perbandingan, dapat dilihat secara langsung peningkatan atau penurunan performa setelah *overhaul*, dan melakukan analisis terperinci tentang efek dari perubahan yang telah dilakukan..



Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Efisiensi Mekanis Turbin

Berdasarkan gambar 4.7 menunjukkan grafik perbandingan efisiensi mekanis turbin sebelum dan sesudah *overhaul* pada Unit 1 PLTU Mamuju. Pada grafik diatas, terlihat bahwa efisiensi mekanis pada turbin uap Unit 1 PLTU Mamuju mengalami penurunan yaitu sebesar 2,83 %.

Penyebab menurunnya efisiensi mekanis turbin uap setelah *overhaul* dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor penyebab menurunnya efisiensi mekanis tersebut adalah kerja turbin yang dihasilkan bernilai besar untuk menghasilkan daya generator yang kecil. Oleh karena hal tersebut, terjadi penurunan efisiensi mekanis turbin uap meskipun perubahan yang terjadi tidak terlalu signifikan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melaksanakan penelitian dan analisis data, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Sebelum *overhaul*, diperoleh rata-rata kinerja turbin kondisi aktual entalpi sebesar 1.073,54 kJ/kg, kinerja turbin kondisi isentopis entalpi sebesar 1.177,89 kJ/kg, kerja turbin sebesar 31.675,94 kJ/s, fraksi kekeringan uap sebesar 1,02, serta *steam rate* sebesar 3,97 T/H. sedangkan setelah *overhaul*, diperoleh rata-rata kinerja turbin kondisi aktual entalpi sebesar 991,72 kJ/kg, kinerja turbin kondisi isentopis entalpi sebesar 1.147,03 kJ/kg, kerja turbin sebesar 27.312,75 kJ/s, fraksi kekeringan uap sebesar 0,99, serta *steam rate* sebesar 4,05 T/H.
2. Sebelum *overhaul*, diperoleh efisiensi thermal turbin uap sebesar 91,16% dan efisiensi mekanis turbin uap sebesar 70,16 %. Sedangkan setelah *overhaul*, diperoleh efisiensi thermal turbin uap sebesar 86,71% dan efisiensi mekanis turbin uap sebesar 67,33%.

5.2 Saran

1. Agar sebaiknya dilakukan penambahan sensor alat ukur pada beberapa komponen unit agar dalam pengambilan data bisa lebih akurat dan lengkap.

DAFTAR PUSTAKA

- Erizal, & Rumi, Agil. 2019. *Analisis Kapasitas Pompa Sentrifugal Aliran Campuran Pada Instalasi Desalt Supply Pump Pltu Di Pt.X*. Jakarta: Institut Sains Dan Teknologi Nasional
- Hetharia, Marlon & Lewerissa, Yolanda. 2017. *Analisis Energi Pada Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Dengan Cycle Tempo*. Sorong: Politeknik Katolik Saint Paul Sorong.
- Latcovich, dkk. 2005. *Maintenance and Overhaul of Steam Turbines*. Moscow: International Association of Engineering Insurers
- Mustangin, dkk. 2018. *Turbin Uap- Prinsip, Start up, Perawatan, dan Penunjangnya*. Yogyakarta: Poltek LPP Press.
- Nurfitri, dkk. 2018. *Analisis Dampak Overhaul Terhadap Kinerja Turbin Uap Di PLTP Darajat*. Jakarta: Politeknik Negeri Jakarta.
- Prastyo, Elli & Dhamayanthie, Indah. 2022. *Analisis Kinerja Turbin Uap Sebelum dan Setelah Proses Overhaul di PT Pertamina Gheothermal Energi Area Kamojang*. Indramayu : Jurnal Ilmiah Teknik Kimia.
- Pratiwi, Putri & Hadi, Zakil. 2022. *Proses Pproduksi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Dan Perhitungan Efisiensi Termal : Studi Kasus PLTU Teluk Sirih*. Padang: Institut Teknologi Padang.
- PT Rekind Daya Mamuju. (2023, Juni Senin). *Sekilas Perusahaan*. From Rekind Daya Mamuju: rdm.co.id
- Puspawan, Angky. 2019. *Steam Turbine Isentropic Efficiency of Tc 663 My 140 Type-Unit 4 Steam Power Plant Case Study in PT. PLN (Persero), Bukit Asam Sector, Tanjung Enim Regency, South Sumatera Province*. *Jurnal Rekayasa Mekanik*. Bengkulu: Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Bengkulu.
- Putera, Regie Poulanka Tresna . 2012. *Sistem Organic Rankine Cycle (ORC) Dengan Turbocharger*. Depok: Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Rizki, dkk. 2022. *Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Ketapang 2x10 MW*. Pontianak: Universitas Tanjungpura.
- Shlyakhin, P. 1993. *Turbin Uap*. Jakarta: Erlangga.
- Uswah, Fadilatul. 2018. *Analisis Performa Turbin Uap Di BTG 2 PT. Semen Tonasa*. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Wakil, El. 1992. *Instalasi Pembangkit Daya*. Jakarta: Erlangga.
- Yu, Sun., & Han, Xuhui. 2019. *Research On Faults And Maintenance Methods Of Steam Turbine In Thermal Power Plant*. Zhejiang : IOP Conferences Series

LAMPIRAN



Lampiran 1. Data turbin sebelum dan sesudah overhaul unit 1

No	Tanggal	Waktu	Pwer Genera	Inlet			HPH 1		HPH 2		Daerator		LPH 1		LPH 2		LPH 3		Kondensor			
				Flow	Pressure	Temperature	Presssure	Temperature	Presssure	Temperature	Presssure	Temperature	Presssure	Temperature	Presssure	Temperature	Presssure	Temperature	Presssure	Temperature	Presssure	Temperature
				MW	T/H	Mpa	C	Mpa	C	Mpa	C	Mpa	C	Mpa	C	kPa	C	kPa	C	kPa	C	kPa
18/03/2022-17/04/2022			24,13	96,11	8,80	525,74	1,74	366,22	1,12	317,60	0,68	265,58	0,30	299,94	90,26	121,49	-60,54	84,49	-88,07	50,51		
18/04/2022-17/05/2022			24,48	96,82	8,82	524,70	1,76	365,97	1,13	317,58	0,68	265,61	0,31	296,64	91,22	121,33	-60,50	78,11	-88,85	49,08		
18/05/2022-17/06/2023			24,53	97,51	8,61	520,49	1,78	362,05	1,14	313,27	0,69	262,63	0,31	293,66	94,93	121,24	-57,72	83,51	-86,01	50,31		
No	Tanggal	Waktu	Pwer Genera	Inlet			Ekstraksi 1		Ekstraksi 2		Ekstraksi 3		Ekstraksi 4		Ekstraksi 5		Ekstraksi 6		Kondensor			
				Flow	Pressure	Temperature	Presssure	Temperature	Presssure	Temperature	Presssure	Temperature	Presssure	Temperature	Presssure	Temperature	Presssure	Temperature	Presssure	Temperature	Presssure	Temperature
				MW	T/H	Mpa	C	Mpa	C	Mpa	C	Mpa	C	Mpa	C	kPa	C	kPa	C	kPa	C	kPa
05/07/2022-04/08/2022			23,12	92,40	8,40	514,43	1,68	351,78	1,08	305,13	0,66	255,68	0,30	290,21	89,64	117,69	-57,30	87,19	-83,77	51,01		
05/08/2022-04/09/2023			22,68	92,62	8,04	486,20	1,67	336,02	1,08	290,97	0,65	243,48	0,30	275,99	92,32	111,85	-53,64	101,64	-79,73	51,68		
05/09/2022-04/10/2024			18,00	73,03	6,74	424,98	1,33	286,33	0,86	248,50	0,52	208,94	0,24	236,45	77,57	98,52	-46,30	174,46	-67,03	48,10		



Lampiran 2. Hasil analisis entalpi secara actual setiap ekstraksi turbin Unit 1

Periode	s	Power Generator	flow	Enthalpy (kJ/kg)								H
	(kJ/kg.K)	(MW)	(kg/s)	Inlet	HPH 1	HPH 2	Daerator	LPH 1	LPH 2	LPH 3	Kondensor	(kJ/kg)
18/03/2022-17/04/2022	6,75	24134,95	26,70	3452,98	3176,70	3083,95	2984,48	3066,82	2709,96	2653,09	2378,32	1074,66
18/04/2022-17/05/2022	6,74	24484,29	26,90	3450,24	3175,87	3083,65	2984,36	3059,98	2709,49	2640,41	2381,36	1068,88
18/05/2022-17/06/2023	6,74	24533,37	26,89	3448,44	3166,91	3074,05	2977,74	3053,70	2708,89	2650,68	2371,37	1077,07
Rata-rata sebelum	6,74	24384,20	26,83	3450,55	3173,16	3080,55	2982,19	3060,17	2709,45	2648,06	2377,02	1073,54
05/07/2022-04/08/2022	6,74	23124,72	25,67	3429,43	3146,14	3057,93	2964,10	3047,05	2704,12	2657,92	2364,19	1065,24
05/08/2022-04/09/2023	6,67	22679,69	25,73	3363,42	3111,39	3027,28	2938,00	3017,86	2704,74	2685,94	2353,41	1010,01
05/09/2022-04/10/2024	6,56	18001,24	20,29	3227,46	3009,59	2709,00	2868,86	2938,78	2701,13	2827,59	2327,55	899,91
Rata-rata sesudah	6,66	21268,55	23,89	3340,10	3089,04	2931,40	2923,65	3001,23	2703,33	2723,82	2348,38	991,72



Lampiran 3. Hasil analisis entalpi secara isentropis setiap ekstraksi turbin Unit 1

Periode	s (kJ/kg.K)	Power Generasi (MW)	flow (kg/s)	Enthalpy (kJ/kg)								H (kJ/kg)
				Inlet	HPH 1	HPH 2	Daerator	LPH 1	LPH 2	LPH 3	Kondensor	
18/03/2022-17/04/2022	6,75	24134,95	26,70	3356,41	2978,77	2892,48	2802,51	2678,24	2550,44	2317,70	2171,61	1184,80
18/04/2022-17/05/2022	6,74	24484,29	26,90	3351,01	3026,16	2889,70	2799,74	2675,16	2547,47	2314,20	2161,33	1189,68
18/05/2022-17/06/2023	6,74	24533,37	27,09	3345,29	2978,87	2892,04	2802,07	2680,39	2550,98	2323,44	2186,11	1159,18
Rata-rata sebelum	6,74	24384,20	26,89	3350,90	2994,60	2891,41	2801,44	2677,93	2549,63	2318,45	2173,02	1177,89
05/07/2022-04/08/2022	6,74	23124,72	25,67	3339,82	2967,35	2885,73	2791,36	2647,30	2546,61	2324,72	2203,32	1136,50
05/08/2022-04/09/2023	6,67	22679,69	25,73	3311,38	2932,63	2847,39	2760,81	2642,20	2521,01	2311,87	2205,97	1105,41
05/09/2022-04/10/2024	6,56	18001,24	20,29	3182,98	2835,94	2757,31	2677,53	2570,27	2464,19	2291,83	1983,80	1199,18
Rata-rata sesudah	6,66	21268,55	23,89	3278,06	2911,97	2830,14	2743,24	2619,92	2510,60	2309,47	2131,03	1147,03



Lampiran 4. Hasil analisis fraksi kekeringan uap setiap ekstraksi turbin Unit 1

Periode	Inlet	HPH 1	HPH 2	Daerator	LPH 1	LPH 2	LPH 3	Kondensor	Rata-Rata
18/03/2022-17/04/2022	1,44	1,10	1,05	1,02	0,97	0,93	0,86	0,82	1,02
18/04/2022-17/05/2022	1,44	1,09	1,05	1,02	0,97	0,93	0,86	0,82	1,02
18/05/2022-17/06/2023	1,43	1,10	1,05	1,02	0,97	0,93	0,86	0,83	1,02
Rata-rata sebelum	1,44	1,09	1,05	1,02	0,97	0,93	0,86	0,82	1,02
05/07/2022-04/08/2022	1,42	1,09	1,05	1,01	0,96	0,93	0,86	0,83	1,02
05/08/2022-04/09/2023	1,39	1,07	1,03	1,00	0,96	0,92	0,86	0,83	1,01
05/09/2022-04/10/2024	1,27	1,02	0,99	0,96	0,93	0,89	0,84	0,72	0,95
Rata-rata sesudah	1,36	1,06	1,02	0,99	0,95	0,91	0,85	0,79	0,99



Lampiran 5. Spesifikasi turbin uap unit 1 PLTU Mamuju

N30-8.83-1 原汽轮机主机使用说明书

N30-8.83-1 Turbine Instruction Manual

(WDG)D30H-000100ASM

1-1 主要技术规范

1. 型号: N30-8.83-1型
Model: N30-8.83-1 Type
2. 型式: 冲动式、高温、高压、单缸、单轴凝汽式汽轮机
Type: impulse type, high temperature, high pressure, single cylinder, condensing steam turbine
3. 额定功率 (T-MCR工况): 30MW
Rated Power(T-MCR condition):30MW
4. 最大功率(VWO工况): 33.9MW
Max Power (VWO condition):33.9MW
5. 额定参数:
Rated condition parameters:
 - a) 主蒸汽进汽压力: 8.83MPa
Main steam admission pressure: 8.83MPa
 - b) 主蒸汽进汽温度: 535℃
Main steam admission temperature: 535℃
 - c) 背压: 8.5kPa
Back pressure: 8.5kPa
6. 额定主蒸汽流量: 115.4t/h
Rated condition main steam flow: 115.4t/h
最大主蒸汽流量: 130t/h
Max main steam flow: 130t/h
7. 转向: 顺时针(从汽轮机端向发电机端看)
Rotation direction: Clockwise when viewed in the direction from turbine to generator
8. 额定转速: 3000r/min
Rated speed : 3000r/min
9. 轴系临界转速(计算值):
Shafting critical speed (calculated value):
1793r/min (汽机一阶)

- 1793r/min (Steam turbine 1st step)
>4000r/min (汽机二阶)
>4000r/min (Steam turbine 2nd step)
*1581r/min (发电机一阶).
*1581r/min (Generator 1st step)
*3665r/min (发电机二阶) *发电机临界转速值以电机厂提供数值为准
*3665r/min (Generator 2nd step) * The shaft critical speed of generator refers to the data provided by the manufacturing company of the generator.
10. 通流级数: 共16级(6调节级+15压力级)
Number of stages: 16stages in total (1 governing stage +15 pressure stages)
11. 回热级数: 6级(2高加+1除氧+3低加)
Regenerative extractions: 6 stages in total (2 HP Heater+1 deaerator + 3 LP Heater)
12. 末级动叶片高度: 420mm
Height of the last stage blade: 420mm
13. 非调节抽汽点: 第4、6、8、10、12、14级后
Points for uncontrol extraction: Behind stages No 4、8、10、12、14
14. 汽轮机本体外形尺寸: 长×宽×高=7378.5mm寸; 长es No 4oltage排汽缸顶面至运行平台)
Overall dimension of the turbine: Length × width × height =7378.5mm×5500mm×2566mm
(The height is the distance between elevation of the operation floor and the exhaust cylinder highest point)
15. 主机重量: ~85t (包括阀门、管道、基架和垫铁)
Weight of the steam turbine: ~85t, (including valves, steam pipes, frame and adjusting block)
16. 最大吊装重量: ~17t (检修时, 上半汽缸组合)
~26t (安装时, 下半汽缸组合)
Maximum lifting weight: ~17 tons(for lifting upper cylinder assembly during maintenance)
~26 tons(for lifting lower cylinder assembly during installation)
17. 最大起吊高度: 6.36m(距8m运行平台)
Maximum lifting height : 6.36m (with respect to the 8m operation floor)

18. 运行平台高度：8m

Elevation of the operation floor: 8 m

19. 产品执行标准：GB5578-2007《固定式发电用汽轮机技术条件》

Executive standard of the product: GB 5578-2007 *Specification for Stationary Steam Turbines Driving Generator.*

Lampiran 6. Progres harian overhaul unit 1

ITEM PROGRESS
MEKANIK
Scope Standard
BOILER AREA
FURNACE
Pemasangan Scaffolding
Measurement Thickness & Inspeksi kondisi Tube water wall
Refractory Furnace
Inspeksi dan Perbaiki Nozzle/air button furnace
Pembongkaran Scaffolding
Screening Bed Material
Pengisian Bed Material
WIND BOX
Refractory Windbox
CYCLONE
Cleaning Fly Ash
Refractory Area Seal Pot
Inspeksi dan Perbaiki Nozzle Seal pot
SOOT BLOWER
Cleaning Peralatan Serta Pelumasan Pada Rantai
Penggantian Oil Gear Box
COAL FEEDER A
Inspeksi of Structure Scrap Conveyor
Inpeksi of Chain & Scrap
Greasing dan Ganti Oli
Inpeksi Idler, replace If Any Required
COAL FEEDER B
Inspeksi of Structure Scrap Conveyor
Inpeksi of Chain & Scrap
Greasing dan Ganti Oli
Inpeksi Idler, replace If Any Required
COAL FEEDER C
Inspeksi of Structure Scrap Conveyor
Inpeksi of Chain & Scrap
Greasing dan Ganti Oli
Inpeksi Idler, replace If Any Required
CHAIN BUCKET & BUCKET ELEVATOR
Inspeksi kondisi bucket & lubrikasi chain
PRIMARY AIR FAN
Penggantian Oli Bearing
Inspeksi kondisi Impeller & Damper
Inspection Line Cooler Bearing
Penggantian Silencer
SECONDARY AIR FAN
Penggantian Oli Bearing DE & NDE
Inspeksi kondisi Impeller & Damper
Inspection Line Cooler Bearing
Penggantian Silencer
INDUCED DRAFT FAN
Penggantian Oli Bearing
Inspeksi kondisi Impeller & Damper
Inspection Line Cooler Bearing
FLUIDIZING FAN A & B
Penggantian Oli Gear Box
Cleaning Filter Udara
Inspeksi V-Belt
ELECTROSTATIC PRECIPITATOR (ESP) FIELD 1, 2, 3
Inspection Collecting Plate

Inspection Discharging Electrode (Emitting Wire)
Inspection CE Rapping System
Inspection DE Rapping System
TRANSPORTER No.1
Disassembly wiring selenoid valve dan tubing instrumen
Disassembly (Lepas Bolt M30 Expantion Joint Dome Valve to Hopper)
Pengecekan Seal dan Dome Valve
Pengecekan Fungsi Open Close Dome Valve (Tim Instrumen)
Assembly (Pasang Bolt M30 Expantion Joint Dome Valve to Hopper)
Assembly wiring selenoid valve dan tubing instrumen
TRANSPORTER No.2
Disassembly wiring selenoid valve dan tubing instrumen
Disassembly (Lepas Bolt M30 Expantion Joint Dome Valve to Hopper)
Pengecekan Seal dan Dome Valve
Pengecekan Fungsi Open Close Dome Valve (Tim Instrumen)
Assembly (Pasang Bolt M30 Expantion Joint Dome Valve to Hopper)
Assembly wiring selenoid valve dan tubing instrumen
TRANSPORTER No.3
Disassembly wiring selenoid valve dan tubing instrumen
Disassembly (Lepas Bolt M30 Expantion Joint Dome Valve to Hopper)
Pengecekan Seal dan Dome Valve
Pengecekan Fungsi Open Close Dome Valve (Tim Instrumen)
Assembly (Pasang Bolt M30 Expantion Joint Dome Valve to Hopper)
Assembly wiring selenoid valve dan tubing instrumen
TURBINE AREA
EH OIL SYSTEM
Cleaning Filter Oil
CONDENSER
Pemasangan Scaffolding
Open Bolt Manhole side B
Release Manhole side B
Pembersihan Tube Condenser side B
Open Bolt Manhole side A
Release Manhole side A
Pembersihan Tube Condenser side A
Close & Tightening Manhole Condenser side A (penggantian bolt dan rubber packing)
Close & Tightening Manhole Condenser side B (penggantian bolt dan rubber packing)
CONDENSATE PUMP A
Inspeksi dan Cleaning Suction Strainer
CONDENSATE PUMP B
Inspeksi dan Cleaning Suction Strainer
BOILER FEED PUMP A
Open Isolasi Inlet Strainer
Cleaning Strainer
Pasang Isolasi Inlet Strainer
VACUUM PUMP A
Open Inlet dan Outlet Vaccum Pump
Cleaning Separator Tank
Open Cover Cooling
Cleaning Tubing Cooling
Close Cover Cooling
Close Inlet & Outlet Vaccum Pump
VACUUM PUMP B
Open Inlet dan Outlet Vaccum Pump
Cleaning Separator Tank
Open Cover Cooling
Cleaning Tubing Cooling
Close Cover Cooling
Close Inlet & Outlet Vaccum Pump
CLOSE CIRCULATING COOLING WATER PUMP A
Cleaning Strainer Suction Pump
CLOSE CIRCULATING COOLING WATER PUMP B

Cleaning Strainer Suction Pump
HEAT EXCHANGER A
Open Cover Strainer
Cleaning Strainer
HEAT EXCHANGER B
Open Cover Strainer
Cleaning Strainer
COMMON AREA
COOLING TOWER NO.1
Inspeksi Shaft Coupling Gear Box
Inspeksi pipa make-up oil
Ganti Oli Gear Box
Cleaning Nozzle dan drive eliminator
Cleaning Pillar
COOLING TOWER NO.2
Inspeksi Shaft Coupling Gear Box
Inspeksi pipa make-up oil
Ganti Oli Gear Box
Cleaning Nozzle dan drive eliminator
Cleaning Pillar
SR by Operasi dan Rekomendasi by Engineering
CASING TURBINE
Welding repair baut turbine
SLAG COOLER
Cleaning Line Slag Cooler
RIGHT WALL ENCLOSURE LOWER HEADER DRAIN PRIMARY VALVE
Penggantian disc valve baru ke valve eksisting
FRONT WALL ENCLOSURE LOWER HEADER LEFT DRAIN PRIMARY VALVE
Penggantian disc valve baru ke valve eksisting
RIGHT WALL ECLOSURE LOWER HEADER 1st & 2nd DRAIN VALVE
Penggantian disc valve baru ke valve eksisting
BOILER RIGHT DOWNCORNER PERIODIC BLOWDOWN MANUAL VALVE
Penggantian disc valve baru ke valve eksisting
BOILER RIGHT DOWNCORNER PERIODIC BLOWDOWN MANUAL VALVE
Penggantian disc valve baru ke valve eksisting
BOILER RIGHT DOWNCORNER PERIODIC BLOWDOWN MANUAL VALVE
Penggantian disc valve baru ke valve eksisting
BOILER FRONT WALL WATER WALL DOWN HEATER
Penggantian disc valve baru ke valve eksisting
PRIMARY DESUPERHEATER HEADER DRAIN PRIMARY VALVE
Penggantian disc valve baru ke valve eksisting
VALVE OUTLET PERIODIC BLOWDOWN
Open Isolasi Rocwool
Cutting Pipeline Existing
Install New Valve
FRONT CASING DRAIN WATER PNEUMATIC VALVE
Disassembly valve eksisting
Assembly New Valve
GATE/SLIDING VALVE HOPPER No.1 ESP #1
Repair Sliding Gate Valve
INLET FEED WATER PUMP (BFP) 1A dan 1B
Open Isolasi Rocwool
Cutting Pipeline Existing
Install New Valve
VALVE BEFORE MOV OVERFLOW DEAEERATOR
Open Isolasi Rocwool
Cutting Pipeline Existing
Install New Valve
CYCLONE (TUBING BOCOR)
Cutting tubing dan fin window
Welding repair
repair refractory

TOTAL PEKERJAAN MEKANIK/DAY (PLANNING)
TOTAL PEKERJAAN MEKANIK/DAY (REALISASI)
LISTRIK
Scope Standard
GENERATOR DAN TURBINE AREA
GENERATOR INSPECTION
Disassembly Connection Generator
Cleaning Generator Chamber
Check Clearance Oil Deflector Bearing
Insulation Resistance (IR) Test Rotor Generator
Heating Generator
GENERATOR AIR COOLER
Open cover oil cooler
Cleaning sisa dalam cover
Proofing menggunakan resin dan serat fiber
Replace Gasket
Brushing dan Coating sisi luar cover
INSPECTION LEAD BOX
Visual Inspection Connection
Cleaning Bushing dan Skun Kabel
INSPECTION EXCITER
Inspection Slip Ring
Penggantian Carbon Brush
Cleaning Carbon Brush, Slip Ring
Check Clearance Carbon Brush
Cleaning AC Generator Exciter
Cleaning Rotating Dioda Exciter
Insulation Resistance (IR) Test AC Generator Exciter
Insulation Resistance (IR) Test Rotating Dioda Exciter
GENERATOR CURCUIT BREAKER
Check Grounding Connection
Cleaning Circuit Breaker
Cleaning PT1, PT2 & PT3 Cabinet
Keserampakan Kontak Test
Insulation Resistance (IR) Test
Contact Resistance Test
AVR & EXCITATION TRANSFORMER AREA
AVR
Check & Bersihkan Terminasi, Contactors Module Pada AVR
Check Fuse Panel AVR
EXCITATION TRANSFORMATOR
Check & Cleaning Winding
Pengukuran dan Pengujian Tahanan Isolasi Winding Trafo
Check Connections
AVR
Check dan Bersihkan Panel NGR
MAIN TRANSFORMER
Visual Cek
Cleaning Busduct
Tightening Connection
Insulation Resistance (IR), Polarization Index (PI) Test
DC resistance test
Pengukuran tahanan pentanahan (grounding) MT dan Lightening Arrester
Inpeksi cooling fan
Replace Silica Gel
Penggantian Tabung Silica Gel
Pemasangan kabel grounding
DGA & SFRA Test
UNIT AUXILIARY TRANSFORMER
Visual Cek
Cleaning Busduct
Tightening Connection

Insulation Resistance (IR), Polarization Index (PI) Test
DC resistance test
Pengukuran tanah pentanahan (grounding) MT dan Lightning Arrester
Inpeksi cooling fan
Inspeksi Neutral Ground Resistance
DGA & SFRA Test
AUXILIARY TRANSFORMER ESP NO.1,2,3
Check Oil Trafo
Megger (Insulation Resistance Test)
Inspection HV/LV Bushing Insulator
Inspection & Tightening All Joint Connection Busbar At Insulator and Cable Clamp
SWITCH GEAR 6KV
Draw-Out Breaker
Check Keretakan Isolator
Pengujian Keserampakan Kontak
Pengujian Tahanan Kontak
Insulation Resistance Test
Draw-In Breaker
400 MCC
Cleaning Panel
Check Breaker-Breaker
Check Tightening Baut Terminal dan Kontak
Check Tightening Terminal Cable Control
Check Tanda Overheating Pada Kabel Control
Check Fuse Control
Check Lampu Indicator
Check Contactor
Check Auxiliary Relay Pada Contactor
DC SYSTEM
Pengecekan UPS (Uninterruptible Power System)
Penggantian Battery
Check Exhaust Fan
Check Fuse
Check Switch Breaker
Check Parameter Digital
Check Tegangan Output Battery
INSPEKSI MOTOR 6,3 KV
BOILER FEED PUMP A & B
Visual Cek
Cleaning
Insulation Resistance (IR) Test dan Tahanan Belitan
Pengukuran Tahan Pentanahan (Grounding)
Re-Greasing
Re-painting Body Motor (jika diperlukan)
PRIMARY AIR FAN
Visual Cek
Cleaning
Insulation Resistance (IR) Test dan Tahanan Belitan
Pengukuran Tahan Pentanahan (Grounding)
Re-Greasing
Re-painting Body Motor (jika diperlukan)
SECONDARY AIR FAN
Visual Cek
Cleaning
Insulation Resistance (IR) Test dan Tahanan Belitan
Pengukuran Tahan Pentanahan (Grounding)
Re-Greasing
Re-painting Body Motor (jika diperlukan)
INDUCED DRAFT FAN
Visual Cek
Cleaning
Insulation Resistance (IR) Test dan Tahanan Belitan

Pengukuran Tahan Pentanahan (Grounding)
Re-Greasing
Re-painting Body Motor (jika diperlukan)
CIRCULATING WATER PUMP
Visual Cek
Cleaning
Insulation Resistance (IR) Test dan Tahanan Belitan
Pengukuran Tahan Pentanahan (Grounding)
Re-Greasing
Re-painting Body Motor (jika diperlukan)
INSPEKSI MOTOR 380 V
CONDENSATE PUMP A & B
Visual Cek
Cleaning
Insulation Resistance (IR) Test dan Tahanan Belitan
Pengukuran Tahan Pentanahan (Grounding)
Re-Greasing
Re-painting Body Motor (jika diperlukan)
VACCUM PUMP A & B
Visual Cek
Cleaning
Insulation Resistance (IR) Test dan Tahanan Belitan
Pengukuran Tahan Pentanahan (Grounding)
Re-Greasing
Re-painting Body Motor (jika diperlukan)
CCCWP A & B
Visual Cek
Cleaning
Insulation Resistance (IR) Test dan Tahanan Belitan
Pengukuran Tahan Pentanahan (Grounding)
Re-Greasing
Re-painting Body Motor (jika diperlukan)
LUBE OIL PUMP A & B
Visual Cek
Cleaning
Insulation Resistance (IR) Test dan Tahanan Belitan
Pengukuran Tahan Pentanahan (Grounding)
Re-Greasing
Re-painting Body Motor (jika diperlukan)
FLUIDIZING FAN A & B
Visual Cek
Cleaning
Insulation Resistance (IR) Test dan Tahanan Belitan
Pengukuran Tahan Pentanahan (Grounding)
Re-Greasing
Re-painting Body Motor (jika diperlukan)
COMMON AREA
COOLING TOWER NO.1 DAN NO.2
Check Box Panel Motor
Megger Motor
Check Breaker Motor
SR by Operasi dan Rekomendasi by Engineering
ELECTROSTATIC PRECIPITATOR (ESP) FIELD 2 dan 3
Pengecekan isolator pada field 1
pengecekan sisi internal ESP
TOTAL PEKERJAAN LISTRIK/DAY (PLANNING)
TOTAL PEKERJAAN LISTRIK/DAY (REALISASI)
INSTRUMENT CONTROL
Scope Standard
BOILER AREA
PRESSURE TRANSMITTER

Closing Isolating Valve Transmitter
Check Visual & Check Tightening Terminasi dan Cleaning Transmitter
Pengambilan Data Lokal dan DCS
Open Isolating Valve Transmitter
Lakukan Loop Test DCS
Pengecekan dan penggantian selang-selang pneumatic
FLOW TRANSMITTER
Feed Water Flow
Main Steam Flow
Desuperheating Water Flow
Coal Flow A,B, dan C
Pengecekan dan penggantian selang-selang pneumatic
LEVEL TRANSMITTER
Drum Level A
Drum Level B
Drum Level C
Coal Flow A,B, dan C
Pengecekan dan penggantian selang-selang pneumatic
THERMOCOUPLE
DSH Inlet Steam Temperature
DSH Outlet Steam Temperature
Main Steam Header Pipe After MOV
Main Steam Header Pipe Before MOV
Coal Bunker Temperature A,B,C
Furnace Outlet Temperature Side A
Furnace Outlet Temperature Side B
Flue Gas Temperature HT Superheater Side A
Flue Gas Temperature HT Superheater Side B
Flue Gas Temperature LT Heater Side A
Flue Gas Temperature LT Heater Side B
Flue Gas Temperature Economizer Side A
Flue Gas Temperature Economizer Side B
Outlet Temperature SA FAN
RE-CALIBRATION CONTROL VALVE & MOV
Control Valve Boiler Ara
MOV Boiler Area
COAL FEEDER A, B & C
Kalibrasi Zero dan Span Coal Feeder
TURBINE
SPEED SENSOR / TURBINE ACTUAL SPEED
Check Visual Peralatan Control Instrumen
Cek Tigting Terminasi
Kalibrasi Precision Transient Speed Monitor Turbine
Cleaning Pick-Up
THERMOCOUPLE
Inlet Main Steam
Temperature Sisi Low Pressure #1
Temperature Sisi Low Pressure #2
PRESSURE TRANSMITTER
Closing Isolating Valve Transmitter
Check Visual, Cek Tightening Terminasi dan Cleaning Transmitter
Pengambilan Data Lokal dan DCS
Open Isolating Valve Transmitter
Lakukan LOOP Test DCS
FLOW TRANSMITTER
Closing Isolating Valve Transmitter
Check Visual, Cek Tightening Terminasi dan Cleaning Transmitter
Pengambilan Data Lokal dan DCS
Kalibrasi Transmitter
Instalasi Transmitter
Open Isolating Valve Transmitter
Lakukan LOOP Test DCS

LEVEL TRANSMITTER
Closing Isolating Valve Transmitter
Check Visual, Cek Tightening Terminasi dan Cleaning Transmitter
Pengambilan Data Lokal dan DCS
Open Isolating Valve Transmitter
Lakukan LOOP Test DCS
CONTROL VALVE
Check Visual, Cek Tightening Terminasi dan Cleaning Transmitter
Check LVDT & Servo Valve Turbine
Loop Test DCS
DEAERATOR
DEAERATOR WATER TANK
Check Visual, Check Tightening Terminasi dan Clenaing Pick Up
Pengecekan Temperature Local
FLOW TRANSMITTER
Closing Isolating Valve Transmitter
Check Visual, Tightening Terminasi, dan Cleaning Transmitter
Bongkar Transmitter
Instalasi Transmitter
Open Isolating Valve Transmitter
Lakukan LOOP Test DCS
COMMON
CIRCULATING WATER PUMP NO.1
Check Panel Control System
Check Indicator Temperature
Check Pressure Switch
Check Solenoid Valve
Check Accumulator
Check Pressure Indicator
Check Motor MOV
Cleaning Area Peralatan Control
SR by Operasi dan Rekomendasi by Engineering
ALARM EH OIL TANK
Pengecekan dan kalibrasi
INLET ELECTRICAL VALVE NO. 1 CWP
Pengecekan dan kalibrasi
TABUNG LEVEL TRANSMITTER HPH #1
Penggantian Gland Packing DN 32
BOILER SIDE-A UPPER BED TEMPERATURE-2
Penggantian sensor temperature
DRUM SURFACE TEMPERATURE-2
Pengecekan sensor temperature
PRIMARY AIR FAN BEARING TEMPERATURE 2
Pengecekan dan penggantian sensor vibrasi
DAMPER ID FAN
Pengecekan
OVERFLOW DEAERATOR
Pengecekan Modul Analog Input
ELECTRIC VALVE PERIODIC BLOWDOWN
Disassembly MOV dan Penggantian Disc
Disassembly MOV dan Penggantian Disc
PLCA EMERGENCY TRIP SYSTEM
Pengecekan
PROTECTION SYSTEM
PENGETESAN MAIN FUEL TRIP (MFT)
PENGETESAN EMERGENCY TRIP SYSTEM (ETS)
TOTAL PEKERJAAN INSTRUMEN/DAY (PLANNING)
TOTAL PEKERJAAN INSTRUMEN/DAY (REALISASI)
START-UP & SYNCRON
SLOW FIRING
SYNCHRON

Lampiran 7. Surat Keterangan telah melaksanakan penelitian.



SURAT KETERANGAN
NO: 012/RDM.GM/III/2023

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dini Anggi Asari
Jabatan : Plt. HR&GA Plant Manager

Menerangkan bahwa:

Nama : Syamsul Maarif
NIM : 44219043
Jenis Kelamin : Laki-laki
Program Studi : Teknik Pembangkit Energi
Universita : Politeknik Negeri Ujung Pandang

Benar telah melakukan penelitian pada PT Rekind Daya Mamuju dalam rangka penyusunan skripsi dengan judul:

“Analisis Kinerja Turbin Uap Sebelum dan Sesudah Overhaul pada Unit 1 PLTU Mamuju”

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana semestinya.

Mamuju, 10 Maret 2023
Hormat Kami,

Dini Anggi Asari
Plt. HR&GA Plant Manager

PT REKIND DAYA MAMUJU
Gedung Nucira Lt. 4
Jl. MT. Haryono Kav. 27, Jakarta Selatan 12820
Telp : +62-21 83787760; 83789152; 83785961
Fax. +62-21 8307578