

KAJIAN EFISIENSI ISENTROPIK TURBIN UAP PADA PT PLN NUSANTARA POWER UP TANJUNG AWAR-AWAR

Hilda Inayah Maulidayanti¹, Ernia Novika Dewi¹, Arif Eko Prasetyo²

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

²PT PLN Nusantara Power UP Tanjung Awar-Awar, Jl. Tanjung Awar-Awar, Tuban 63252, Indonesia
inayahyanti005@gmail.com ; [ernianovika@polinema.ac.id]

ABSTRAK

PT. PLN Nusantara Power UP Tanjung Awar-Awar bergerak di bidang pembangkitan listrik dengan memanfaatkan air laut menjadi uap. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu sumber utama energi listrik di Indonesia, di mana turbin uap menjadi komponen sentral dalam proses konversi energi panas menjadi energi mekanik. Oleh karena itu, efisiensi turbin menjadi faktor krusial dalam menentukan kinerja keseluruhan pembangkit. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi isentropik turbin uap di PT PLN Nusantara Power UP Tanjung Awar-Awar serta mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhinya. Metode yang digunakan melibatkan perhitungan efisiensi isentropik berdasarkan data operasional aktual turbin, seperti tekanan dan suhu uap masuk serta keluaran pada setiap tingkat turbin (tekanan tinggi, menengah, dan rendah), dengan pendekatan siklus Rankine termodinamika dan analisis entalpi-entropi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi isentropik turbin uap di PLTU Tanjung Awar-Awar mencapai 71,15%. Dari Kajian ini dapat disimpulkan bahwa nilai dari efisiensi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor meliputi kondisi operasi turbin (fluktuasi beban), parameter uap (tekanan, suhu uap masuk utama, dan pemanasan ulang), kualitas uap keluar turbin, kevakuman kondensor, kinerja *feedwater heater*, serta kondisi mekanis turbin. Upaya peningkatan efisiensi dapat dilakukan melalui pemeliharaan rutin, optimalisasi tekanan dan suhu uap, serta penerapan sistem pengendalian kehilangan energi yang lebih baik. Optimasi parameter operasi dan perawatan komponen turbin dapat meningkatkan efisiensi sistem pembangkit listrik, sehingga mendukung keberlanjutan operasional PLTU dan ketahanan energi nasional.

Kata kunci: efisiensi isentropik, PLTU, siklus rankine, turbin uap

ABSTRACT

PT. PLN Nusantara Power UP Tanjung Awar-Awar operates in the field of electricity generation, utilizing seawater to produce steam. The Steam Power Plant (PLTU) is a primary source of electrical energy in Indonesia, wherein the steam turbine serves as the central component in the process of converting thermal energy into mechanical energy. Consequently, turbine efficiency is a crucial factor in determining the overall performance of the power plant. This study aims to analyze the isentropic efficiency of the steam turbine at PT. PLN Nusantara Power UP Tanjung Awar-Awar and to identify the factors that influence it. The methodology employed involves the calculation of isentropic efficiency based on actual turbine operational data, such as the inlet and outlet steam pressure and temperature at each turbine stage (high, intermediate, and low pressure), using a thermodynamic Rankine cycle approach and enthalpy-entropy analysis. The calculation results indicate that the isentropic efficiency of the steam turbine at PLTU Tanjung Awar-Awar is 71.15%. This study concludes that this efficiency value is influenced by several factors, including turbine operating conditions (load fluctuations), steam parameters (main inlet steam pressure, temperature, and reheat), turbine exhaust steam quality, condenser vacuum, feedwater heater performance, and the mechanical condition of the turbine. Efficiency enhancement can be achieved through routine maintenance, optimization of steam pressure and temperature, and the implementation of an improved energy loss control system. The optimization of operating parameters and

Corresponding author: Ernia Novika Dewi

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: ernianovika@polinema.ac.id



maintenance of turbine components can increase the power plant's system efficiency, thereby supporting the operational sustainability of the PLTU and national energy resilience.

Keywords: *isentropic efficiency, steam power plant (PLTU), steam turbine, rankine cycle*

1. PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan di sektor industri, properti, dan teknologi, ditambah dengan meningkatnya jumlah penduduk, menyebabkan kebutuhan energi listrik nasional terus bertambah [1]. Kondisi ini menuntut optimalisasi kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) melalui pengembangan sistem pembangkitan yang efisien serta pemanfaatan energi secara optimal, baik dalam proses konversi energi termal maupun dalam penggunaan listrik oleh konsumen [2].

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) merupakan pemasok Listrik terbesar untuk kebutuhan masyarakat di Indonesia, dimana jenis pembangkit ini memanfaatkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan listrik [3]. Konversi energi terjadi melalui pembakaran bahan bakar yang menghasilkan uap bertekanan dan bersuhu tinggi dari boiler sebagai penggerak turbin dan generator [4].

Turbin uap adalah mesin penggerak primer yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik, kemudian mengubahnya lagi menjadi energi mekanis berupa putaran poros baik secara langsung maupun melalui roda gigi reduksi dengan menggerakkan berbagai mekanisme sesuai kebutuhannya [5]. Pada PLTU Tanjung Awar-Awar, pembangkitan listrik dimulai dari pembakaran *High Speed Diesel* (HSD) dan batubara yang menghasilkan energi panas. Energi ini kemudian ditransfer ke fluida kerja melalui radiasi dan konveksi, sehingga fluida mengalami perubahan fasa secara berurutan dari fasa *saturated water*, menjadi *saturater steam*, hingga *superheated steam*. Rangkaian perubahan fasa inilah yang membentuk siklus Rankine, yaitu siklus termodinamika yang umum digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap seperti PLTU Tanjung Awar-Awar [6].

Turbin uap merupakan komponen penting dalam pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) sehingga efisiensinya menjadi faktor penting dalam menentukan kinerja dari keseluruhan sistem. Oleh karena itu, efisiensi turbin uap sangat menentukan kinerja dan konsumsi bahan bakar pada sistem pembangkitan [3]. Salah satu parameter penting yang digunakan untuk mengevaluasi performa turbin uap adalah efisiensi isentropik, yang menunjukkan efektivitas turbin dalam mengkonversi energi panas menjadi kerja mekanik dibandingkan dengan kondisi ideal [7].

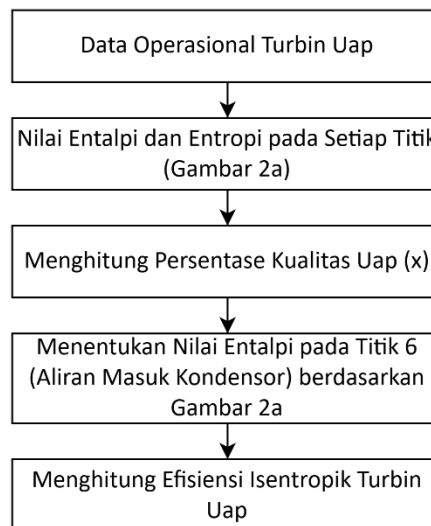
Kajian terdahulu telah membahas pentingnya efisiensi isentropik pada sistem turbin uap. Aprilian (2019) dalam kajiannya pada PLTU berbahan bakar batu bara menunjukkan bahwa efisiensi turbin sangat dipengaruhi oleh tekanan dan suhu uap masuk, serta kondisi kevakuman di kondensor [3]. Sementara itu, Milahussholihah (2018) menyatakan bahwa pemeliharaan rutin komponen turbin seperti sudu dan sistem pelumasan memiliki kontribusi signifikan dalam menjaga efisiensi turbin tetap tinggi [8]. Kajian-kajian terdahulu menjadi acuan dalam pengembangan metode evaluasi efisiensi pada berbagai pembangkit. Namun, sebagian besar studi masih bersifat umum dan belum menyorot data operasional spesifik dari masing-masing unit pembangkit.

Kajian ini menggunakan bentuk analisis efisiensi isentropik turbin uap berdasarkan data operasional aktual di PLTU Tanjung Awar-Awar. PLTU ini menggunakan sistem siklus Rankine dengan bahan bakar utama batu bara. Berbeda dari studi sebelumnya yang bersifat simulatif atau teoritis, Kajian ini menggunakan data riil dari lapangan untuk menghitung efisiensi dan mengevaluasi kinerja turbin secara langsung. Analisis ini juga mengidentifikasi faktor-faktor penyebab kehilangan energi serta memberikan strategi peningkatan efisiensi berdasarkan kondisi teknis dan operasional pembangkit.

Tujuan dari kajian ini adalah untuk menganalisis efisiensi isentropik turbin uap di PT PLN Nusantara Power UP Tanjung Awar-Awar serta mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhinya. Studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan sistem pembangkitan yang lebih efisien dan berkelanjutan, serta menjadi referensi bagi evaluasi teknis di unit-unit pembangkit sejenis di Indonesia.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Kajian ini didasarkan pada data dan kegiatan selama menjalani magang industri yang telah dilaksanakan di PT PLN Nusantara Power UP Tanjung Awar-Awar, Tuban, Jawa Timur pada periode bulan Oktober 2025. Metode yang digunakan bersifat deskriptif-kuantitatif, dengan pendekatan studi kasus terhadap sistem turbin uap pada unit pembangkit. Data operasional aktual yang diperoleh dari *Central Control Room* (CCR) digunakan untuk menghitung efisiensi isentropik turbin uap secara sistematis. Pengambilan data primer meliputi parameter seperti tekanan, temperatur, dan laju alir massa uap dalam berbagai titik pada siklus turbin. Langkah-langkah perhitungan efisiensi turbin uap disajikan dalam diagram alir pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram alir perhitungan efisiensi isentropik turbin uap

Kajian ini mengacu pada efisiensi isentropik turbin secara sistematis dinyatakan dalam rumus (1) [2].

$$\eta_t = \frac{\left(\frac{\dot{W}_t}{\dot{m}}\right)}{\left(\frac{\dot{W}_t}{\dot{m}}\right)_s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan

- η_t : Efisiensi isentropik turbin (%)
- \dot{m} : Laju aliran massa uap (kg/s)
- (W_t/\dot{m}) : Daya turbin aktual per laju aliran massa (kJ/Kg)
- $(W_t/\dot{m})_s$: Daya turbin isentropik per laju aliran massa (kJ/Kg)
- h_1 : Entalpi uap masuk (kJ/Kg)
- h_2 : Entalpi uap keluar saat kondisi aktual (kJ/Kg)
- h_{2s} : Entalpi uap keluar ideal (kJ/Kg)

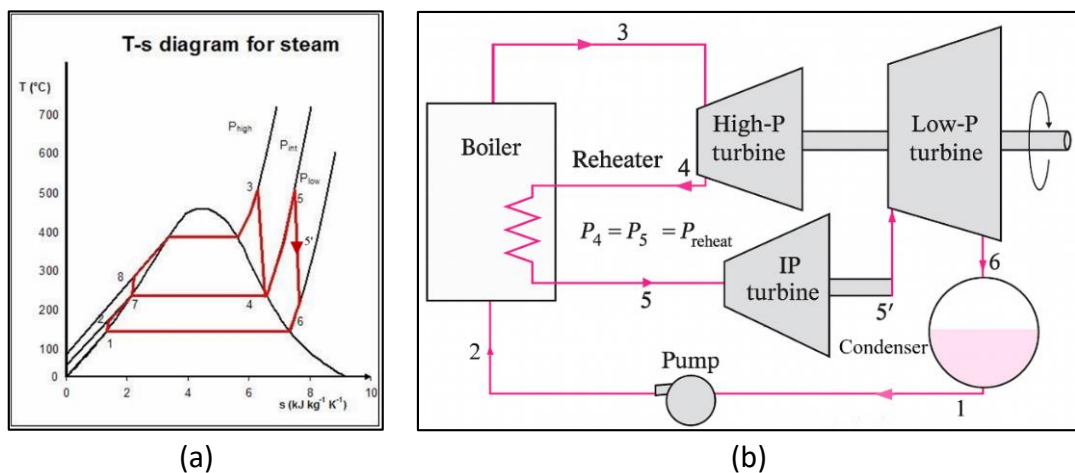
2.1. Data Operasional Turbin Uap

Berdasarkan Gambar 1 diatas, dalam perhitungan efisiensi isentropik turbin uap, diperlukan data operasional yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Data operasional turbin uap PLTU tanjung awar-awar

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Power output actual	334,55	MWh
2	Main steam input temperature	532,12	°C
3	Main steam input pressure	15,17	MPa
4	Flow air	1.111,21	Ton/h
		308,66	kg/s
5	Reheat steam inlet temperature	528,81	°C
6	Reheat steam inlet pressure	3,11	Mpa
7	Condensor vacuum	10,88	kPa
8	Speed	3000	rpm

Kemudian, data operasional yang sudah didapat akan ditentukan nilai entalpi (h) dan entropi (s) pada masing-masing titik mengacu pada diagram siklus rankine pada Gambar 2 berikut [9].



Gambar 2. (a) Diagram T-s siklus rankine pada PLTU Tanjung Awar-Awar (b) Diagram alir siklus rankine pada PLTU Tanjung Awar-Awar

Data hasil menentukan entalpi dan entropi pada setiap titik disajikan pada Tabel 2 dimana nilai-nilai tersebut didapatkan dari appendix *steam table* Geankoplis mengacu pada suhu dan tekanan pada data operasional [10].

Tabel 2. Data operasional turbin uap pada setiap titik

No	Keterangan	P (MPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.°C)
3	Masuk HP Turbin	15,27	532,12	3.399,6	7,65
4	Keluar HP Turbin	3,37	325,94	3.046,05	7,72
5	Masuk IP Turbin	3,11	528,81	3.520,73	8,27
5'	Masuk LP Turbin	0,85	350,7	3.162,36	7,38
6	Masuk kondensor	10,88 kPa	-	-	-

2.2. Menghitung Persentase Kualitas Uap Keluaran Turbin (x)

Pada Gambar 2 dan 4 dapat diketahui bahwa $s_{5'} = s_6$ sehingga nilai keduanya sama, yakni 7,38 kJ/kg.°C. Dari data P_6 (tekanan vakum kondensor) akan dicari nilai entalpi dan entropi pada fase cair dan gas dari dari appendix *steam table* Geankoplis [10] didapatkan.

$$s_f = 0,6709 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$s_g = 8,1193 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$h_f = 198,7482 \text{ kJ/kg}$$

$$h_g = 2.586,8299 \text{ kJ/kg}$$

Kemudian dicari % kualitas uap keluaran turbin (x), Nilai x (kualitas uap) menunjukkan berapa persen massa uap dalam campuran uap dan air cair. Nilai ini sangat penting dalam analisis termodinamika, terutama di titik keluaran turbin atau di dalam kondensor. Berikut persamaan yang digunakan [9].

$$x = \frac{s_6 - s_f}{s_g - s_f} \quad (2)$$

Keterangan:

x : Kualitas uap (fraksi uap; antara 0 hingga 1)

s_6 : Entropi campuran pada titik 6 (kJ/kg)

s_f : Entropi air jenuh (kJ/kg.°C)

s_g : Entropi uap jenuh (kJ/kg.°C)

2.3. Menentukan Nilai Entalpi pada Titik 6 Aliran Masuk Kondensor (h_6)

Dari persamaan (2) didapatkan nilai x (kualitas uap keluaran turbin) yang digunakan untuk menghitung nilai h_6 (aliran masuk kondensor) menggunakan persamaan berikut [9].

$$x = \frac{h_6 - h_f}{h_g - h_f} \quad (3)$$

Keterangan:

x : Kualitas uap (fraksi uap; antara 0 hingga 1)

h_6 : Entalpi campuran pada titik 6 (kJ/kg)

h_f : Entalpi air jenuh (kJ/kg)

h_g : Entalpi uap jenuh (kJ/kg)

2.4. Menghitung Efisiensi Isentropik Turbin

Efisiensi merupakan ukuran performa konversi energi oleh suatu mesin [11], sehingga efisiensi turbin dapat dihitung menggunakan persamaan 4 dan 5 [9].

$$W_{\text{isentropik}} = m \times \{(h_5 - h_4) + (h_5 - h_{5'}) + (h_{5'} - h_6)\} \quad (4)$$

$$\eta_{\text{isentropik}} = \frac{W_{\text{aktual}}}{W_{\text{isentropik}}} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan:

$\eta_{\text{isentropik}}$: Efisiensi Isentropik Turbin (%)

W_{aktual} : Kerja aktual turbin (MWh)

$W_{\text{isentropik}}$: Kerja perhitungan isentropik (MWh)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Turbin Uap PLTU Tanjung Awar-Awar

Turbin memiliki peran penting dalam pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), yaitu mengubah energi panas dari uap menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran. Uap bertekanan dan bertemperatur tinggi dialirkan melalui *nozzle*, sehingga kecepatannya meningkat dan diarahkan untuk mendorong sudu-sudu turbin yang terpasang pada poros. Dorongan ini menyebabkan poros turbin berputar, menghasilkan energi mekanik yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan generator [3]. Gambar 3 berikut merupakan turbin uap yang digunakan pada PLTU Tanjung Awar-Awar.



Gambar 3. Turbin uap pada PLTU Tanjung Awar-Awar

Prinsip kerja turbin uap melibatkan konversi energi panas dari uap kering menjadi energi mekanik untuk menggerakkan poros turbin. Uap kering dari superheater, yang memiliki suhu dan tekanan tinggi, pertama kali dialirkan ke turbin tekanan tinggi (HP Turbine). Di dalam turbin ini, terdapat sudu tetap dan sudu gerak yang dirancang untuk mengekspansikan uap, sehingga energi kinetik uap dapat dimanfaatkan untuk memutar poros turbin. Proses ini menyebabkan penurunan suhu dan tekanan uap [12].

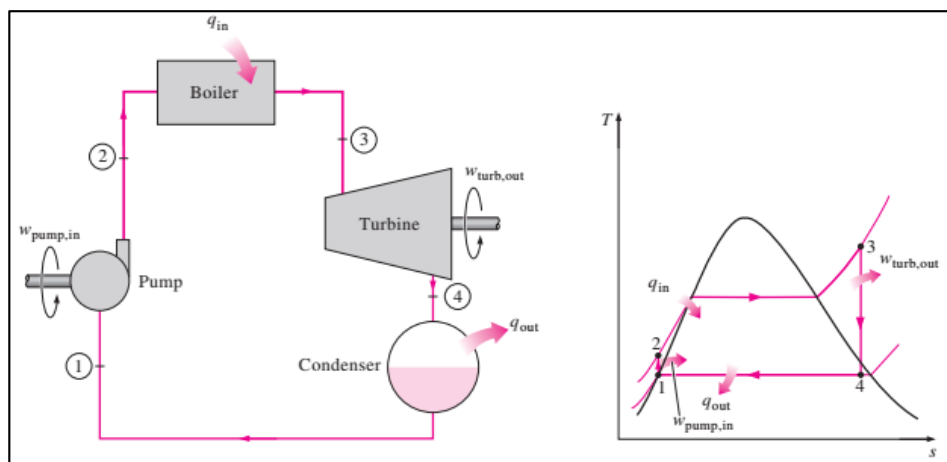
Setelah melewati HP Turbine, uap akan dikembalikan ke boiler untuk dipanaskan kembali (*reheat*) kemudian keluarannya akan dialirkan menuju turbin tekanan menengah (IP Turbine), di mana sudu-sudu IP Turbine melanjutkan proses konversi energi untuk memperkuat putaran poros. Uap kemudian memasuki turbin tekanan rendah (LP Turbine),

yang menjadi tahap terakhir dalam menghasilkan energi mekanik. Gerakan sudu-sudu di ketiga tahap turbin (HP, IP, dan LP) memberikan energi rotasi yang diteruskan ke generator untuk menghasilkan listrik [12].

Selama proses, sisa-siap uap untuk memutar turbin akan diekstraksi untuk digunakan dalam pemanasan sistem seperti heater dan deaerator, yang berfungsi meningkatkan efisiensi siklus termal dengan memanaskan air umpan. Setelah melewati turbin LP, uap didinginkan dan dikondensasikan menjadi air di dalam kondensor. Proses kondensasi ini terjadi dengan bantuan pendingin, seperti air laut, yang memastikan efisiensi tinggi dengan memulihkan air untuk siklus berikutnya dalam sistem pembangkit [12].

3.2. Perhitungan Efisiensi Isentropik Turbin Uap

Perhitungan efisiensi isentropik turbin uap pada PLTU Tanjung Awar-Awar menggunakan model termodinamika siklus rankine, yang merupakan dasar dalam pengoperasian pembangkit listrik tenaga uap dimana perpindahan panasnya terjadi secara isothermal [13]. Fokus analisis terletak pada perhitungan efisiensi isentropik turbin uap yang merupakan sebuah parameter yang menyatakan derajat keberhasilan atau sistem kerja turbin mendekati proses ideal dengan satuan persen (%) [14]. Dari data operasional turbin uap yang nantinya akan digunakan untuk menentukan nilai entalpi dan entropi pada masing-masing titik seperti pada Gambar 4, selanjutnya hasil yang diperoleh akan digunakan untuk menghitung nilai kualitas uap keluaran turbin (x) sehingga didapatkan nilai entalpi pada keluaran kondensor (h_6). Setelah semua data yang diperlukan tersedia, maka bisa digunakan untuk menghitung efisiensi isentropik turbin uap menggunakan persamaan (4) dan (5). Berikut merupakan diagram T-s siklus rankine [9].



Gambar 4. Siklus rankine dan komponen utama pada PLTU

Siklus Rankine ideal biasanya digambarkan menggunakan diagram suhu-entropi (T-s) dan entalpi-entropi (h-s). Siklus Rankine ideal terdiri dari empat proses utama:

- 1-2: kompresi isentropik cairan jenuh (*saturated liquid*) dari kondensor dikompresi menggunakan pompa hingga mencapai tekanan operasi boiler. selama proses ini, suhu cairan meningkat akibat penurunan volume spesifiknya.
- 2-3: pemanasan isobarik cairan terkompresi memasuki boiler dan dipanaskan pada tekanan konstan hingga menjadi uap *superheated*. panas yang ditambahkan di boiler

mengubah cairan menjadi uap, dan keseluruhan sistem boiler disebut steam generator.

- c) 3-4: ekspansi isentropik uap *superheated* dari boiler memasuki turbin untuk diekspansikan secara isentropik. proses ini menghasilkan energi mekanis untuk memutar poros turbin yang terhubung dengan generator listrik, sehingga energi listrik dapat dihasilkan. selama proses ini, tekanan dan suhu uap menurun.
- d) 4-1: pelepasan panas isobarik dan *isothermal* uap yang keluar dari turbin, biasanya dalam kondisi uap jenuh, masuk ke kondensor untuk dikondensasi pada tekanan konstan menjadi cairan jenuh (*saturated liquid*). Cairan ini kemudian kembali ke pompa untuk melengkapi siklus.

Hasil perhitungan efisiensi turbin uap PLTU Tanjung Awar-Awar dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan efisiensi turbin uap PLTU Tanjung Awar-Awar

No	Parameter	Hasil Perhitungan
1	Kualitas Uap (x)	0,9012
2	h_6	2.350,86 kJ/kg
3	W isentropik	470,23 MWh
4	W aktual	334,55 MWh
5	$\eta_{\text{isentropik}}$	71,15%

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan efisiensi isentropik turbin uap di PLTU Tanjung Awar-Awar sebesar 71,15% mencerminkan kemampuan sistem mengubah energi panas menjadi kerja mekanis. Dari hasil perhitungan efisiensi isentropik yang tidak 100% menunjukkan bahwa tidak semua energi panas uap diubah menjadi putaran turbin. Hal ini tampak dari perbedaan kerja aktual antara fluida masuk dan keluar turbin. Menurut Hukum Termodinamika II, energi secara alami akan mengalir dari suhu tinggi ke suhu rendah, sehingga sebagian panas uap terbuang ke komponen turbin seperti *casing*, kopling, dan poros yang mengalami peningkatan temperatur. Akibatnya, efisiensi konversi energi pada turbin tidak dapat mencapai 100 % [3].

Efisiensi ini dihitung dari perbandingan kerja aktual turbin dengan kerja ideal isentropik, di mana proses ideal diasumsikan tanpa perubahan entropi (ukuran energi tak terkonversi menjadi kerja). Pada kondisi nyata, faktor seperti gesekan internal, kebocoran uap, ketidaksempurnaan material, dan fluktuasi operasional meningkatkan entropi, sehingga kerja aktual lebih rendah dari ideal. Semakin kecil selisih kerja aktual dan ideal per satuan aliran massa uap, semakin tinggi efisiensi. Sebaliknya, selisih besar menandakan kerugian energi yang mengurangi kinerja turbin [7].

3.3. Analisis Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Turbin Uap

Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai efisiensi dari turbin uap diantaranya ada kualitas uap (x). Fraksi uap ideal (0,88) lebih rendah daripada aktual (0,9012), menunjukkan ketidaksempurnaan dalam proses konversi energi. Parameter seperti massa uap, entalpi, dan energi input turut berperan, energi input tinggi memungkinkan lebih banyak panas diubah menjadi kerja mekanis [2].

Di sisi lain, kevakuman kondensor yang optimal dapat meningkatkan efisiensi dengan menurunkan tekanan keluaran turbin, mempercepat kondensasi uap. Namun, kevakuman berlebihan berisiko menyebabkan kondensasi berlebih yang memicu erosi bilah turbin [9]. Tekanan vakum ini bergantung pada suhu air pendingin dimana semakin rendah suhu, semakin tinggi kevakuman. Semakin turun tekanan vakum kondensor mengakibatkan semakin berkurangnya daya yang dibangkitkan oleh turbin uap sehingga efisiensi siklus PLTU juga akan semakin kecil [15].

Feedwater heater turut memengaruhi efisiensi sistem dengan memanfaatkan uap ekstraksi dari turbin untuk memanaskan air umpan sebelum masuk ke boiler. Pemanasan awal ini mengurangi energi yang diperlukan untuk menghasilkan uap *superheated* di boiler, sehingga meningkatkan efisiensi termal siklus [16]. Efisiensi termal turbin juga berbanding terbalik dengan nilai *Turbine Heat Rate* (THR). Nilai THR rendah menandakan efisiensi lebih baik karena energi per kWh listrik yang dihasilkan lebih sedikit [12].

Suhu *main steam* yang tinggi yaitu sekitar 535°C sesuai manual operasi menghasilkan uap berenergi tinggi, meningkatkan kerja turbin, dan efisiensi isentropik. Tekanan keluaran turbin yang rendah juga mendukung kondensasi yang lebih efisien, melepas panas lebih optimal [7]. Penurunan suhu dan tekanan ini menyebabkan penurunan energi yang tersedia untuk dikonversi menjadi energi mekanik oleh turbin, sehingga entalpi aktual turbin menurun [17].

Penurunan efisiensi dapat terjadi karena melemahnya kinerja generator dan bertambahnya kerugian mekanik, terutama rugi-rugi gesekan. Gesekan pada bantalan serta hambatan udara (*windage*) akibat turbulensi putaran jangkar turut menambah kerugian energi. Faktor lain seperti kebersihan bilah turbin, keausan komponen mekanis, dan kualitas bahan bakar turut menentukan kinerja. Kotoran pada bilah meningkatkan hambatan aliran uap, sementara keausan komponen memperbesar gesekan. Selain itu, kualitas bahan bakar berkualitas rendah dapat mengganggu stabilitas pemanasan uap [6].

Peningkatan efisiensi isentropik dapat dilakukan melalui optimalisasi perpindahan kalor, pemeliharaan rutin untuk meminimalkan gesekan, serta pengendalian parameter operasional seperti suhu, tekanan, dan kevakuman. Inovasi material bilah turbin tahan erosi dan pemantauan berkelanjutan juga diperlukan. Dengan langkah-langkah ini, efisiensi dan daya listrik yang dihasilkan dapat ditingkatkan, sekaligus menjaga keandalan dan keberlanjutan sistem PLTU.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Proses konversi energi di PLTU Tanjung Awar-Awar melibatkan pembakaran batu bara untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi, yang kemudian menggerakkan turbin bertahap (HP, IP, LP) dan memutar generator hingga menghasilkan listrik. Efisiensi isentropik turbin uap hasil perhitungan didapatkan nilai sebesar 71,15%, menunjukkan optimalisasi yang baik dalam transformasi energi. Faktor kunci yang memengaruhi efisiensi meliputi kualitas uap (suhu dan tekanan), tingkat kevakuman kondensor, serta kondisi mekanis komponen turbin. Peningkatan efisiensi dapat dicapai melalui pengurangan kebocoran energi, perawatan berkala, dan integrasi teknologi untuk mempertahankan kinerja sistem.

Untuk meningkatkan efisiensi energi di PLTU Tanjung Awar-Awar, disarankan melakukan optimalisasi suhu dan tekanan uap masuk, serta menjalankan pemeliharaan rutin

pada bilah turbin guna mencegah penumpukan kerak dan mengurangi gesekan mekanis. Penggunaan material bilah yang tahan panas dan perawatan optimal pada bantalan serta poros turbin juga penting untuk menjaga kinerja. Selain itu, pengoptimalan penggunaan *reheater* dan *feedwater heater* diharapkan dapat meningkatkan kualitas uap dan menekan konsumsi energi selama proses pembangkitan listrik.

REFERENSI

- [1] P. S. Lumbantoruan, Yandri, dan K. H. Khwee, "The Influence of Turbine Output Power on The Efficiency of The Generator PLTU Sintang (3 x 7 MW)," *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, vol. 12, no. 1, hlm. 319–330, Apr 2024, doi: 10.26418/j3eit.v12i1.76262.
- [2] E. Yohana dan R. Romadhon, "Analisa Efisiensi Isentropik dan Exergy Destruction Pada Turbin Uap Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap," *ROTASI Jurnal Teknik Mesin*, vol. 19, no. 2, hlm. 134–138, 2017.
- [3] A. R. Aprilian, "Laporan Kerja Praktik Analisa Efisiensi Turbin Uap Pada STG 2.0 PLTGU PT. Indonesia Power Semarang PGU," Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya, 2019.
- [4] A. R. Subuhqi, E. Megawati, dan I. K. Warsa, "Analisa Efisiensi Turbin pada Beban Maksimal di PLTU PT. X Unit 3 Kapasitas 1 X 60 MW dengan Pendekatan Siklus Rankine Ideal Regeneratif," *PETROGAS: Journal of Energy and Technology*, vol. 6, no. 1, hlm. 1–6, Mar 2024.
- [5] A. C. Siagian, K. Sinulingga, dan K. Tarigan, "Analisa Performance Kerja Turbin Uap Mitsubishi-LTD Tipe 10 HL-11 dengan Putaran 3000 Rpm Di T Sorik Marapi Geothermal Power," *Jurnal Teknologi Mesin Uda*, vol. 5, no. 1, hlm. 145–152, 2024.
- [6] D. Cahyadi dan Hermawan, "Analisa Perhitungan Efisiensi Turbine Generator QFSN-300-2-20B Unit 10 dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU Rembang," Universitas Diponegoro, Semarang, 2015.
- [7] I. D. Alber, B. Fajar, T. Kiono, dan U. Harmoko, "Analisa Efisiensi Isentropik Turbin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap," *Jurnal Ilmiah Indonesia*, vol. 7, no. 7, 2022.
- [8] Milahussholihah, "Analisa Perbandingan Performa Turbin Uap Sebelum dan Setelah Overhaul pada Beban 175 MW di PLTU Unit 4 PT. PJB UP Gresik," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2018.
- [9] Cengel Y. A. dan Ghajar A. J., *Heat and mass transfer: Fundamentals and applications*, 5 ed. New York, NY: McGraw-Hill Professional, 2014.
- [10] C. J. Geankoplis, *Transport Processes and Unit Operations*, 3 rd., vol. 49, no. 9. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall International, Inc., 1993.
- [11] P. Fantika Wulandari, D. Lutfiananda, K. Sumada, dan L. Suprianti, "Unjuk Kerja dan Efisiensi Turbin Uap dan Generator (TG-65) pada Pembangkit Listrik Unit Sistem Utilitas Departemen Produksi IIIA PT Petrokimia Gresik," *Sinergi Polmed: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 4, no. 1, hlm. 67–74, 2023, [Daring]. Tersedia pada: <http://ojs.polmed.ac.id/index.php/Sinergi/index>
- [12] Jamaludin dan I. Kurniawan, "Analisis Perhitungan Daya Turbin yang Dihasilkan dan Efisiensi Turbin Uap pada Unit 1 dan Unit 2 di PT. Indonesia Power Uboh UJP Banten 3

- Lontar,” *Motor Bakar: Jurnal Teknik Mesin*, no. 2, Nov 2017, doi: 10.31000/MBJTM.V1I2.731.
- [13] Michael J. Moran, Howard N. Shapiro, Daisie D. Boettner, dan Margaret B. Bailey, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics 9th edition*, 9th ed. New York, NY: John Wiley & Sons, 2014.
- [14] E. Saputro dan A. Mursadin, “Analisis Efisiensi Turbin Uap Unit 1 di PT. PJB UBJOM PLTU Pulang Pisau Kalimantan Tengah,” *Jurnal Tugas Akhir Mahasiswa ROTARY*, vol. 3, no. 1, hlm. 57–67, 2021.
- [15] Sudirmanto dan A. R. Effendi, “Analisis Perubahan Tekanan Vakum Kondensor Terhadap Kerja Turbin Dan Produksi Listrik PLTU Unit 1 Sebalang Menggunakan Simulasi Cycle Tempo,” *Jurnal Power Plant*, vol. 8, no. 1, 2020.
- [16] B. A. Mustofa, Sunarwo, dan Supriyo, “Analisa Heat Rate pada Turbin Uap Berdasarkan Performance Test PLTU Tanjung Jati B Unit 3,” *EKSERGI Jurnal Teknik Energi*, vol. 10, no. 3, hlm. 72–77, 2014.
- [17] S. Maarif, “Analisis Kinerja Turbin Uap Sebelum dan Sesudah Overhaul pada Unit 1 PLTU Mamuju,” Politeknik Negeri Ujung Padang, Makassar, 2022.