

Analisis Kinerja Turbin Uap Sebelum dan Sesudah Overhaul Pada Unit 1 PLTU Mamuju

Chandra Buana¹, Yiyin Klistafani^{2*}, Syamsul Maarif³, Alief Maulana Ilmunandar⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia
*yiyin_klistafani@poliupg.ac.id

Abstrak : 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

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 isentropis 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 isentropis 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

I. PENDAHULUAN

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 [1, 2]. 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 [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 [4, 5].

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 [6] 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 [7]. 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 cadangan daya yang andal untuk perkembangan masyarakat [8].

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*.

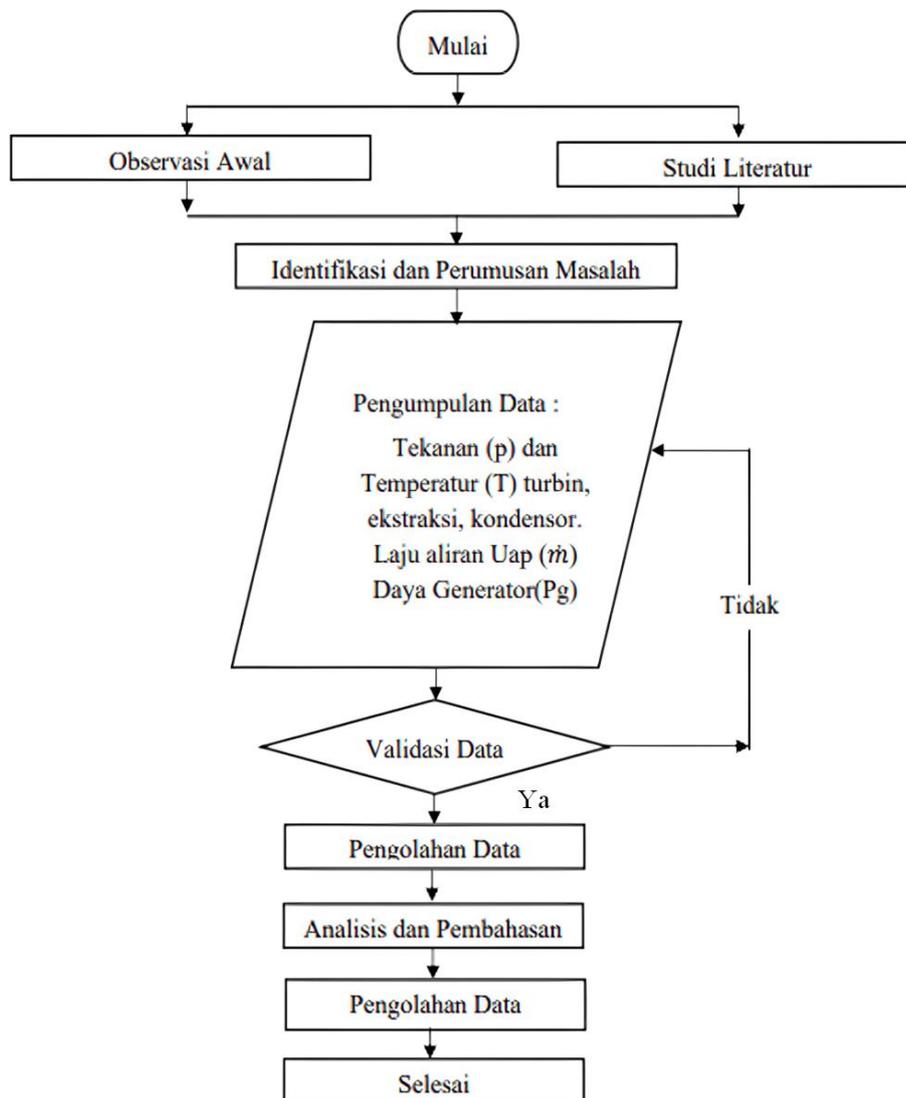
II. METODE PENELITIAN

A. 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.

B. Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri atas beberapa langkah. Adapun langkah-langkah tersebut dapat ditunjukkan berdasarkan flowchart gambar 1 berikut:



Gambar 1. Flowchart penelitian

C. 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)
- m* = Laju aliran massa (kg/s)
- p = Tekanan (bar)
- T = Temperatur (°C)
- h = Entalpi (kJ/kg)
- x = Fraksi uap (%)
- S = Entropi (kJ/kg.K)
- P_g = Daya Generator (MW)
- η = Efisiensi (%)
- SR = Steam Rate

D. 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.

E. 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.

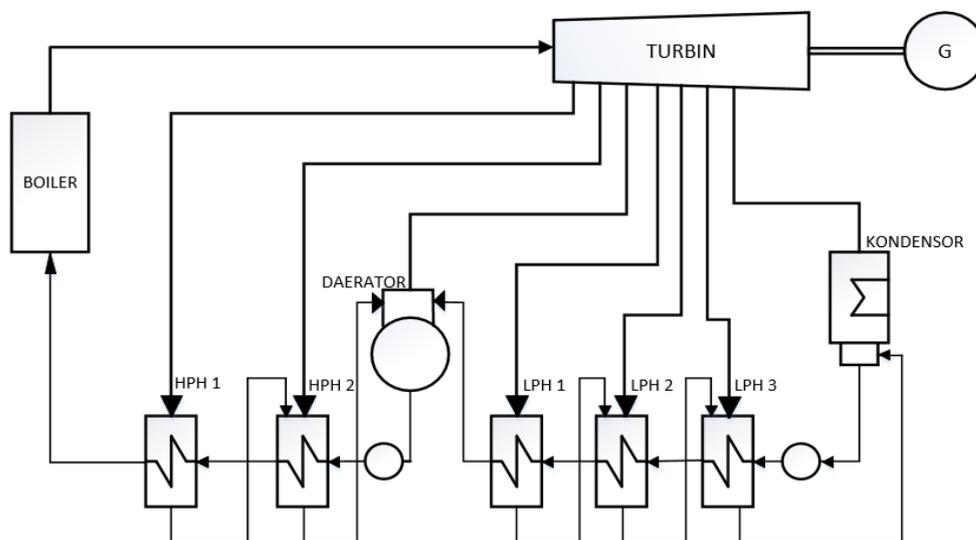
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. 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 2).



Gambar 2. Diagram Turbin dan Ekstraksi PLTU Mamuju

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. Sehingga:

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

b. Kinerja Turbin Kondisi Isentropis

Untuk memulai analisis, perlu diketahui nilai entalpi pada setiap titik. Dengan menggunakan tabel uap maka nilai entalpi dapat diketahui.

$$\begin{aligned} x &= \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = \frac{s - s_f}{s_{fg}} \\ h_{0s} &= hf + x \cdot h_{fg} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} \frac{W_t}{\dot{m}} &= (h_{0s} - h_{1s}) + (h_{1s} - h_{2s}) + (h_{2s} - h_{3s}) + (h_{3s} - h_{4s}) + (h_{4s} - h_{5s}) \\ &\quad + (h_{5s} - h_{6s}) + (h_{6s} - h_{7s}) \\ &= (3356,41 - 2978,77)kJ/kg + (2978,77 - 2892,48)kJ/kg \\ &\quad + (2892,48 - 2802,51)kJ/kg + (2802,51 - 2678,24)kJ/kg \\ &\quad + (2678,24 - 2550,44)kJ/kg + (2550,44 - 2317,70)kJ/kg \\ &\quad + (2317,70 - 2171,61)kJ/kg \\ &= 1184,80 kJ/kg \end{aligned}$$

2. Fraksi Kekeringan Uap (Tabel 1)

Tabel 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

3. Steam Rate

$$\begin{aligned} SR &= \frac{\dot{m}}{P_{generator}} \\ SR &= \frac{96,112 T}{24,1349 H} \\ SR &= 3,98227 T/H \end{aligned}$$

4. Efisiensi Isentropik Turbin

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

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

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

5. Efisiensi Mekanis

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

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

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

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

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

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

B. Analisis kinerja turbin uap setelah *overhaul*

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.

Sehingga:

$$\begin{aligned} \frac{W_t}{\dot{m}} &= (h_0 - h_1) + (h_1 - h_2) + (h_2 - h_3) + (h_3 - h_4) + (h_4 - h_5) + (h_5 - h_6) \\ &\quad + (h_6 - h_7) \\ &= (3429,43 - 3146,14) \text{ kJ/kg} + (3146,14 - 3057,93) \text{ kJ/kg} \\ &\quad + (3057,93 - 2964,1) \text{ kJ/kg} + (2964,1 - 3047,05) \text{ kJ/kg} \\ &\quad + (3047,05 - 2704,12) \text{ kJ/kg} + (2704,12 - 2657,92) \text{ kJ/kg} \\ &\quad + (2657,92 - 2364,19) \text{ kJ/kg} \\ &= 1065,24 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

b. Kinerja Turbin Kondisi Isentropis

Untuk memulai analisis, perlu diketahui nilai entalpi pada setiap titik. Dengan menggunakan tabel uap maka nilai entalpi dapat diketahui.

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

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

Sehingga:

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

2. Fraksi Kekeringan Uap (Tabel 2)

Tabel 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

3. *Steam Rate*

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

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

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

4. Efisiensi Isentropik Turbin

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

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

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

5. Efisiensi Mekanis

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

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

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

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

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

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

C. Tabel Hasil Analisis (Tabel 3-4)

Tabel 3. Tabel Hasil Analisis Data

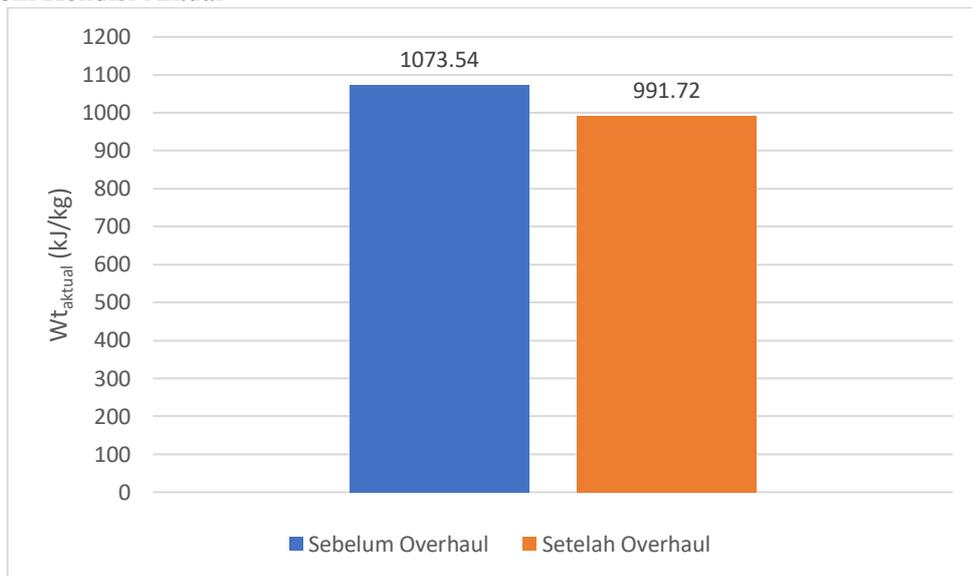
Periode	Entropy (kJ/kg)	Power Generator (kJ/s)	Flow (kg/s)	H Aktual (kJ/kg)	H Isentropis (kJ/kg)	Eff Thermal (%)	WT	EFF Mekanis (%)	Steam Rate (T/H)
18/03/2022 - 17/04/2022	6,75	24134,95	26,70	1074,66	1184,80	90,70	31631,43	69,21	3,98
18/04/2022 - 17/05/2022	6,74	24484,29	26,90	1068,88	1189,68	89,85	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. 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

D. Kinerja Turbin

1. Kinerja Turbin Kondisi Aktual

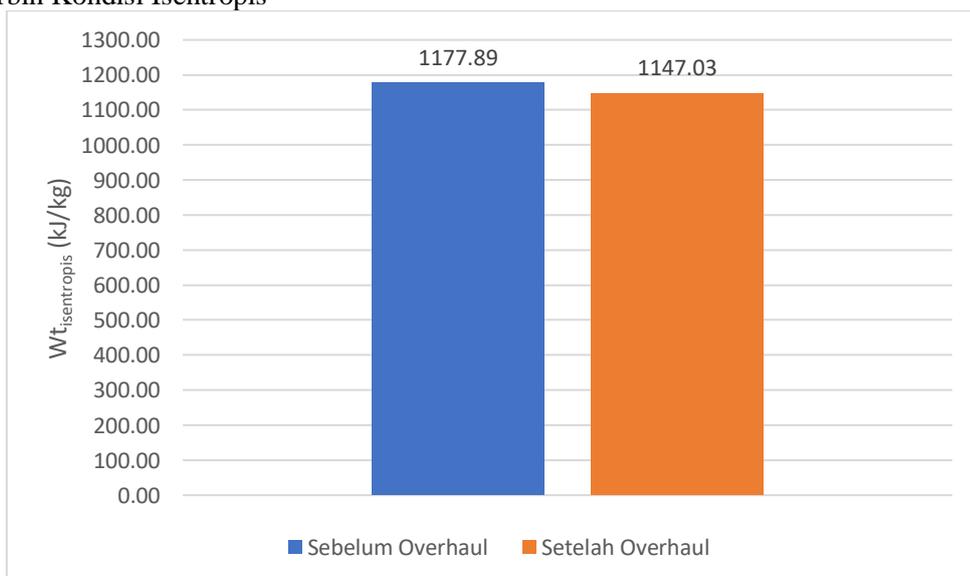


Gambar 3. Grafik Perbandingan Kinerja Turbin Kondisi Aktual

Berdasarkan gambar 3, 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.

2. Kinerja Turbin Kondisi Isentropis

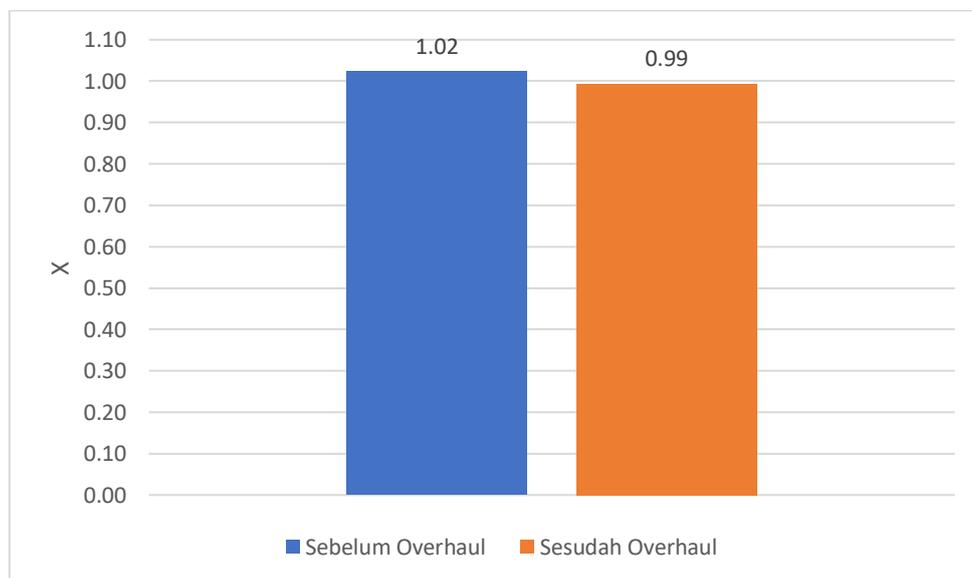


Gambar 4. Grafik Perbandingan Kinerja Turbin Kondisi Isentropis

Berdasarkan gambar 4 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.

3. Fraksi Kekeringan Uap

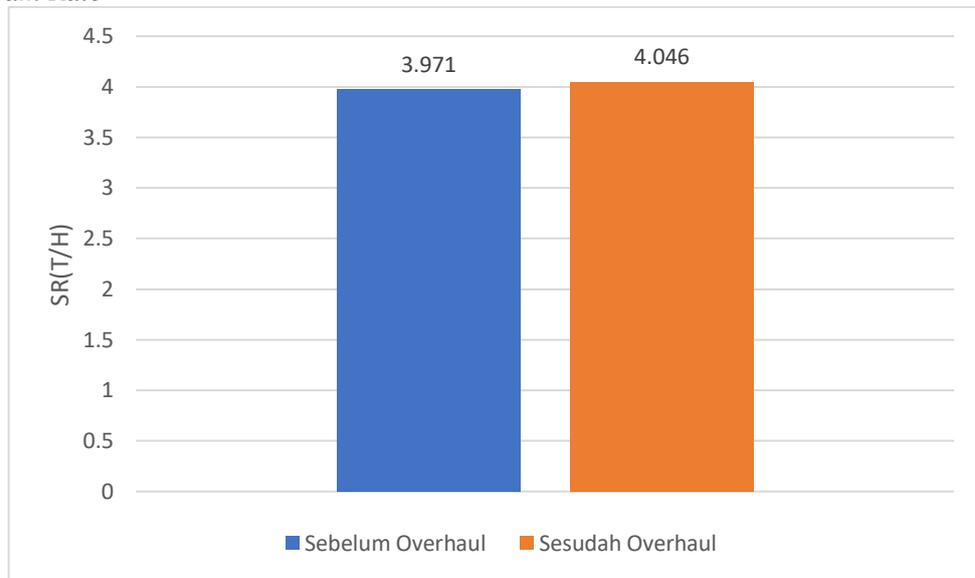


Gambar 5. Grafik Perbandingan Fraksi Kekeringan Uap

Berdasarkan gambar 3.4 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. *Steam Rate*



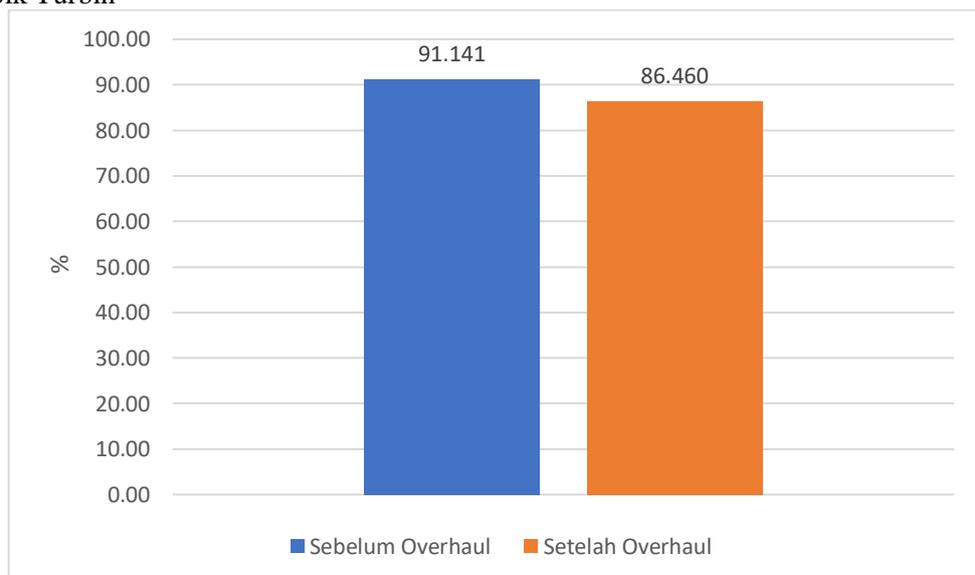
Gambar 6. Grafik Perbandingan *Steam Rate*

Berdasarkan gambar 6 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.

E. Efisiensi Turbin

1. Efisiensi Isentropik Turbin



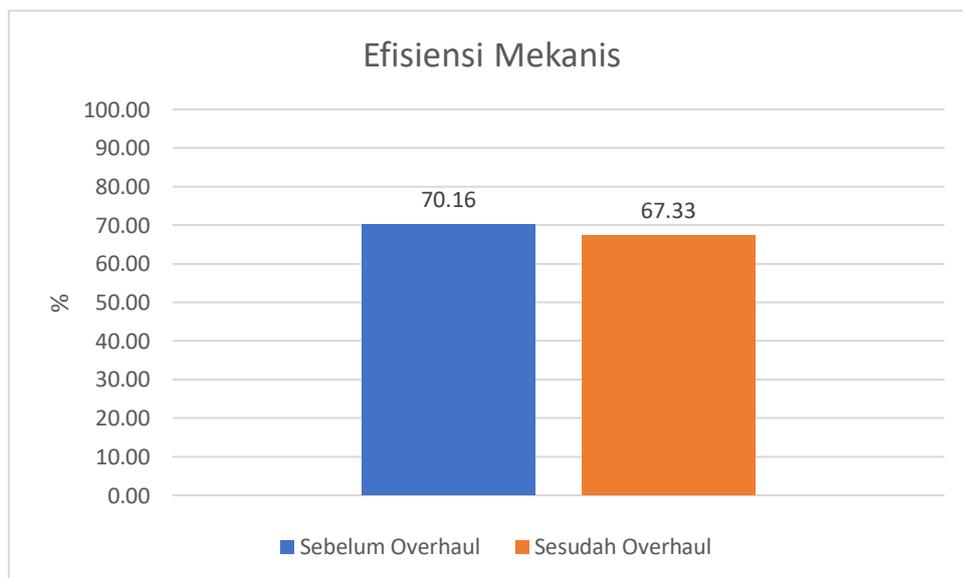
Gambar 7. Grafik Perbandingan Efisiensi Isentropik Turbin

Berdasarkan gambar 7 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.

2. Efisiensi Mekanis Turbin



Gambar 8. Grafik Perbandingan Efisiensi Mekanis Turbin

Berdasarkan gambar 8 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.

IV. KESIMPULAN

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%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Rusin and M. Tomala, "Steam turbine maintenance planning based on forecasting of life consumption processes and risk analysis," *Eksplatacja i Niezawodność*, vol. 24, no. 3, pp. 395-406, 2022.
- [2] M. Tomala and A. Rusin, "Risk-Based Operation and Maintenance Planning of Steam Turbine with the Long In-Service Time," *Energies*, vol. 15, no. 14, p. 5019, 2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/14/5019>.
- [3] P. Shlyakhin, *Turbin Uap*. Jakarta: Erlangga, 1993.
- [4] D. Dewangan, M. Jha, and Y. Banjare, *Reliability Investigation of Steam Turbine Used In Thermal Power Plant*. 2014.
- [5] M. Sabri, A. Sibarani, F. Sabri, and H. Geubrina, "Reliability investigation of steam turbine critical components," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 801, p. 012125, 06/03 2020, doi: 10.1088/1757-899X/801/1/012125.
- [6] Latcovich, "Maintenance and Overhaul of Steam Turbines," presented at the Moscow: International Association of Engineering Insurers, 2005.
- [7] E. Prastyo, "Analisis Kinerja Turbin Uap Sebelum dan Setelah Proses Overhaul di PT PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY Area Kamojang," *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, vol. 6, p. 18, 01/31 2022, doi: 10.32493/jitk.v6i1.14492.
- [8] Y. Sun and X. Han, "Research on Faults and Maintenance Methods of Steam Turbine in Thermal Power Plant," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 677, no. 3, p. 032014, 2019/12/01 2019, doi: 10.1088/1757-899X/677/3/032014.