

ANALISIS PERFORMANSI TURBIN UAP J. NADROWSKI KAPASITAS 1080 KW DI PT. BIYU IYAS MALELA

Berta Sonata Siburian¹, Dewi Wulan Marbun², Rufinus Nainggolan³

Teknik Konversi Energi^{1,2,3}, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan

bertasiburian@students.polmed.ac.id¹, dewiwulan@polmed.ac.id², rufinusnainggolan@polmd.ac.id³

ABSTRAK

Turbin uap merupakan salah satu mesin konversi yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Pada Pabrik Kelapa Sawit PT. Biyu Iyas Malela, turbin uap merupakan salah satu komponen dasar dalam pembangkitan listrik tenaga uap yang digunakan untuk menggerakkan generator untuk menghasilkan daya listrik. Dengan melakukan analisis terhadap kinerja dari pada turbin, maka dapat dijadikan sebagai dasar untuk perbaikan kinerja turbin dalam pengoperasian turbin apabila kinerjanya mengalami penurunan atau tidak bekerja secara maksimal. Adapun hasil data yang diperoleh setelah melakukan analisis terhadap performansi turbin Pabrik Kelapa Sawit PT. Biyu Iyas Malela yaitu Daya kerja turbin (Wt) turbin berdasarkan spesifikasi adalah 1844,84316 KW dan berdasarkan data lapangan rata rata nilai kerja turbin adalah 2039,42824 KW. Efisiensi total turbin-generator berdasarkan spesifikasi 58,54% dan data lapangan rata rata efisiensi turbin-generator adalah 20,18 %.

Kata Kunci : Turbin Uap , Daya, Efisiensi

PENDAHULUAN

Energi menjadi suatu bagian yang sangat penting dalam berbagai kegiatan sehari-hari dalam tiap aspek kehidupan manusia. Seiring berjalannya waktu perkembangan dunia industri semakin cepat, salah satunya yaitu industri kelapa sawit. Pabrik Kelapa Sawit PT. Biyu Iyas Malela merupakan perusahaan industri yang mengolah kelapa sawit menjadi minyak mentah (*crude palm oil*) dan inti sawit (kernel). Untuk mendukung berlangsungnya pengolahan kelapa sawit tersebut diperlukan energi listrik untuk menggerakkan mesin produksi di dalam pabrik. Dalam proses pengolahan kelapa sawit membutuhkan penggunaan energi listrik yang sangat besar sehingga tidak memungkinkan kebutuhan listriknya disuplai seluruhnya dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Sehingga pabrik kelapa sawit membuat kebijakan pembangkitan energi listrik mandiri yang menggunakan mesin konversi energi.

Pada pabrik kelapa sawit PT. Biyu Iyas Malela turbin uap sebagai penggerak mula generator untuk berlangsungnya proses pengolahan kelapa sawit. Turbin uap sebagai mesin konversi yang mengubah energi potensial uap dari ketel uap menjadi energi kinetik, kemudian energi kinetik tersebut diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Turbin uap inilah yang digunakan sebagai penggerak mula generator untuk membangkitkan energi listrik. Dengan memanfaatkan limbah pabrik yaitu Limbah serabut (*fiber*) dan cangkang (*shell*) kelapa sawit digunakan sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan uap, uap tersebut digunakan untuk menggerakkan turbin uap untuk membangkitkan tenaga listrik dan juga untuk proses pengolahan kelapa sawit. Uap yang dihasilkan oleh boiler sepenuhnya untuk memutar turbin uap, sehingga menghasilkan daya yang cukup besar. Uap hasil keluaran turbin tidak langsung dibuang ke udara tetapi ditampung dalam BPV (*Back Pressure Vessel*) yang kemudian digunakan untuk proses pengolahan kelapa sawit dan juga dimanfaatkan kembali untuk proses perebusan air umpan boiler melalui kondensasi, sehingga siklus uap yang bekerja adalah siklus tertutup.

Berdasarkan latar belakang, maka penulis dapat mengambil beberapa rumusan masalah yang akan dibahas tentang performansi turbin uap yaitu apa itu turbin uap, bagaimana prinsip kerja dari turbin uap dan bagaimana performansi turbin uap yang di hasilkan pabrik kelapa sawit di PT. Biyu Iyas Malela. Dengan tujuan yaitu untuk menganalisis performansi turbin uap pada Pabrik Kelapa Sawit

PT. Biyu Iyas Malela, dengan menghitung efisiensi dan daya yang dihasilkan turbin uap berdasarkan data spesifikasi dan data operasional lapangan.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Turbin Uap

Turbin uap adalah salah satu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Dengan kata lain mengubah energi entalpi fluida menjadi energi mekanik. (Banu Wahyudi, 2019) pada gambar 1 merupakan gambar turbin uap yang digunakan di PKS PT. Biyu Iyas Malela.



Gambar 1. Turbin Uap – Generator
Sumber: PKS PT. Biyu Iyas Malela, 2021

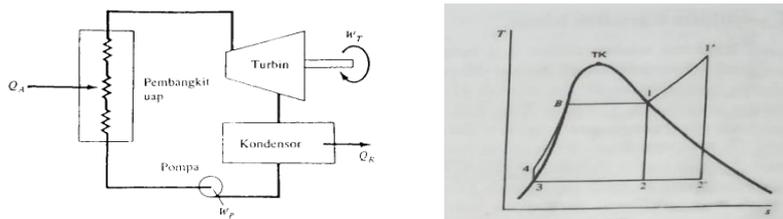
Prinsip Kerja Turbin Uap

Prinsip kerja turbin uap adalah dengan memutar sudu sudu turbin karena tiupan uap yang bertekanan yang berasal dari *boiler* yang telah dipanasi terdahulu dengan menggunakan bahan bakar padat, cair, dan gas. Uap tersebut kemudian dibagi dengan menggunakan control valve yang akan dipakai untuk memutar turbin yang dikopel langsung dengan generator untuk menghasilkan energi listrik. (Milahussholihah, 2018).

Uap masuk ke dalam turbin melalui nosel. Di dalam nosel energi panas dari uap diubah menjadi energi kinetik dan uap mengalami pengembangan. Tekanan uap saat keluar dari nosel lebih kecil dari pada saat ke dalam nosel, akan tetapi sebaliknya kecepatan uap keluar nosel lebih besar dari pada saat masuk ke dalam nosel. Uap yang memancar keluar dari nosel diarahkan ke sudu sudu turbin yang mengalir melalui celah celah antara turbin itu dibelokkan kearah mengikuti lengkungan dari sudu turbin. Perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar roda dan poros turbin. (B. Wahyudi, 2019).

Siklus Rankine

Siklus Rankine merupakan siklus yang paling banyak digunakan untuk pembangkitan daya listrik hingga pada saat ini. Turbin uap bersama sama ketel uap, kondensor dan pompa membentuk suatu siklus pembangkitan tenaga uap, sistem uap berdasarkan siklus Rankine. Karena siklus Rankine adalah siklus uap- cair, maka yang paling baik bila siklus itu digambarkan prosesnya dalam diagram P-v dan T-s. Fluida kerjanya biasanya adalah H₂O, tetapi tidak selalu harus itu. Gambar 2 merupakan bagan diagram alir siklus rankine. (El-Wakil, 1992).



Gambar 2. Bagan Diagram Alir Siklus Rankine Sederhana dan Diagram T-s Siklus Rankine Sederhana
Sumber: Pudjanarso & Nursuhud, 2013

Siklus Rankine tersebut terdiri dari proses proses sebagai berikut (Pudjanarso & Nursuhud,2013) :
1-2 atau 1'-2' adalah ekspansi reversible adiabatic melalui turbin. Uap keluar turbin pada 2 dan 2' biasanya dalam daerah dua-fasa (Wt).

$$Wt = \dot{m} (h_1 - h_2) \quad (1)$$

2-3 atau 2'-3' adalah pembuangan panas dalam kondensor pada temperature dan tekanan konstan, selama proses fluida kerja dalam keadaan campuran dua fasa (Qout).

$$Q_{out} = \dot{m} (h_2 - h_3) \quad (2)$$

3-4 adalah proses reversible adiabatic oleh pompa. Fluida kerja dipompa dari keadaan tekanan kondensat,3, ke cair sub-dingin pada tekanan pembangkit uap,4. Garis 3-4 adalah vertical dalam diagram T-s karena fluida secara esensial adalah tak mampat dan pemompaan adalah reversible adiabatic (Wp).

$$Wp = V_3 (P_4 - P_3) \quad (3)$$

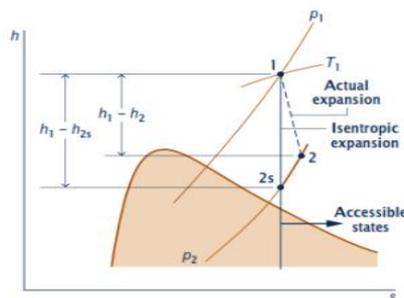
4-1 atau 4'-1' adalah pemasukan panas pada tekanan konstan dalam pembangkit uap. Garis 4-B-1-1' dalam garis tekanan konstan dalam diagram. Bagian 4-B menunjukkan perubahan cairan sub-dingin, 4, menjadi uap jenuh pada B. bagian 4-B dalam pembangkit uap disebut ekonomiser. Bagian B-1 adalah pemanasan cair- jenuh pada tekanan dan temperature konstan (Fluida Kerja berada dalam keadaan fasa campuran dua-fasa), dan bagian B-1 dalam pembangkit uap dinamakan ketel atau boiler atau evaporator. Bagian 1-1', dalam siklus superpanas, menunjukkan pemanasan uap jenuh pada 1 ke 1', dalam siklus superpanas, pembangkit uap disebut superheater (pemanas lanjut) (Qin).

$$Q_{in} = \dot{m} (h_1 - h_4) \quad (4)$$

5) Efisiensi Isentropik

Efisiensi isentropik merupakan kerja actual dan ideal suatu peralatan. Perpindahan panas antara turbin dan lingkungan diabaikan. Keadaan yang ditandai dengan 2s pada gambar 3 hanya dapat dicapai jika tidak ada irreversibilitas internal, keadaan ini disebut dengan ekspansi isentropik turbin. Dengan persamaan dapat ditulis:

$$\frac{Wt}{\dot{m}s} = h_1 - h_{2s} \quad (5)$$



Gambar 3. Diagram Moolier
Sumber: Rolando,2019

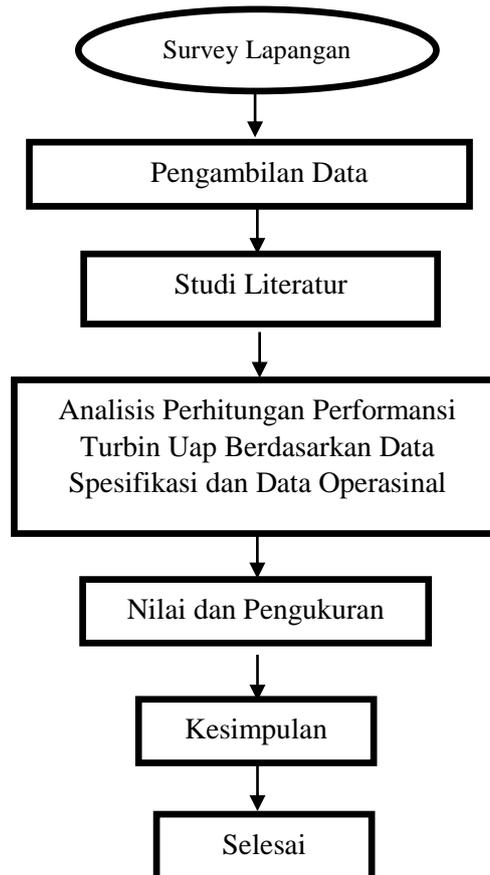
Dalam ekspansi actual melalui turbin $h_2 > h_{2s}$ dengan demikian kerja lebih kecil dari pada kerja maksimum. Perbedaan ini bisa diukur dengan efisiensi isentropic turbin yang ditulis dengan :

$$\eta_t = \frac{(\dot{W}t/\dot{m})}{(\dot{W}t/\dot{m})_s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \times 100\% \quad (6)$$

METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian analisis performansi Turbin uap Kapasitas 1080 KW di Pabrik Kelapa Sawit PT. Biyu Iyas Malela terdapat pada gambar 4 berikut :



Gambar 4. Diagram Rancangan Penelitian

Lokasi Penelitian

Data penelitian untuk laporan HAKIM ini diperoleh pada bulan Mei 2021 dari Pabrik Kelapa Sawit PT. Biyu Iyas Malela yang berlokasi di Tanjung Kasau, Kecamatan Laut Tador, Kabupaten Batu Bara, Sumatera Utara (21257).

Parameter Pengukuran dan Pengamatan

Parameter pengukuran pada analisis performansi turbin uap pada pabrik kelapa sawit PT. Biyu Iyas Malela adalah kondisi masuk dan keluar turbin uap. Dengan mencatat tekanan, temperatur, laju aliran setiap jam sesuai data sheet yang diperoleh dari survey lapangan pada Pabrik Kelapa Sawit PT. Biyu Iyas Malela.

Model Penelitian

Model penelitian ditunjukkan analisis performansi turbin uap. Adapun analisis yang dilakukan untuk mengetahui efisiensi dan daya yang dihasilkan turbin dengan menggunakan siklus Rankine.

Teknik Pengumpulan dan Analisa Data

Teknik pengumpulan data adalah dengan metode kuantitatif sederhana dan mencatat data-data yang dibutuhkan dalam melakukan analisa. Kegiatan tersebut meliputi yaitu studi literature yang berupa jurnal dan buku-buku yang menjadi referensi dalam pemahaman tentang sistem pembangkit listrik tenaga uap (PLTU).

Teknik analisa data yaitu dengan menghitung daya dan efisiensi turbin uap dilapangan. Setelah melakukan perhitungan maka didapat perbedaan performansi turbin uap berdasarkan spesifikasi dan berdasarkan data operasional.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Data Berdasarkan Data Spesifikasi Turbin Uap

Data turbin uap berdasarkan spesifikasi turbin uap di Pabrik Kelapa Sawit PT. Biyu Iyas Malela :

Daya	: 1080 KW
Putaran Turbin	: 5600 RPM
Inlet Press	: 22 Bar
Temperatur Max	: 270°C
Out Press	: 4,1 Bar
Laju Uap Turbin	: 20 $\frac{ton}{hours}$
Putaran Turbin Keluar	: 1500 RPM

Keadaan Pada Titik 1 (Uap Masuk)

P = 22 Bar
T = 270 °C

Dari tabel uap A-6 (*Superheated water*) untuk nilai h dan s dapat diperoleh dengan melakukan interpolasi karena tabel tidak memberikan harga yang tepat untuk kondisi diatas, sebagai berikut :

Tabel 1. Keadaan Pada Titik 1 (Uap Masuk)

	T = 250 °C	T = 300 °C
P = 2,0 MPa	h = 2903,3 KJ/Kg S = 6,5475 KJ/KgK	h = 3024,2 KJ/Kg S = 6,7684 KJ/KgK
P = 2,5 MPa	h = 2880,9 KJ/Kg S = 6,4107 KJ/KgK	h = 3009,6 KJ/Kg S = 6,6459 KJ/KgK

Dengan interpolasi P = 2,0 MPa dan T = 270 °C maka nilai entalpi uap ialah :

$$\frac{h_{270} - h_{250}}{h_{300} - h_{250}} = \frac{T_{270} - T_{250}}{T_{300} - T_{250}}$$

$$\frac{h_{270} - 2903,3 \text{ KJ/Kg}}{3024,2 \text{ KJ/Kg} - 2903,3 \text{ KJ/Kg}} = \frac{270^\circ\text{C} - 250^\circ\text{C}}{300^\circ\text{C} - 250^\circ\text{C}}$$

$$h_{270} = 2951,66 \text{ KJ/Kg}$$

Entropi spesifik uap ialah :

$$\frac{S_{270} - S_{250}}{S_{300} - S_{250}} = \frac{T_{270} - T_{250}}{T_{300} - T_{250}}$$

$$\frac{S_{270} - 6,5475 \text{ KJ/KgK}}{6,7684 \text{ KJ/KgK} - 6,5475 \text{ KJ/KgK}} = \frac{270^\circ\text{C} - 250^\circ\text{C}}{300^\circ\text{C} - 250^\circ\text{C}}$$

$$S_{270} = 6,63586 \text{ KJ/KgK}$$

Dengan interpolasi P = 2,5 MPa dan T = 270 °C :

$$\frac{h'_{270} - h_{250}}{h_{300} - h_{250}} = \frac{T_{270} - T_{250}}{T_{300} - T_{250}}$$

$$\frac{h'_{270} - 2880,9 \text{ KJ/Kg}}{3009,6 \text{ KJ/Kg} - 2880,9 \text{ KJ/Kg}} = \frac{270^\circ\text{C} - 250^\circ\text{C}}{300^\circ\text{C} - 250^\circ\text{C}}$$

$$h_{270'} = 2932,38 \text{ KJ/Kg}$$

Entropi Spesifik Uap :

$$\frac{S_{270'} - S_{250}}{S_{300} - S_{250}} = \frac{T_{270} - T_{250}}{T_{300} - T_{250}}$$

$$\frac{S_{270'} - 6,4107 \text{ KJ/KgK}}{6,6459 \text{ KJ/KgK} - 6,4107 \text{ KJ/KgK}} = \frac{270^\circ\text{C} - 250^\circ\text{C}}{300^\circ\text{C} - 250^\circ\text{C}}$$

$$S_{270'} = 6,50478 \text{ KJ/KgK}$$

Entalpi pada $P = 22 \text{ Bar}$ ($2,2 \text{ MPa}$) dan $= 270^\circ\text{C}$:

$$\frac{h_1 - h_{270}}{h_{270'} - h_{270}} = \frac{P_{22} - P_{20}}{P_{25} - P_{20}}$$

$$\frac{h_1 - 2951,66 \text{ KJ/Kg}}{2932,38 \text{ KJ/Kg} - 2951,66 \text{ KJ/Kg}} = \frac{22 \text{ Bar} - 20 \text{ Bar}}{25 \text{ Bar} - 20 \text{ Bar}}$$

$$h_1 = 2943,948 \text{ KJ/Kg}$$

Entropi Spesifik Uap :

$$\frac{S_1 - S_{270}}{S_{270'} - S_{270}} = \frac{P_{22} - P_{20}}{P_{25} - P_{20}}$$

$$\frac{S_1 - 6,63586 \text{ KJ/KgK}}{6,50478 \text{ KJ/KgK} - 6,63586 \text{ KJ/KgK}} = \frac{22 \text{ Bar} - 20 \text{ Bar}}{25 \text{ Bar} - 20 \text{ Bar}}$$

$$S_1 = 6,583428 \text{ KJ/KgK}$$

Keadaan pada titik 2 (Uap Keluar)

Kondisi uap keluar turbin pada $= 4,1 \text{ Bar} = 410 \text{ KPa} = 0,41 \text{ MPa}$, secara teoritis isentropik dan entropik spesifiknya $S_2 = S_1 = 6,583428 \text{ KJ/Kg}$.

Pada tabel A-5 (*Saturated Water- Pressure table*) untuk nilai entalpi cairan-jenuh, entalpi penguapan, entalpi uap jenuh, entropi cairan-jenuh, entropi penguapan, dan entropi uap jenuh dapat diperoleh secara interpolasi, karena pada tabel tidak memberikan nilai yang tepat untuk kondisi diatas, sebagai berikut :

Tabel 2. Keadaan Pada Titik 2 (Uap Keluar)

	$h_f = 604,66 \text{ KJ/Kg}$	$h_g = 2738,1 \text{ KJ/Kg}$	$s_f = 1,7765 \text{ KJ/KgK}$	$s_g = 6,8955 \text{ KJ/KgK}$
$P = 400 \text{ KPa}$	$h_{fg} = 2133,4 \text{ KJ/Kg}$		$s_{fg} = 5,1191 \text{ KJ/KgK}$	
	$h_f = 623,14 \text{ KJ/Kg}$	$h_g = 2743,4 \text{ KJ/Kg}$	$s_f = 1,8205 \text{ KJ/KgK}$	$s_g = 6,8561 \text{ KJ/KgK}$
$P = 450 \text{ KPa}$	$h_{fg} = 2120,3 \text{ KJ/Kg}$		$s_{fg} = 5,0356 \text{ KJ/KgK}$	

Pada $P = 4 \text{ Bar} = 400 \text{ KPa}$ maka nilai entalpi cairan jenuh (h_f) adalah :

$$\frac{h_f - h_{f400}}{h_{f450} - h_{f400}} = \frac{P_{410} - P_{400}}{P_{450} - P_{400}}$$

$$\frac{h_f - 604,66 \text{ KJ/Kg}}{623,14 \text{ KJ/Kg} - 604,66 \text{ KJ/Kg}} = \frac{410 \text{ KPa} - 400 \text{ KPa}}{450 \text{ KPa} - 400 \text{ KPa}}$$

$$h_f = 608,356 \text{ KJ/Kg}$$

Pada $P = 4 \text{ Bar} = 400 \text{ KPa}$ maka nilai entalpi penguapan (hfg) adalah :

$$\frac{hfg - hfg400}{hfg450 - hfg400} = \frac{P410 - P400}{P450 - P400}$$

$$\frac{hfg - 2133,4 \text{ KJ/Kg}}{2120,3 \text{ KJ/Kg} - 2133,4 \text{ KJ/Kg}} = \frac{410 \text{ KPa} - 400 \text{ KPa}}{450 \text{ KPa} - 400 \text{ KPa}}$$

$$hfg = 2130,78 \text{ KJ/Kg}$$

Pada $P = 4 \text{ Bar} = 400 \text{ KPa}$ maka nilai entalpi uap-jenuh (hg) adalah :

$$\frac{hg - hg400}{hg450 - hg400} = \frac{P410 - P400}{P450 - P400}$$

$$\frac{hg - 2738,1 \text{ KJ/Kg}}{2743,4 \text{ KJ/Kg} - 2738,1 \text{ KJ/Kg}} = \frac{410 \text{ KPa} - 400 \text{ KPa}}{450 \text{ KPa} - 400 \text{ KPa}}$$

$$hg = 2739,16 \text{ KJ/Kg}$$

Pada $P = 4 \text{ Bar} = 400 \text{ KPa}$ maka nilai entropi cairan jenuh (hf) adalah :

$$\frac{Sf - Sf400}{Sf450 - Sf400} = \frac{P410 - P400}{P450 - P400}$$

$$\frac{Sf - 1,7765 \text{ KJ/KgK}}{1,8205 \text{ KJ/KgK} - 1,7765 \text{ KJ/KgK}} = \frac{410 \text{ KPa} - 400 \text{ KPa}}{450 \text{ KPa} - 400 \text{ KPa}}$$

$$Sf = 1,7853 \text{ KJ/Kg}$$

Pada $P = 4 \text{ Bar} = 400 \text{ KPa}$ maka nilai entropi penguapan (Sfg) adalah :

$$\frac{Sfg - Sfg400}{Sfg450 - Sfg400} = \frac{P410 - P400}{P450 - P400}$$

$$\frac{Sfg - 5,1191 \text{ KJ/KgK}}{5,0356 \text{ KJ/KgK} - 5,1191 \text{ KJ/KgK}} = \frac{410 \text{ KPa} - 400 \text{ KPa}}{450 \text{ KPa} - 400 \text{ KPa}}$$

$$Sfg = 5,1024 \text{ KJ/KgK}$$

Pada $P = 4 \text{ Bar} = 400 \text{ KPa}$ maka nilai entropi uap-jenuh (Sg) adalah :

$$\frac{Sg - Sg400}{Sg450 - Sg400} = \frac{P410 - P400}{P450 - P400}$$

$$\frac{Sg - 6,8955 \text{ KJ/KgK}}{6,8561 \text{ KJ/KgK} - 6,8955 \text{ KJ/KgK}} = \frac{410 \text{ KPa} - 400 \text{ KPa}}{450 \text{ KPa} - 400 \text{ KPa}}$$

$$Sg = 6,8561 \text{ KJ/KgK}$$

Dari hasil perhitungan interpolasi maka diperoleh pada $P = 4,1 \text{ Bar} = 410 \text{ KPa}$ $S1 = S2 = 6,583428 \text{ KJ/KgK}$

$$hf = 608,356 \text{ KJ/Kg} \quad Sf = 1,7853 \text{ KJ/KgK}$$

$$hfg = 2130,78 \text{ KJ/Kg} \quad Sfg = 5,1024 \text{ KJ/KgK}$$

$$hg = 2739,16 \text{ KJ/Kg} \quad Sg = 6,8561 \text{ KJ/KgK}$$

Maka nilai fraksi uap titik 2 dapat diperoleh :

$$X_2 = \frac{S_2 - S_f}{S_f g}$$

$$X_2 = \frac{6,583428 \text{ KJ/KgK} - 1,7853 \text{ KJ/KgK}}{5,1024 \text{ KJ/KgK}}$$

$$X_2 = \mathbf{0,9404}$$

Maka dapat dihitung nilai h_2 :

$$h_2 = h_f + X_2(h_{fg})$$

$$h_2 = 608,356 \text{ KJ/Kg} + 0,9404(2130,78 \text{ KJ/KgK})$$

$$h_2 = \mathbf{2612,142 \text{ KJ/Kg}}$$

Maka nilai dari kerja turbin uap secara teoritis berdasarkan spesifikasi adalah :

$$W_t = \dot{m}(h_1 - h_2) \text{ dengan } \dot{m} = 20 \text{ ton/jam} = 5,56 \text{ Kg/detik}$$

$$W_t = 5,56 \text{ Kg/detik}(2943,948 \text{ KJ/Kg} - 2612,142 \text{ KJ/Kg})$$

$$W_t = \mathbf{1844,84136 \text{ KW}}$$

Untuk nilai efisiensi total turbin uap dan generator dengan daya keluaran total sebesar 1080 KW berdasarkan spesifikasi adalah sebagai berikut :

$$\eta_{\text{turbin} - \text{gen}} = \frac{\text{Beban}}{W_{\text{isentropis}}} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{turbin} - \text{gen}} = \frac{1080 \text{ KW}}{1844,84136 \text{ KW}} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{turbin} - \text{gen}} = \mathbf{58,54 \%}$$

Analisa Data Berdasarkan Data Lapangan

Tabel 3. Data Operasional Turbin Uap di PKS PT. Biyu Iyas Malela Tanggal 03 Mei 2021 – 07 Mei 2021

No	Tanggal (WIB)	Turbin Uap				Beban/ Daya Turbin- Generator KW	Faktor Daya Cos ϕ
		Putaran RPM	Suhu Inlet (T) °C	P inlet Bar	P outlet Bar		
1	03 Mei 2021	1514	230	19	3	405	0,99
2	04 Mei 2021	1512	228	19	2,9	405	0,95
3	05 Mei 2021	1516	232	19	3	420	0,95
4	06 Mei 2021	1511	230	19	2,9	405	0,95
5	07 Mei 2021	1514	225	19	2,5	420	0,95

Analisis Perhitungan data digunakan pada tanggal 03 Mei 2021 yaitu sebagai berikut :

Keadaan pada titik 1 (Uap Masuk)

$$P = 19 \text{ Bar} = 1,9 \text{ MPa} = 1900 \text{ Kpa}$$

$$T = 230 \text{ }^\circ\text{C}$$

Dari tabel uap A-6 (*Superheated water*) untuk nilai h dan s dapat diperoleh dengan melakukan interpolasi karena pada tabel uap tidak memberikan harga yang tepat untuk kondisi diatas, sebagai berikut :

Tabel 4. Keadaan Pada Titik 1 (Uap Masuk)

	$T = 225^{\circ}\text{C}$	$T = 250^{\circ}\text{C}$
$P = 1,8 \text{ MPa}$	$h = 2847,2 \text{ KJ/Kg}$ $S = 6,4825 \text{ KJ/KgK}$	$h = 2911,7 \text{ KJ/Kg}$ $S = 6,6088 \text{ KJ/KgK}$
$P = 2,0 \text{ MPa}$	$h = 2836,1 \text{ KJ/Kg}$ $S = 6,4160 \text{ KJ/KgK}$	$h = 2903,3 \text{ KJ/Kg}$ $S = 6,5475 \text{ KJ/KgK}$

Dengan interpolasi $P = 1,8 \text{ MPa}$ dan $T = 230^{\circ}\text{C}$ maka nilai entalpi uap ialah :

$$\frac{h_{230} - h_{225}}{h_{250} - h_{225}} = \frac{T_{230} - T_{225}}{T_{250} - T_{225}}$$

$$\frac{h_{230} - 2847,2 \text{ KJ/Kg}}{2911,7 \text{ KJ/Kg} - 2847,2 \text{ KJ/Kg}} = \frac{230^{\circ}\text{C} - 225^{\circ}\text{C}}{250^{\circ}\text{C} - 225^{\circ}\text{C}}$$

$$h_{230} = 2860,1 \text{ KJ/Kg}$$

Entropi spesifik uap ialah :

$$\frac{S_{230} - S_{225}}{S_{250} - S_{225}} = \frac{T_{230} - T_{225}}{T_{250} - T_{225}}$$

$$\frac{S_{230} - 6,4825 \text{ KJ/KgK}}{6,6088 \text{ KJ/KgK} - 6,4825 \text{ KJ/KgK}} = \frac{230^{\circ}\text{C} - 225^{\circ}\text{C}}{250^{\circ}\text{C} - 225^{\circ}\text{C}}$$

$$S_{230} = 6,50776 \text{ KJ/KgK}$$

Dengan interpolasi $P = 2,0 \text{ MPa}$ dan $T = 230^{\circ}\text{C}$

$$\frac{h_{230'} - h_{225}}{h_{250} - h_{225}} = \frac{T_{230} - T_{225}}{T_{250} - T_{225}}$$

$$\frac{h_{230'} - 2836,1 \text{ KJ/Kg}}{2903,3 \text{ KJ/Kg} - 2836,1 \text{ KJ/Kg}} = \frac{230^{\circ}\text{C} - 225^{\circ}\text{C}}{250^{\circ}\text{C} - 225^{\circ}\text{C}}$$

$$h_{230'} = 2849,54 \text{ KJ/Kg}$$

Entropi Spesifik Uap :

$$\frac{S_{230'} - S_{225}}{S_{250} - S_{225}} = \frac{T_{230} - T_{225}}{T_{250} - T_{225}}$$

$$\frac{S_{230'} - 6,4160 \text{ KJ/KgK}}{6,5475 \text{ KJ/KgK} - 6,4160 \text{ KJ/KgK}} = \frac{230^{\circ}\text{C} - 225^{\circ}\text{C}}{250^{\circ}\text{C} - 225^{\circ}\text{C}}$$

$$S_{230'} = 6,4423 \text{ KJ/KgK}$$

Entalpi pada $P = 19 \text{ Bar}$ ($1,9 \text{ MPa}$) dan $T = 230^{\circ}\text{C}$ diperoleh secara interpolasi :

$$\frac{h_1 - h_{230}}{h_{230'} - h_{230}} = \frac{P_{19} - P_{18}}{P_{20} - P_{18}}$$

$$\frac{h_1 - 2860,1 \text{ KJ/Kg}}{2849,54 \text{ KJ/Kg} - 2860,1 \text{ KJ/Kg}} = \frac{19 \text{ Bar} - 18 \text{ Bar}}{20 \text{ Bar} - 18 \text{ Bar}}$$

$$h_1 = 2854,82 \text{ KJ/Kg}$$

Entropi Spesifik Uap :

$$\frac{S_1 - S_{230}}{S_{230'} - S_{230}} = \frac{P_{19} - P_{18}}{P_{20} - P_{18}}$$

$$\frac{S1 - 6,50776 \text{ KJ/KgK}}{6,4423 \text{ KJ/KgK} - 6,50776 \text{ KJ/KgK}} = \frac{19 \text{ Bar} - 18 \text{ Bar}}{20 \text{ Bar} - 18 \text{ Bar}}$$

$$\mathbf{S1 = 6,47503 \text{ KJ/KgK}}$$

Keadaan pada titik 2 (Uap Keluar Turbin)

Kondisi uap keluar turbin pada $P = 3,0 \text{ Bar} = 300 \text{ kPa} = 0,3 \text{ Mpa}$, secara teoritis isentropik, entropik spesifiknya, $S1 = S2 = 6,47503 \text{ KJ/KgK}$

Dari tabel A-5 (Saturated Water- Pressure table) dapat diperoleh :

$$hf = 516,43 \text{ KJ/Kg} \quad Sf = 1,6717 \text{ KJ/KgK}$$

$$hfg = 2163,5 \text{ KJ/Kg} \quad Sfg = 5,3200 \text{ KJ/KgK}$$

$$hg = 2724,9 \text{ KJ/Kg} \quad Sg = 6,9917 \text{ KJ/KgK}$$

Ternyata nilai entropik spesifik lebih kecil dari nilai entropik saturasinya, maka kondisi uap adalah uap campuran.

Maka nilai fraksi uap pada titik 2 (X_2) dapat diperoleh :

$$X_2 = \frac{S2 - Sf}{Sfg}$$

$$X_2 = \frac{6,599985 \text{ KJ/KgK} - 1,6717 \text{ KJ/KgK}}{5,3200 \text{ KJ/KgK}}$$

$$\mathbf{X_2 = 0,9029}$$

Maka nilai entalpi (h_2):

$$h_2 = hf + X_2(hfg)$$

$$h_2 = 516,43 \text{ KJ/Kg} + 0,9029(2163,5 \text{ KJ/KgK})$$

$$\mathbf{h_2 = 2469,85415 \text{ KJ/Kg}}$$

Maka nilai dari daya kerja turbin uap berdasarkan data dilapangan pada tanggal 03 Mei 2021 adalah sebagai berikut :

$$Wt = \dot{m}(h_1 - h_2) \text{ dengan laju aliran uap yaitu } \dot{m} = 20 \text{ ton/jam} = 5,56 \text{ Kg/s}$$

$$Wt = 5,56 \text{ Kg/s}(2854,82 \text{ KJ/Kg} - 2469,85415 \text{ KJ/Kg})$$

$$\mathbf{Wt = 2140,41096 \text{ KW}}$$

Untuk nilai efisiensi turbin- generator uap berdasarkan data dilapangan tanggal 03 Mei 2021 dengan daya keluaran generator sebesar 405 KW adalah sebagai berikut :

$$\eta_i \text{ turbin - Gen} = \frac{\text{Beban}}{Wt_{\text{isentropis}}} \times 100\%$$

$$\eta_i \text{ turbin - Gen} = \frac{405 \text{ KW}}{2140,41096} \times 100\%$$

$$\mathbf{\eta_i \text{ turbin - Gen} = 18,92 \%}$$

Dengan cara perhitungan yang sama seperti tanggal 03 Mei 2021 sebelumnya untuk mendapatkan nilai daya kerja turbin uap dan efisiensi turbin-generator maka diperoleh hasil data perhitungan selama 5 hari pada tabel 2. berikut :

Tabel 5. Hasil Perhitungan Kerja Turbin (Wt) dan Efisiensi Total Turbin-Generator Selama 5 Hari

No	Tanggal	Suhu Inlet (T) °C	P inlet Bar	P outlet Bar	Beban KW	Daya Kerja Turbin (Wt) KW	Efisiensi Total η
1	03 Mei 2021	230	19	3	405	2140,41096	18,92%
2	04 Mei 2021	228	19	2,9	405	1916,38744	21,11%
3	05 Mei 2021	232	19	3	420	2146,845	19,56%
4	06 Mei 2021	230	19	2,9	405	1954,21768	20,72%
5	07 Mei 2021	225	19	2,5	420	2039,28012	20,59%
	Rata rata					2039,42824	20,18 %

Dari hasil yang terdapat pada tabel 2. dapat kita lihat bahwa daya kerja dari pada turbin berbeda hal ini dikarenakan suhu masukan pada turbin yang berbeda dan tekanan keluar turbin yang berbeda. Jika tekanan uap masuk sama, suhu masuk turbin lebih kecil dan uap keluar turbin lebih kecil maka daya kerja turbin semakin kecil. Jika suhu uap masuk semakin besar dan uap keluar semakin besar maka daya kerja turbin juga semakin besar. sehingga besar kecilnya daya kerja pada turbin dipengaruhi oleh suhu uap masuk dan tekanan uap keluar turbin.

SIMPULAN

Setelah melakukan analisis mengenai performansi turbin uap di Pabrik Kelapa Sawit PT. Biyu Iyas Malela, maka kesimpulan yang dapat diambil yaitu berdasarkan spesifikasi nilai kerja turbin uap adalah 1844,84316 KW dan nilai rata rata kerja turbin uap berdasarkan data operasinal di lapangan pada tanggal 03 Mei 2021- 07 Mei 2021 adalah 2039,42824 KW. Dan berdasarkan spesifikasi nilai efisiensi total turbin dan generator adalah 58,54% dan nilai rata- rata efisiensi total turbin dan generator berdasarkan data operasinal di lapangan pada tanggal 03 Mei 2021- 07 Mei 2021 adalah 20,18 %. Oleh karena nilai kerja turbin uap dan efisiensi turbin-generator mengalami penurunan terjadi karenan peralatan pada turbin yang tidak bekerja secara maksimal dan mengalami penurunan baik pada tekanan dan suhu uap masuk. Oleh karena itu sebaiknya dalam menjaga efisiensi turbin maka perlu dilakukan penaikan suhu dan tekanan uap masuk pada turbin dan perawatan pada setiap komponen peralatan turbin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Politeknik Negeri Medan melalui Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriandi,Riyki & Aqli Mursadin., 2016, Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan Performance Test PLTU PT. Indocement P-12 Tarjun, Universitas Lambung Mangkurat, Kalimantan Selatan.
- El- Wakil,M.,1992, Instalasi Pembangkit Daya, Penerbit Erlangga.
- Pudjanarsa, Astu & Djati Narsuhud, 2013, Mesin Konversi Energi, Edisi Ketiga, Penerbit ANDI.
- Samosir, Rolando., 2019, Analisa Efisiensi Isentropik Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBM), Politeknik Jaya Pura, Pontianak.
- Shlyakhin, P., 1999, Turbin Uap dan Perancangan, Penerbit Erlangga.
- Wahyudi, Banu., 2019, Analisis Efisiensi Turbin Uap Terhadap Kapasitas Listrik Pembangkit, Universitas Medan Area, Medan.