

Analisa Performansi Turbin Uap Kapasitas 1,8 MW pada Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 50 Ton/Jam

Zulham Effendi^{*}, Ika Ucha P Rangkuti², Elprida Kristina Sitanggang³

¹ Prodi D4 Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, Institut Teknologi Sawit Indonesia
Jl. Rumah Sakit H., Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang,
Sumatera Utara

² Prodi D4 Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, Institut Teknologi Sawit Indonesia
Jl. Rumah Sakit H., Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang,
Sumatera Utara

³ Prodi D4 Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, Institut Teknologi Sawit Indonesia
Jl. Rumah Sakit H., Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang,
Sumatera Utara

^{*} Corresponding author: elfridasitanggang950@gmail.com

Abstract

The steam turbine is an energy source or prime mover that converts potential energy into kinetic energy and then converts kinetic energy into mechanical energy in the form of rotation of the turbine shaft. To see the ability of the turbine to convert heat energy into mechanical energy, it is necessary to know the comparison between actual work and ideal work called isentropic efficiency. The purpose of this study is to determine the comparison of power and isentropic efficiency of steam turbines based on specification data and operational data, and determine the highest power and isentropic efficiency in each operational data on a steam turbine with a capacity of 50 tons / hour. This research was conducted using the Quantitative Descriptive method based on primary data and secondary data on steam turbines. The value of isentropic efficiency is influenced by steam pressure and turbine inlet temperature, steam mass rate, power and turbine tool design. The results showed that the isentropic efficiency of the steam turbine obtained based on the specification data was 44.09% and the highest isentropic efficiency value when the steam turbine was operating was 22.16%. During operation, the highest efficiency was obtained at an inlet steam pressure of 27 bar, an outlet steam pressure of 3.4 bar and a steam quality of 0.866. The high isentropic efficiency of the steam turbine is influenced by temperature, inlet steam pressure and outlet steam pressure, as well as the lifetime or age of the turbine used in a palm oil processing plant.

Keywords: power, isentropic efficiency, temperature, pressure

Abstrak

Turbin uap merupakan sumber energi atau penggerak mula yang mengubah energi potensial menjadi energi kinetik dan kemudian mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik berupa putaran poros turbin. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan perbandingan daya dan efisiensi isentropik turbin uap berdasarkan data spesifikasi dan data operasional, serta menentukan daya dan efisiensi isentropik tertinggi pada setiap data operasional pada turbin uap kapasitas 50 ton/jam. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode Deskriptif Kuantitatif berdasarkan data primer dan data sekunder pada turbin uap. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi isentropik turbin uap yang didapatkan berdasarkan data spesifikasi adalah 44,09% dan efisiensi isentropik tertinggi pada saat turbin uap beroperasi adalah 22,16%. Dimana pada saat beroperasi, efisiensi tertinggi diperoleh dalam tekanan uap masuk 27 bar, tekanan uap keluar 3,4 bar dan mutu uap memiliki nilai 0,866. Tingginya efisiensi isentropik turbin uap dipengaruhi oleh suhu, tekanan uap masuk dan tekanan uap keluar, serta lifetime atau usia turbin yang digunakan dalam suatu pabrik pengolahan kelapa sawit.

Kata kunci: daya; efisiensi isentropik; suhu; tekanan

1. Pendahuluan

Dalam pembangunan suatu negara, energi listrik merupakan energi yang paling penting [1]. Hal ini dibuktikan dengan konsumsi listrik yang semakin meningkat yang diperlukan perkapita negara setiap

tahunnya. Salah satu industri yang memerlukan energi listrik dalam jumlah besar adalah industri kelapa sawit [2].

Pabrik Kelapa Sawit (PKS) merupakan suatu industri yang mengolah kelapa sawit menjadi minyak mentah atau

Crude Palm Oil dan *Palm Kernel Oil* (PKO). Dalam pengolahannya, terdiri atas beberapa stasiun yang memiliki mesin-mesin serta peralatan yang memerlukan energi listrik dalam jumlah besar untuk menggerakkannya. Sumber energi pada pabrik kelapa sawit berasal dari stasiun pembangkit tenaga. Alat/mesin yang terdapat pada stasiun pembangkit tenaga yaitu ketel uap (*boiler*), *generator set* (*genset*), *Back Pressure Vassel* (BPV) dan turbin uap [3]. *Boiler* merupakan mesin penghasil uap (*steam*) yang diperoleh melalui pemanasan air di dalam pipa, dimana uap yang dihasilkan akan dikonversi menjadi energi listrik melalui turbin uap [4]. Turbin uap dapat diartikan sebagai penggerak mula generator dan proses industri [5]. *Generator set* adalah sebuah alat yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. BPV merupakan bejana tekan yang menampung *steam* dari *exhaust turbine* sebelum didistribusikan ke masing-masing stasiun Turbin uap juga merupakan suatu pembangkit tenaga yang termasuk ke dalam kelompok pesawat-pesawat konversi [6]. Dalam turbin uap, terjadi konversi yang mengubah energi potensial uap dari ketel uap (*boiler*) menjadi energi kinetik, kemudian energi kinetik diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros baik langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Hasil konversi energi tersebut digunakan sebagai penggerak mula generator untuk membangkitkan energi listrik yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan listrik pabrik kelapa sawit [7].

Turbin uap merupakan pembangkit tenaga penghasil listrik yang banyak digunakan di dalam industri, salah satunya adalah penggerak mula generator untuk membangkitkan energi listrik [8]. Salah satu faktor yang menjadi pertimbangan dalam memilih turbin uap pada pabrik kelapa sawit adalah mudahnya memperoleh bahan bakar dan harganya juga relatif murah dibanding bahan bakar fosil, yaitu dengan memanfaatkan limbah dari pengolahan

kelapa sawit seperti serabut (*fiber*), cangkang (*shell*) dan tandan kosong (*empty bunch*) sebagai bahan bakar boiler. Selain itu, dalam pembuatan dan penggunaannya turbin uap juga merupakan instalasi yang mudah dan hemat biaya operasional, serta mudah dalam perawatannya [5].

Dalam konteks turbin uap, efisiensi isentropik adalah perbandingan antara kerja aktual dan kerja ideal dari turbin uap yang dapat dicapai dalam kondisi isentropik [9]. Nilai efisiensi isentropik turbin uap mempengaruhi kinerja turbin dan pembangkit listrik secara keseluruhan. Tinggi rendahnya efisiensi turbin dipengaruhi oleh daya yang dikeluarkan oleh turbin uap dan entalpi dari steam pada turbin uap serta laju aliran massa [10]

Berdasarkan uraian di atas jelas bahwa pembangkit tenaga uap adalah suatu hal yang sangat vital dalam proses pengolahan kelapa sawit menjadi minyak mentah (*Crude Palm Oil*) dan *Palm Kernel Oil* (PKO). Dalam sistem ini, turbin adalah salah satu alat yang sangat mempengaruhi kinerja dari keseluruhan sistem. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian “Analisa Performansi Turbin Uap Kapasitas 1,8 MW pada Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 50 Ton/Jam”. Tujuannya yaitu untuk menganalisis performansi turbin uap pada pabrik kelapa sawit kapasitas 50 ton/jam, dengan menghitung daya dan efisiensi isentropik daya yang dihasilkan turbin uap berdasarkan data spesifikasi dan data operasional.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di salah satu pabrik kelapa sawit swasta kapasitas 50 ton/jam di Desa Begerpang, kecamatan Galang, kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. Waktu penelitian selama 14 hari, pada periode 3 – 16 Oktober 2023.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder dan primer yang berasal dari :

- Tekanan inlet/tekanan uap masuk turbin (P1)

- Tekanan outlet/tekanan uap keluar turbin (P₂)
- Temperature inlet/ temperature uap masuk turbin (T₁)
- Daya turbin uap (MW)
- Laju aliran uap (ton/jam)
- *Steam table*

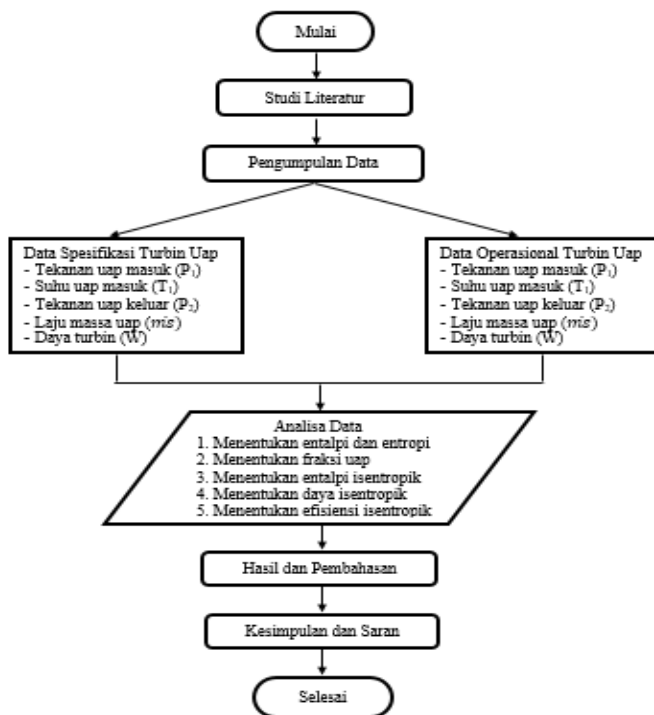
Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Turbin uap pabrik kelapa sawit
- Alat tulis
- Ear plug (penutup telinga)
- Termometer

2.1 Tahapan penelitian

a. Data Spesifikasi Turbin Uap

Melakukan pengambilan data melalui name plate yang terdapat pada bagian turbin uap, yang meliputi tekanan uap masuk turbin (Bar), temperatur uap masuk turbin (°C), tekanan uap keluar turbin (Bar), daya turbin uap (MW), dan laju aliran uap (ton/jam).



Gambar 1. Skema penelitian

b. Data Operasional

Pengambilan data operasional dilakukan setiap 1 jam sebanyak 5 kali dalam satu hari, dengan melihat panel pada turbin uap. Untuk memperoleh data yang

lebih akurat, pengambilan data dilakukan selama 5 hari berturut-turut.

c. Analisa Data

Setelah data spesifikasi dan data operasional terkumpul, dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan efisiensi isentropik. Data-data yang diperoleh kemudian di analisa untuk memperoleh tabel dan grafik sebagai hasil penelitian.

2.2 Pengamatan dan Indikator

Pengamatan dilakukan terhadap turbin uap kapasitas 1,8 MW dengan indikator yang mempengaruhi efisiensinya adalah sebagai berikut:

a. Entalpi (Q) dan Entropi (S)

Untuk menentukan nilai entalpi dan entropi pada steam table, diperlukan data tekanan dan suhu uap masuk dan uap keluar dari turbin. Data suhu dan tekanan yang diperoleh kemudian diinterpolasi untuk memperoleh nilai entalpi dan entropi yang sesuai di steam table [11].

b. Fraksi Uap (X)

Nilai fraksi uap diperoleh melalui selisih dan perbandingan entropi. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut [12].

$$X_{2s} = \frac{S_2 - S_f}{S_f g}$$

Keterangan =

X_{2s} : Fraksi Uap

S₂ : Entropi outlet turbin (kJ/kgK)

S_f : Entropi cairan jenuh (kJ/kgK)

S_{fg} : Entropi penguapan (kJ/kgK)

c. Entalpi Isentropik

Entalpi isentropik ditentukan menggunakan parameter entalpi cair-jenuh (h_f), fraksi uap (X_{2s}) dan entalpi penguapan (h_{fg}).

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

Keterangan =

h_{2s} : Entalpi isentropik/uap keluar ideal (kJ/kg)

X_{2s} : Fraksi Uap

h_f : Entalpi cairan jenuh (kJ/kg)

hfg : Entalpi penguapan (kJ/kg)

d. Laju Massa Uap

Laju aliran uap diperoleh berdasarkan data spesifikasi dan data operasional pabrik yang terdapat pada salah satu panel di boiler [13].

e. Daya Isentropik Turbin Uap

Daya isentropik turbin uap adalah besarnya energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin uap. Daya turbin uap dihitung dengan rumus di bawah ini [12].

$$W_{isentropik} = \dot{m}s \times (h_1 - h_{2s})$$

Keterangan =

Wisentropik : Daya isentropik (kJ/kg)

$\dot{m}s$: Laju massa uap (kg/s)

h_1 : Entalpi uap masuk (kJ/kg)

h_{2s} : Entalpi isentropik (kJ/kg)

f. Efisiensi Isentropik Turbin Uap

Efisiensi ditentukan menggunakan sebuah persamaan dengan parameter entalpi inlet (h_1), nilai entalpi outlet (h_2) dan entalpi isentropik (h_{2s}) [14].

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \times 100\%$$

Keterangan =

η_{turbin} : Efisiensi isentropik turbin uap (%)

h_1 : Entalpi uap masuk (kJ/kg)

h_2 : Entalpi uap keluar saat kondisi aktual (kJ/kg)

h_{2s} : Entalpi isentropik (kJ/kg)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data Spesifikasi Turbin Uap

Tabel 1. Data spesifikasi turbin uap

Daya	1,8 MW
Putaran turbin	5424 rpm
Putaran turbin keluar	1500
Tekanan uap masuk	31 bar
Tekanan uap keluar	4,5 bar
Temperatur	270°C

Dari penelitian yang telah dilaksanakan, diperoleh data spesifikasi turbin uap pada pabrik kelapa sawit kapasitas 50 ton/jam sebagaimana ditampilkan Tabel 1.

3.2 Daya dan Efisiensi Isentropik Turbin Uap berdasarkan Data Spesifikasi

Nilai efisiensi isentropik turbin uap berdasarkan data spesifikasi dapat diperoleh melalui data yang tertera di logsheet turbin uap (dapat dilihat pada tabel 1). Efisiensi isentropik dapat ditentukan dengan mencari nilai entalpi inlet (h_1) terlebih dahulu. Nilai entalpi inlet (h_1) dicari menggunakan parameter tekanan inlet (P_1), tekanan outlet (P_2) dan temperatur uap masuk (T_1). Pada tekanan inlet (P_1) = 31 bar dan temperatur uap masuk (T_1) = 270°C, maka akan di dapat nilai entalpi (h_1) dan entropi (s_1) dengan melakukan interpolasi sebagai berikut:

• **Entalpi**

Pada tekanan 3 MPa temperatur 270°C

$$\frac{270^\circ\text{C}}{300^\circ\text{C}} - \frac{250^\circ\text{C}}{250^\circ\text{C}} = \frac{h - 2855,8 \text{ kJ/kg}}{2993,5 \text{ kJ/kg} - 2855,8 \text{ kJ/kg}}$$

$$\frac{20}{50} = \frac{h - 2855,8 \text{ kJ/kg}}{137,7 \text{ kJ/kg}}$$

$$h = 2910,88 \text{ kJ/kg}$$

Pada tekanan 3,5 MPa temperatur 270°C

$$\frac{270^\circ\text{C}}{300^\circ\text{C}} - \frac{250^\circ\text{C}}{250^\circ\text{C}} = \frac{h - 2829,2 \text{ kJ/kg}}{2977,5 \text{ kJ/kg} - 2829,2 \text{ kJ/kg}}$$

$$\frac{20}{50} = \frac{h - 2829,2 \text{ kJ/kg}}{148,3 \text{ kJ/kg}}$$

$$h = 2888,52 \text{ kJ/kg}$$

Pada tekanan 3,1 MPa temperatur 270°C

$$\frac{3,1 \text{ MPa}}{3,5 \text{ MPa}} - \frac{3 \text{ MPa}}{3 \text{ MPa}} = \frac{h_1 - 2910,88 \text{ kJ/kg}}{2888,52 \text{ kJ/kg} - 2910,88 \text{ kJ/kg}}$$

$$\frac{0,1}{0,5} = \frac{h_1 - 2910,88 \text{ kJ/kg}}{-22,36 \text{ kJ/kg}}$$

$$h_1 = 2906,41 \text{ kJ/kg}$$

• **Entropi**

Pada tekanan 3 MPa temperatur 270°C

$$\frac{270^\circ\text{C}}{300^\circ\text{C}} - \frac{250^\circ\text{C}}{250^\circ\text{C}} = \frac{s - 6,2871 \text{ kJ/kgK}}{6,5389 \text{ kJ/kgK} - 6,2871 \text{ kJ/kgK}}$$

$$\frac{20}{50} = \frac{s - 6,2871 \text{ kJ/kgK}}{0,2518 \text{ kJ/kgK}}$$

$$s = 6,3878 \text{ kJ/kgK}$$

Pada tekanan 3,5 MPa temperatur 270°C

$$\frac{270^\circ\text{C}}{300^\circ\text{C}} - \frac{250^\circ\text{C}}{250^\circ\text{C}} = \frac{s - 6,1748 \text{ kJ/kgK}}{6,4460 \text{ kJ/kgK} - 6,1748 \text{ kJ/kgK}}$$

$$\frac{20}{50} = \frac{s - 6,1748 \text{ kJ/kgK}}{0,2712 \text{ kJ/kgK}}$$

$$s = 6,2833 \text{ kJ/kgK}$$

Pada tekanan 2,6 MPa temperatur 226°C

$$\frac{3,1 \text{ MPa}}{3,5 \text{ MPa}} - \frac{3 \text{ MPa}}{3 \text{ MPa}} = \frac{s_1 - 6,3878 \text{ kJ/kgK}}{6,2833 \text{ kJ/kgK} - 6,3878 \text{ kJ/kgK}}$$

$$\frac{0,1}{0,5} = \frac{s_1 - 6,3878 \text{ kJ/kgK}}{-0,1045 \text{ kJ/kgK}}$$

$$s_1 = 6,3669 \text{ kJ/kgK}$$

- **Fraksi Uap**

Nilai entropi yang digunakan untuk pencarian nilai fraksi uap adalah $S_1 = S_2$ seperti persamaan 3.1 yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} X_{2S} &= \frac{S_2 - S_f}{S_{fg}} \\ &= \frac{6,3669 \text{ kJ/kgK} - 1,8206 \text{ kJ/kgK}}{5,0359 \text{ kJ/kgK}} \\ &= 0,903 \end{aligned}$$

- **Entalpi Isentropik**

Entalpi isentropik (h_{2S}) ditentukan dengan menggunakan persamaan pada metode penelitian dengan menggunakan parameter entalpi cair-jenuh (h_f), fraksi uap (X_{2S}) dan entalpi penguapan (h_{fg}) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} h_{2S} &= h_f + X_{2S} \cdot h_{fg} \\ &= 623,24 \text{ kJ/kg} + 0,903 \cdot 2120,7 \text{ kJ/kg} \\ &= 2537,68 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

- **Daya Isentropik**

Kerja turbin uap ditentukan dengan persamaan 3.4 dan diperlukan parameter entalpi *inlet* (h_1), nilai entalpi *outlet* (h_{2S}) dan laju massa uap (\dot{m}_s) pada panel di boiler. Maka diperoleh kinerja turbin uap seperti berikut:

$$\begin{aligned} W_{\text{isentropik}} &= \dot{m}_s \times (h_1 - h_{2S}) \\ &= 11,07 \text{ kg/s} \times (2906,41 \text{ kJ/kg} - 2537,68 \text{ kJ/kg}) \\ &= 4082,63 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Tabel 2. Daya Isentropik Berdasarkan Data Spesifikasi

P1 (Bar)	P2 (Bar)	Daya Isentropik (kJ/kg)
31	4,5	4082,63

- **Efisiensi Isentropik**

Efisiensi Isentropik ditentukan menggunakan persamaan 3.5 dengan parameter entalpi inlet (h_1), nilai entalpi outlet (h_2) dan entalpi isentropik (h_{2S}) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{turbin}} &= \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2S}} \times 100\% \\ &= \frac{2906,41 \text{ kJ/kg} - 2743,90 \text{ kJ/kg}}{2906,41 \text{ kJ/kg} - 2537,68 \text{ kJ/kg}} \\ &= 44,09\% \end{aligned}$$

Jadi, nilai efisiensi isentropik turbin uap berdasarkan data spesifikasi adalah 44,09%.

Tabel 3. Efisiensi Isentropik Berdasarkan Data Spesifikasi

P1 (Bar)	P2 (Bar)	Efisiensi Isentropik (%)
31	4,5	44,09

3.3 Daya dan Efisiensi Isentropik Turbin Uap berdasarkan Data Operasional

Nilai efisiensi isentropik turbin uap berdasarkan data operasional dapat diperoleh melalui data operasional yang tertera di logsheet turbin uap. Pada keterangan ini disajikan rumus perhitungan daya dan efisiensi isentropik berdasarkan data hari ke-2 pada jam pengolahan keempat. Efisiensi isentropik dapat ditentukan dengan mencari nilai entalpi inlet (h_1) terlebih dahulu. Nilai entalpi inlet (h_1) dicari menggunakan parameter tekanan inlet (P1), tekanan outlet (P2) dan temperatur uap masuk (T1). Pada tekanan inlet (P1) = 26 bar dan temperatur uap masuk (T1) = 226°C, maka akan di dapat nilai entalpi (h_1) dan entropi (s_1) dengan melakukan interpolasi sebagai berikut :

- **Entalpi**

Pada tekanan 2,5 MPa temperatur 226°C

$$\begin{aligned} \frac{226^\circ\text{C} - 225^\circ\text{C}}{250^\circ\text{C} - 225^\circ\text{C}} &= \frac{h - 2806,3 \text{ kJ/kg}}{2880,1 \text{ kJ/kg} - 2806,3 \text{ kJ/kg}} \\ \frac{1}{25} &= \frac{h - 2806,3 \text{ kJ/kg}}{73,8 \text{ kJ/kg}} \\ h &= 2809,25 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Pada tekanan 3 MPa temperatur 226°C

$$\begin{aligned} \frac{226^\circ\text{C} - 225^\circ\text{C}}{250^\circ\text{C} - 225^\circ\text{C}} &= \frac{h - 2804,1 \text{ kJ/kg}}{2855,8 \text{ kJ/kg} - 2804,1 \text{ kJ/kg}} \\ \frac{1}{25} &= \frac{h - 2804,1 \text{ kJ/kg}}{51,7 \text{ kJ/kg}} \\ h &= 2806,17 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Pada tekanan 2,6 MPa temperatur 226°C

$$\begin{aligned} \frac{2,6 \text{ MPa} - 2,5 \text{ MPa}}{3 \text{ MPa} - 2,5 \text{ MPa}} &= \frac{h_1 - 2809,25 \text{ kJ/kg}}{2806,17 \text{ kJ/kg} - 2809,25 \text{ kJ/kg}} \\ \frac{0,1}{0,5} &= \frac{h_1 - 2809,25 \text{ kJ/kg}}{-3,08 \text{ kJ/kg}} \\ h_1 &= 2808,64 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

- **Entropi**

Pada tekanan 2,5 MPa temperatur 226°C

$$\begin{aligned} \frac{226^\circ\text{C} - 225^\circ\text{C}}{250^\circ\text{C} - 225^\circ\text{C}} &= \frac{s - 6,2638 \text{ kJ/kgK}}{6,4084 \text{ kJ/kgK} - 6,2638 \text{ kJ/kgK}} \\ \frac{1}{25} &= \frac{s - 6,2638 \text{ kJ/kgK}}{0,1446 \text{ kJ/kgK}} \\ s &= 6,2696 \text{ kJ/kgK} \end{aligned}$$

Pada tekanan 3 MPa temperatur 226°C

$$\begin{aligned} \frac{226^\circ\text{C} - 225^\circ\text{C}}{250^\circ\text{C} - 225^\circ\text{C}} &= \frac{s - 6,1860 \text{ kJ/kgK}}{6,2871 \text{ kJ/kgK} - 6,1860 \text{ kJ/kgK}} \end{aligned}$$

$$\frac{1}{25} = \frac{s - 6,1860 \text{ kJ/kgK}}{0,1011 \text{ kJ/kgK}}$$

$$s = 6,1900 \text{ kJ/kgK}$$

Pada tekanan 2,6 MPa temperatur 226°C

$$\frac{2,7 \text{ MPa}}{3 \text{ MPa}} - \frac{2,5 \text{ MPa}}{2,5 \text{ MPa}} = \frac{s_1 - 6,2696 \text{ kJ/kgK}}{6,1900 \text{ kJ/kgK} - 6,2696 \text{ kJ/kgK}}$$

$$\frac{0,2}{0,5} = \frac{s_1 - 6,4789 \text{ kJ/kgK}}{-0,796 \text{ kJ/kgK}}$$

$$s_1 = 6,2537 \text{ kJ/kgK}$$

Pencarian nilai isentropik berdasarkan data operasional dicari menggunakan parameter tekanan outlet (P2) = 4 bar atau 0,4 MPa. Nilai yang perlu ditentukan adalah entalpi cair-jenuh (hf) entalpi penguapan (hfg), entalpi uap jenuh (hg), entropi cair-jenuh (Sf) dan entropi uap jenuh (Sg). Parameter tersebut ditentukan dengan melakukan interpolasi berdasarkan steam table dan hasilnya adalah sebagai berikut:

$$hf = 604,73 \text{ kJ/kg}$$

$$hfg = 2133,80 \text{ kJ/kg}$$

$$hg = 2738,50 \text{ kJ/kg}$$

$$Sf = 1,7766 \text{ kJ/kgK}$$

$$Sfg = 5,1193 \text{ kJ/kgK}$$

$$Sg = 6,8958 \text{ kJ/kgK}$$

• Fraksi Uap

Nilai entropi yang digunakan untuk pencarian nilai fraksi uap adalah $S_1 = S_2$ seperti persamaan 3.1 yaitu sebagai berikut:

$$X_{2s} = \frac{S_2 - S_f}{S_{fg}}$$

$$= \frac{6,2537 \text{ kJ/kgK} - 1,7766 \text{ kJ/kgK}}{5,1193 \text{ kJ/kgK}}$$

$$= 0,875$$

• Entalpi Isentropik

Entalpi isentropik (h_{2s}) ditentukan dengan menggunakan persamaan 3.2 dengan menggunakan parameter entalpi cair-jenuh (hf), fraksi uap (X_{2s}) dan entalpi penguapan (hfg) sebagai berikut:

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

$$= 604,73 \text{ kJ/kg} + 0,875 \cdot 2133,80 \text{ kJ/kg}$$

$$= 604,73 \text{ kJ/kg} + 1867,075 \text{ kJ/kg}$$

$$= 2471,805 \text{ kJ/kg}$$

• Daya Isentropik

Kerja turbin uap ditentukan dengan persamaan 3.4 dan diperlukan parameter entalpi inlet (h_1), nilai entalpi outlet (h_{2s})

) dan laju massa uap (\dot{m}_s) pada panel di boiler.

Maka diperoleh kinerja turbin uap seperti berikut:

$$W_{\text{isentropik}} = \dot{m}_s \times (h_1 - h_{2s})$$

$$= 6,66 \text{ kg/s} \times (2808,64 \text{ kJ/kg} - 2470,84 \text{ kJ/kg})$$

$$= 2249,71 \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4. Daya Isentropik Berdasarkan Data Operasional

Hari	Waktu	P1 (Bar)	P2 (Bar)	Daya Isentropik (kJ/kg)
1	Jam ke-1	25	3,2	2419,30
	Jam ke-2	26	3,4	2420,05
	Jam ke-3	26	3,4	2430,97
	Jam ke-4	26	3,7	2344,08
	Jam ke-5	27	3,4	2573,73
2	Jam ke-1	25	2,8	2544,84
	Jam ke-2	26	3,4	2416,41
	Jam ke-3	27	3,4	2570,02
	Jam ke-4	26	4	2249,71
	Jam ke-5	26	3,3	2458,74
3	Jam ke-1	26	3,6	2355,87
	Jam ke-2	26	3,2	2488,24
	Jam ke-3	24	3,2	2300,02
	Jam ke-4	26	3,5	2403,05
	Jam ke-5	25	3,2	2419,30
4	Jam ke-1	25	3,4	2348,11
	Jam ke-2	26	3,4	2409,13
	Jam ke-3	26	3,4	2420,05
	Jam ke-4	26	3,4	2423,69
	Jam ke-5	25	3,4	2344,53
5	Jam ke-1	25	3,4	2344,53
	Jam ke-2	25	3,4	2351,68
	Jam ke-3	26	3,2	2480,76
	Jam ke-4	26	3,2	2488,24
	Jam ke-5	26	3,2	2495,73

Berikut merupakan perbandingan daya isentropik turbin uap berdasarkan data spesifikasi dan data operasional pada hari ke-2 pengolahan kelapa sawit.

• Efisiensi Isentropik

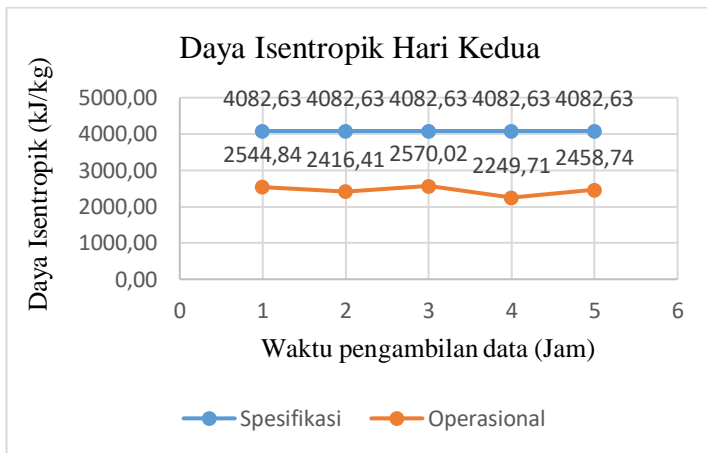
Efisiensi Isentropik ditentukan menggunakan persamaan 3.5 dengan parameter entalpi inlet (h_1), nilai entalpi outlet (h_2) dan entalpi isentropik (h_{2s}) sebagai berikut:

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \times 100\%$$

$$= \frac{2808,64 \text{ kJ/kg} - 2738,50 \text{ kJ/kg}}{2808,64 \text{ kJ/kg} - 2470,84 \text{ kJ/kg}}$$

$$= 20,76\%$$

Jadi, nilai efisiensi turbin uap pada jam pengolahan keempat hari pertama adalah 20,76%.

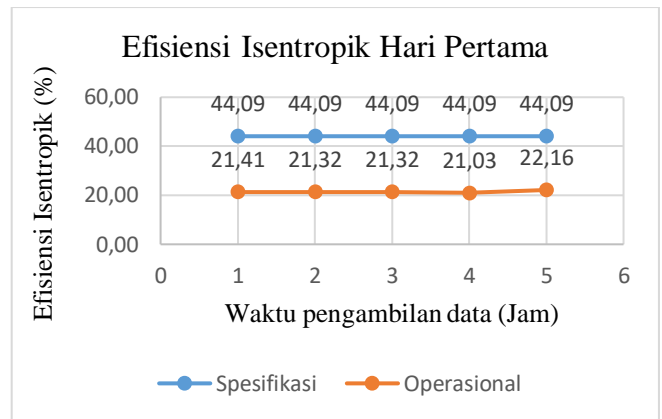


Gambar 2. Grafik perbandingan daya isentropik turbin uap

Tabel 5. Efisiensi Isentropik Berdasarkan Data Operasional

Hari	Waktu	P1 (Bar)	P2 (Bar)	Efisiensi Isentropik (%)
1	Jam ke-1	25	3,2	21,41
	Jam ke-2	26	3,4	21,32
	Jam ke-3	26	3,4	21,32
	Jam ke-4	26	3,7	21,03
	Jam ke-5	27	3,4	22,16
2	Jam ke-1	25	2,8	21,82
	Jam ke-2	26	3,4	21,32
	Jam ke-3	27	3,4	22,16
	Jam ke-4	26	4	20,76
	Jam ke-5	26	3,3	21,42
3	Jam ke-1	26	3,6	21,13
	Jam ke-2	26	3,2	21,69
	Jam ke-3	24	3,2	20,75
	Jam ke-4	26	3,5	21,22
	Jam ke-5	25	3,2	21,41
4	Jam ke-1	25	3,4	21,02
	Jam ke-2	26	3,4	21,32
	Jam ke-3	26	3,4	21,32
	Jam ke-4	26	3,4	21,32
	Jam ke-5	25	3,4	21,02
5	Jam ke-1	25	3,4	21,02
	Jam ke-2	25	3,4	21,02
	Jam ke-3	26	3,2	21,69
	Jam ke-4	26	3,2	21,69
	Jam ke-5	26	3,2	21,69

Berikut merupakan perbandingan efisiensi isentropik turbin uap berdasarkan data spesifikasi dan data operasional pada hari ke-1 pengolahan kelapa sawit.



Gambar 3. Grafik perbandingan efisiensi isentropik turbin uap

3.4 Pembahasan

Daya isentropik yang dihasilkan pada saat operasional lebih kecil dibandingkan daya isentropik data spesifikasi. Perbandingan ini dapat dilihat pada Gambar 2 yang disajikan pada hasil penelitian. Hal ini terjadi karena dalam proses pengolahan kelapa sawit selama periode penelitian, turbin uap tidak bekerja secara maksimal dalam mengubah energi atau menghasilkan daya (nilai kerja turbin uap selama beroperasi berada di bawah spesifikasi). Beberapa hal yang mempengaruhi rendahnya daya isentropik yang diperoleh meliputi menurunnya tekanan uap masuk turbin, kapasitas listrik yang rendah, desain turbin tidak optimal/performa turbin kurang baik, adanya kebocoran uap, dan usia turbin yang digunakan sudah tua. Dari data yang dilampirkan, diketahui bahwa tinggi rendahnya nilai efisiensi turbin uap dipengaruhi oleh tekanan uap masuk, suhu uap masuk dan tekanan uap keluar turbin. Tingginya suhu uap masuk diikuti dengan kenaikan tekanan uap masuk, dimana semakin tinggi tekanan uap masuk maka semakin tinggi nilai efisiensi isentropik turbin uap. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi suhu uap masuk, semakin besar pula perbedaan antara suhu uap masuk dan suhu uap keluar, sehingga semakin besar pula potensi untuk menghasilkan daya. Sedangkan kenaikan tekanan uap keluar turbin mengakibatkan efisiensi isentropik turbin uap. Hal itu terjadi karena

tekanan uap pada turbin semakin rendah, maka kerja turbin juga tidak terlalu besar (Suriaman & Suprayitno, 2022).

4. Kesimpulan

Daya isentropik turbin uap berdasarkan data spesifikasi adalah 4082,63 kJ/kg. Sedangkan daya isentropik tertinggi berdasarkan data operasional yang dihasilkan turbin uap adalah 2573,73 kJ/kg yang terjadi pada jam kelima di hari pertama penelitian. Efisiensi isentropik turbin uap berdasarkan data spesifikasi adalah 44,09% dan nilai efisiensi tertinggi pada saat turbin uap beroperasi adalah 22,16%. Tingginya nilai daya isentropik turbin uap dipengaruhi oleh nilai laju massa uap yang bekerja melewati turbin untuk mencapai spesifikasi. Semakin tinggi nilai laju massa uap maka semakin tinggi daya isentropik turbin uap. Tekanan dan suhu uap masuk turbin berbanding lurus dengan efisiensi isentropik, sedangkan tekanan uap keluar turbin berbanding terbalik dengan efisiensi isentropik turbin uap [15]. Beberapa faktor yang mempengaruhi daya isentropik dan efisiensi isentropik turbin uap adalah suhu uap masuk, tekanan uap masuk, tekanan uap keluar, laju massa uap dan kondisi operasional turbin uap dalam kondisi isentropik ideal, serta lifetime turbin uap yang digunakan pada pabrik kelapa sawit kapasitas 50 ton/jam.

Ucapan terimakasih

Dalam pelaksanaan penelitian ini, saya mengucapkan terima kasih Institut Teknologi Sawit Indonesia (ITSI) Medan yang menjadi tempat saya belajar selama 4 tahun. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing 1 dan dosen pembimbing 2 yang telah membantu saya dalam pelaksanaan penelitian ini,serta keluarga, staff akademik jurusan dan teman-teman yang turut membantu saya.terima kasih biasanya dituliskan bagi institusi atau yang telah memberikan bantuan dana penelitian.

Referensi

[1] P. Sundari, “Analisis Termoekonomi Siklus Kombinasi Turbin Gas Dan

- Uap Unit Pltgu Grati,” *Energi Terbarukan*, no. 19, 2021.
- [2] H. Sitanggang, E. W. B. Siahaan, dan F. E. Hasibuan, “Kajian Performa Kerja Turbin Uap Mitsubishi-Ltd Tipe 10 H1-11 (Studi Kasus : PT Toba Pulp Lestari, Tbk),” vol. 30, no. 3, hal. 627–636, 2022.
- [3] P. Naibaho, *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit*. Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit, 2021.
- [4] Z. Effendi, Zakwan, dan A. F. Nainggolan, “Analisa Kehilangan Energi pada Boiler Pabrik Kelapa Sawit,” *Tek. Pengolah. Has. Perkeb. Kelapa Sawit dan Karet*, vol. 2, no. 1, hal. 30–37, 2020.
- [5] S. Andini, “Analisa Performansi Turbin Uap Dengan Kapasitas 1000 Kw Pada Pabrik Kelapa Sawit PTPN IV Unit Usaha Pabatu,” 2017.
- [6] B. Wahyudi, “Analisis Efisiensi Turbin Uap Terhadap Kapasitas Listrik Pembangkit,” 2019.
- [7] B. S. Siburian, D. W. Marbun, dan R. Nainggolan, “Analisis Performansi Turbin Uap J . Nadrowski Kapasitas 1080 Kw Di PT. Biyu Iyas Malela,” hal. 272–282, 2021.
- [8] M. E.- Wakil, *Instalasi Pembangkit Daya*. Jakarta: Erlangga, 2020.
- [9] R. Samosir, Danial, dan E. Kurniawan, “Analisa Efisiensi Isentropik Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (Pltbm),” *J. Tek. Mesin*, vol. II, no. 3, hal. 84–91, 2019.
- [10] S. Aisyah, Z. Effendi, dan D. V. Maha, “Aplikasi Interpolasi Lagrange terhadap Turbin pada Pabrik Kelapa Sawit Mayang Kapasitas 40 Ton/Jam,” *Tek. Ind. Pertan.*, vol. 15, hal. 10, 2021.
- [11] M. Arrazi, “Analisis Efisiensi Turbin Uap Sebagai Penggerak Generator Pabrik Minyak Kelapa Sawit PT . Syaukath Sejahtera (Gandapura),” vol. 7, no. 1, 2023.
- [12] H. P. Sinaga, C. T. Utomo, dan E. Tarigan, “Analisis Performansi

- Turbin Uap Kapasitas 1,95 Mw Di PT Perkebunan Lembah Bhakti Astra Agro Lestari Tbk,” *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, hal. 23–33, 2022, doi: 10.51510/sinergipolmed.v3i1.703.
- [13] I. Suriaman dan A. Suprayitno, “Analisis Pengaruh Laju Uap Terhadap Efisiensi Turbin Uap Condensing Pada Pltu Pt. Xxx,” *J. Teknol.*, vol. 12, no. 2, hal. 205–215, 2022, [Daring]. Tersedia pada: <https://jurnal.wastukancana.ac.id/index.php/teknologika/article/view/235> %0Ahttps://jurnal.wastukancana.ac.id/index.php/teknologika/article/download/235/122
- [14] F. E. Hasibuan, C. S. Aanalu, S. Sebayang, dan S. Pardede, “Analisa Performance Kerja Turbin Uap Mitsubishi-Ltd Tipe 10 HI-11 Dengan Putaran 3000 Rpm Di Pt Toba Pulp Lestari, Tbk,” *J. Teknol. Mesin*, vol. 3(2), hal. 360–368, 2022.
- [15] Y. A. Syarif, “Pengaruh Laju Massa Uap terhadap Efisiensi Kerja Turbin Uap pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Lahendong Unit 5 di Tompaso Sulawesi Utara,” 2021.