

Pengaruh Laju Massa Uap Terhadap Efisiensi Kerja Turbin Uap Pada Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 50 Ton/Jam

Irda Yanti^{1*}, Zulham Effendi², Ika Ucha Pradifita Rangkuti³

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

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

³Prodi 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: irdayantidumai@gmail.com

Abstract

The turbine efficiency is a parameter that measures the success of a turbine system in approaching the ideal process, expressed in percentage (%). Turbine efficiency can be determined by comparing the ideal work of the turbine with the actual work of the turbine. The steam mass flow rate is the amount of steam that flows through the steam turbine per unit of time. This research aims to determine the influence of the steam mass flow rate entering the turbine on the efficiency of the steam turbine's work. The research will be conducted on October 3 – October 16, 2023 at a Palm Oil Mill with a capacity of 50 tons/hour. The method used in this study is using the Quantitative Descriptive method based on primary data on steam turbines. The average mass rate of steam that occurs from October 3 to October 16, 2023 is 6.70 kg/s or 24.12 tons/hour. While the average working efficiency of steam turbines in the same period was 32.69%. The highest steam turbine working efficiency value achieved on October 3-October 16, 2023 in a palm oil mill with a capacity of 50 tons/hour is 37.365% with a steam mass rate of 6.38 kg/s. From this study, it can be seen that the steam mass rate has a significant effect on the working efficiency of the steam turbine, it can be seen from the negative regression equation coefficient, which means that the greater the steam mass rate, the efficiency value of the steam turbine will also decrease.

Keywords: efficiency, pressure, steam mass rate

Abstrak

Efisiensi turbin merupakan sebuah parameter dari derajat keberhasilan system turbin untuk mendekati proses ideal dengan satuan persen (%). Efisiensi turbin diketahui dengan membandingkan kerja ideal turbin dengan kerja aktual turbin. Laju massa uap adalah jumlah uap yang mengalir ke turbin uap dalam satuan waktu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju massa uap terhadap nilai efisiensi turbin uap. Penelitian dilaksanakan pada 3 oktober-16 oktober 2023 di pabrik kelapa sawit kapasitas 50 ton/jam. Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan metode Deskriptif Kuantitatif berdasarkan data primer pada turbin uap. Rata-rata laju massa uap yang terjadi pada 3 oktober-16 oktober 2023 yaitu 6,70 kg/s atau 24,12 ton/jam. Sedangkan rata-rata efisiensi kerja turbin uap pada periode yang sama 32,69 %. Nilai efisiensi kerja turbin uap tertinggi yang tercapai pada 3 oktober-16 oktober 2023 di pabrik kelapa sawit Kapasitas 50 Ton/Jam yaitu 37,365% dengan laju massa uap 6,38 kg/s. Dari penelitian ini dapat diketahui bahwasanya laju massa uap berpengaruh signifikan terhadap efisiensi kerja turbin uap, dapat dilihat dari koefisien persamaan regresi yang negatif, yang berarti semakin besar laju massa uap, nilai efisiensi turbin uap juga akan menurun, begitu pula sebaliknya.

Kata kunci: efisiensi, tekanan, laju massa uap

1. Pendahuluan

Pabrik kelapa sawit mengolah bahan baku TBS (Tandan Buah Segar) yang berasal dari kebun untuk selanjutnya diolah sehingga didapatkan minyak sawit mentah atau CPO (*Crude Palm Oil*) dan juga inti sawit. Dalam keseluruhan proses

pengolahannya, pabrik kelapa sawit membutuhkan sumber energi yang besar sebagai penggerak mesin dan alat di setiap stasiun. Terdapat beberapa stasiun pengolahan di pabrik kelapa sawit yaitu stasiun penerimaan buah, stasiun perebusan, stasiun penebahan, stasiun pengepressan,

stasiun pemurnian minyak dan stasiun pengolahan inti sawit (kernel). Selain itu terdapat stasiun pendukung, salah satunya adalah stasiun pembangkit tenaga (*Power Plant*). Pada kondisi saat ini pabrik kelapa sawit menggunakan suatu sistem pembangkit tenaga dengan menggunakan boiler dan turbin uap. Energi listrik dari pembangkit listrik akan digunakan untuk proses pengolahan pada stasiun utama. Stasiun pembangkit tenaga uap ini terdiri dari boiler, turbin uap, kondensor dan generator [1].

Boiler

Boiler merupakan alat yang menghasilkan *steam* atau uap dari proses pemanasan dengan menggunakan bahan bakar cangkang dan fiber. Steam tersebut akan digunakan sebagai media pemanas, pengering dan pengawet pada hampir seluruh stasiun proses pengolahan di pabrik kelapa sawit. Jika air direbus menjadi uap pada tekanan dan temperatur tertentu, volumenya akan meningkat 1600 kali lipat [2]. *Steam* yang digunakan untuk menggerakkan turbin pada pabrik kelapa sawit adalah *superheated steam* (uap kering) yang sudah tidak mengandung kelembaban air sedikitpun [3].

Turbin Uap

Turbin uap merupakan suatu penggerak yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan kemudian diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. *Superheated steam* yang dihasilkan dari proses pemanasan air dalam boiler digunakan oleh turbin uap untuk menghasilkan energi listrik pada pabrik kelapa sawit. Besaran daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin perlu diketahui untuk memastikan apakah turbin dalam kondisi baik atau tidak. Turbin secara umum dibedakan menjadi 3 jenis yaitu turbin impuls, turbin reaksi dan turbin gabungan (impuls reaksi), berdasarkan cara perolehan perubahan energi potensial menjadi energi kinetik [4].

Siklus Rankine

Siklus *Rankine* merupakan dasar siklus kerja pada sistem pembangkit tenaga uap. Terdapat empat komponen utama dalam siklus Rankine sederhana yaitu, pompa, boiler, turbin dan kondensor. Pada Siklus

rankine sederhana dimulai dari proses pemompaan air ke dalam boiler. Pompa tersebut adalah *feed water pump*. Pompa ini harus menekan air ke boiler dengan tekanan yang cukup tinggi. Pompa bekerja menurut proses *isentropis (adiabatis reversibel)* dan secara aktual pompa bekerja menurut proses *adiabatis irreversibel*. Air yang bertekanan tinggi akan dipanaskan oleh boiler hingga menjadi uap panas lanjut (*Superheated Steam*), kemudian dialirkan ke turbin melalui pipa-pipa uap. Di dalam turbin, uap panas lanjut diekspansikan dan digunakan untuk memutar rotor turbin uap. Uap dengan tekanan rendah dari turbin uap mengalir ke kondensor, kemudian uap didinginkan dengan media pendingin air hingga berubah fase menjadi air. Air tersebut ditampung di dalam tangki dan dipisahkan dari gas-gas yang tersisa. Air siap untuk dipompa ke dalam boiler [5].

Pada siklus Rankine terdapat rugi-rugi yang disebabkan oleh gesekan di dalam masing-masing dari keempat komponen, namun rugi-rugi tersebut biasanya sangat kecil dan akan diabaikan sepenuhnya [6].

Efisiensi Kerja Turbin Uap

Efisiensi kerja turbin uap menjadi faktor penting dalam memastikan kelancaran, keandalan operasional dan biaya produksi pada pabrik kelapa sawit. Turbin uap dengan efisiensi yang tinggi akan menghasilkan lebih banyak daya mekanis dengan menggunakan jumlah uap yang lebih sedikit, sehingga dapat mengurangi konsumsi energi dan biaya bahan bakar. Semakin efisien kerja turbin uap, maka semakin besar pula ketersediaan listrik yang dihasilkan. Efisiensi turbin dapat ditentukan berdasarkan perbandingan antara kerja aktual yang dihasilkan dan kerja ideal dari turbin [7].

Salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi kerja turbin uap adalah laju massa uap.

Laju Massa Uap

Laju massa uap mengacu pada jumlah uap yang masuk ke turbin dalam satuan waktu. Jumlah uap masuk ke dalam turbin

dilakukan oleh *control valve* yang bekerja secara otomatis [8]. Laju massa uap yang tidak optimal, misalnya terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menyebabkan turunnya efisiensi turbin. Laju massa uap masuk yang semakin tinggi akan mengakibatkan putaran poros turbin yang semakin cepat, namun belum tentu efisiensi turbin yang dihasilkan juga besar. Dengan melakukan penelitian tentang pengaruh laju massa uap terhadap efisiensi kerja turbin uap pada pabrik kelapa sawit, maka dapat ditentukan titik operasi yang optimal untuk turbin uap tersebut. Selain itu, penggunaan energi dan peningkatan efisiensi sistem tenaga di pabrik kelapa sawit juga dapat dioptimalkan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh laju massa uap terhadap efisiensi kerja turbin uap pada pabrik kelapa sawit. Dengan mengetahui hubungan antara laju massa uap dan efisiensi kerja turbin uap, sehingga pabrik kelapa sawit dapat melakukan perbaikan dan peningkatan sistem pengukuran dan pengendalian laju massa uap masuk untuk meningkatkan efisiensi kerja turbin uap agar menghasilkan listrik yang lebih banyak dengan biaya yang lebih efektif. Oleh karena itu diperlukan penelitian mengenai pengaruh laju massa uap terhadap efisiensi kerja turbin uap pada pabrik kelapa sawit ini untuk mengetahui seberapa besar pengaruh laju massa uap terhadap efisiensi kerja turbin agar kinerja turbin uap maksimal dan target proses pengolahan di pabrik kelapa sawit akan tercapai.

2. Metode Penelitian

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di pabrik kelapa sawit dengan kapasitas 50 ton/jam pada periode 3 oktober – 16 oktober 2023.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat

Alat yang menjadi fokus pada penelitian ini adalah turbin uap pada pabrik kelapa sawit kapasitas 50 ton/jam.

Merk : Tuthill Nadrowski

Type : C5DS11-GVS



Gambar 1. Turbin uap

Rate Output : 1800 kW

P1 : 31 Bar

P2 : 4,5 Bar

Steam Flow : 30 Ton/Jam : 8,3 kg/s Inlet

Steam Pressure : 270 °C

Rated Speed : 1500 rpm

Bahan

1. Data Tekanan Uap Masuk (kg/cm²)
2. Data Tekanan Uap Keluar (kg/cm²)
3. Data Laju Massa Uap (kg/s)
4. Data Spesifikasi Turbin Uap

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan teknik Analisa Deskriptif Kuantitatif berdasarkan data primer pada *control room* kamar mesin. Seluruh kegiatan tersebut dilakukan pada stasiun Pembangkit Tenaga di Pabrik Kelapa Sawit dengan kapasitas 50 ton/jam. Adapun variabel penelitian ini yaitu Laju Massa Uap (kg/s) sebagai Variabel Bebas dan Nilai Efisiensi Kerja Turbin (%) sebagai Variabel Terikat.

Tahapan Penelitian

1. Melakukan observasi di lapangan.
2. Melakukan pengambilan data primer berupa data tekanan masuk, tekanan keluar dan laju massa uap dalam waktu kurang lebih 7 hari dan juga data spesifikasi turbin uap, pada *log sheet* harian operator turbin pada kamar mesin stasiun pembangkit tenaga.
3. Melakukan Analisa terhadap data-data yang diperoleh

- Melakukan pengolahan terhadap data-data yang diperoleh.
- Interpretasi hasil melalui perhitungan dengan rumus dan penyajian grafik.

Persamaan

1. Fraksi Uap

$$X = \frac{sg\ in - sf\ out}{sfg\ out} \quad (1)$$

Keterangan :

X = Fraksi Uap

Sg in = Entropi Uap Masuk (kJ/kg.K)

Sf out = Entropi Cairan Keluar (kJ/kg.K)

Sfg out = Entropi campuran uap-cairan keluar (kJ/kg.K)

2. Entalpi Uap Keluar Isentropis

$$h\ out = hf\ out + (X x hfg\ out) \quad (2)$$

Keterangan :

h out = Entalpi uap keluar isentropis (J/Kgk)

hf out = Entalpi cairan keluar (kJ/kg)

X = Fraksi Uap

hfg = Entalpi campuran uap-cairan keluar (kJ/kg)

3. Daya Turbin dalam Keadaan Isentropis

$$Wts = \frac{steam\ flow\ x\ (h\ in - h\ out)}{1000} \quad (3)$$

Keterangan :

Wts = Daya isentropis turbin (MW)

Steam flow = Laju massa uap (kJ/s)

h in = Entalpi uap masuk (kJ/kg)

h out = Entalpi uap keluar isentropis (kJ/kg)

4. Nilai Efisiensi Turbin

$$\eta_{turbin} = \frac{Wta}{Wts} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan :

η_{turbin} = Efisiensi turbin (%)

Wta = Daya aktual keluaran turbin (MW)

Wts = Daya isentropis turbin (MW)

5. Analisa Regresi

$$Y = a + bX \quad (5)$$

Keterangan :

a = Nilai konstanta

b = Koefisien regresi

X = Laju massa uap

Y = Nilai efisiensi kerja turbin

3. Hasil dan Pembahasan

Analisa Efisiensi Turbin Uap berdasarkan Data Spesifikasi

Berikut merupakan hasil perhitungan efisiensi turbin spesifikasi yang diperoleh dari data *name plate* turbin di pabrik kelapa sawit dengan kapasitas 50 ton/jam yang disajikan pada tabel dibawah ini:

Tabel 1. Hasil perhitungan efisiensi turbin berdasarkan data spesifikasi

Tekanan uap masuk (kg/cm ²)	Tekanan uap keluar (kg/cm ²)	Laju massa uap (kg/s)	Daya (kW)	η_{turbin} uap (%)
31	4,5	8,3	1800	58,582

Dari tabel 1 dapat diketahui bahwa perhitungan efisiensi turbin uap berdasarkan data spesifikasi turbin yang ada di pabrik kelapa sawit dengan kapasitas 50 Ton/Jam yaitu sebesar 58,582%, dengan tekanan uap masuk 31 kg/cm², tekanan uap keluar 4,5 kg/cm², laju massa uap 30 ton/jam atau setara dengan 8,3 kg/s dan daya 1800 kW.

Analisa Efisiensi Turbin Uap berdasarkan Data Operasional

Dalam melakukan perhitungan efisiensi turbin uap ini maka sebelumnya telah dilakukan pengambilan data berupa data tekanan masuk turbin, data tekanan keluar turbin, daya yang dihasilkan turbin dan laju massa uap yang masuk ke turbin,

yang dimanfaatkan untuk mengetahui entalpi masuk dan keluar turbin, kemudian dilakukan perhitungan efisiensi turbin. Hasil yang diperoleh dalam perhitungan yang telah dilakukan, berupa efisiensi turbin uap dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Efisiensi turbin uap berdasarkan data operasional

Hari	Laju Massa Uap Rata-Rata (kg/s)	Efisiensi Turbin Uap Rata-Rata(%)
1	6,67	33,148
2	6,68	33,878
3	6,86	31,628
4	6,67	32,404
5	6,54	32,964
6	6,80	31,433
7	6,71	33,439

Berdasarkan tabel 2 diketahui bahwa laju massa uap rata-rata tertinggi terjadi pada hari ke-3 yaitu sebesar 6,86 kg/s dengan efisiensi turbin yang tercapai yaitu 31,628 %. Sedangkan rata-rata laju massa uap terendah terjadi pada hari ke-5 yaitu sebesar 6,54 kg/s dengan nilai efisiensi kerja turbin uap yang tercapai yaitu 32,964.

Hal ini terjadi karena laju massa uap yang masuk ke turbin tinggi, sehingga daya aktual yang dihasilkan oleh turbin rendah. Semakin tinggi laju massa uap yang masuk ke turbin maka putaran turbin akan semakin cepat sehingga akan menghasilkan daya isentropis yang lebih besar pula. Sementara itu daya isentropis turbin berbanding terbalik dengan efisiensi kerja turbin uap, sehingga apabila daya isentropis turbin tinggi maka nilai efisiensi turbin akan menurun [9].

Nilai laju alir massa uap merupakan salah satu parameter penentu nilai daya yang dihasilkan turbin uap. Perbedaan entalpi pada tekanan masuk dan tekanan keluar turbin bergantung pada tekanan dan temperatur uap yang mengalir pada sistem kerja [10].

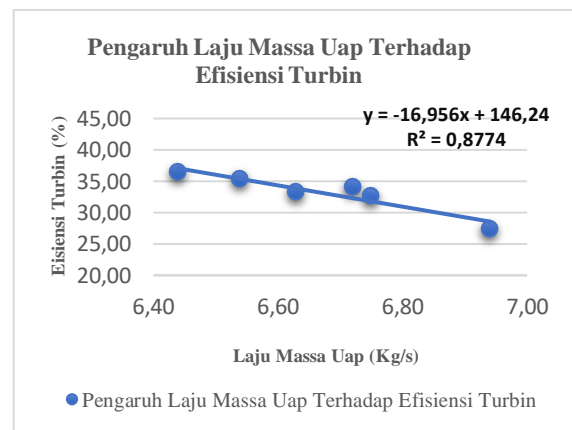
Perbedaan tekanan juga akan memengaruhi laju massa uap yang masuk

pada turbin yang mengakibatkan terjadinya perubahan entalpi baik pada tekanan masuk maupun keluar, sehingga dapat berpengaruh kepada daya yang dihasilkan generator dan memengaruhi nilai efisiensi kerja turbin [11].

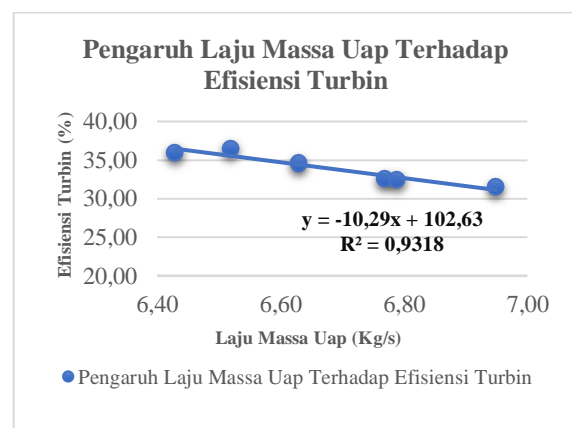
Terdapat beberapa faktor yang dapat memengaruhi nilai efisiensi turbin uap yaitu daya keluaran yang dihasilkan oleh turbin uap, entalpi dari *steam*, serta laju aliran massa uap [12].

Pengaruh Laju Massa Uap terhadap Efisiensi Kerja Turbin Uap

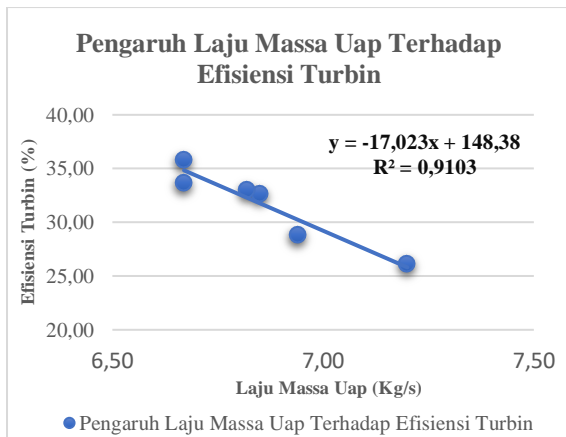
Turbin uap merupakan mesin konversi energi yang dapat menghasilkan energi listrik dan dapat bergerak karena memanfaatkan energi panas dari uap yang dihasilkan oleh boiler. Kapasitas turbin uap pada pabrik kelapa sawit dengan kapasitas 50 ton/jam yaitu 1800 kW.



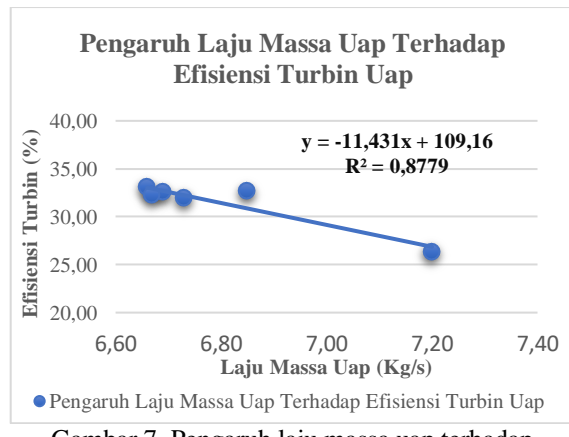
Gambar 2. Pengaruh laju massa uap terhadap efisiensi turbin hari ke-1



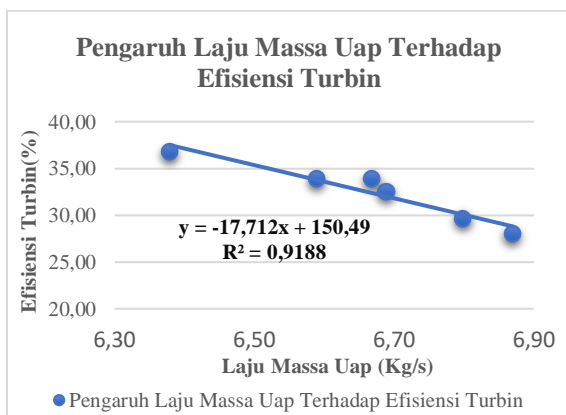
Gambar 3. Pengaruh laju massa uap terhadap efisiensi turbin hari ke-2



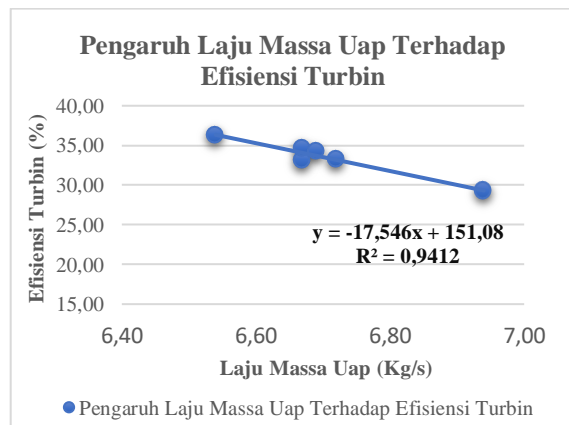
Gambar 4. Pengaruh laju massa uap terhadap efisiensi turbin hari ke-3



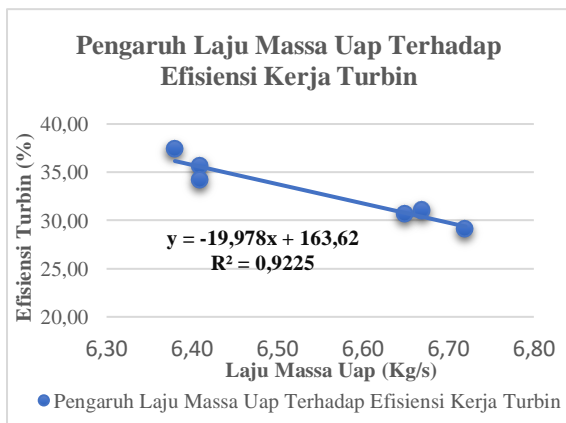
Gambar 7. Pengaruh laju massa uap terhadap efisiensi turbin hari ke-6



Gambar 5. Pengaruh laju massa uap terhadap efisiensi turbin hari ke-4



Gambar 8. Pengaruh laju massa uap terhadap efisiensi turbin hari ke-7



Gambar 6. Pengaruh laju massa uap terhadap efisiensi turbin hari ke-5

Berdasarkan gambar yang disajikan dapat diketahui bahwa nilai efisiensi kerja turbin uap dipengaruhi oleh laju massa uap. Dapat dilihat dari persamaan regresi yang diperoleh dan juga nilai koefisien determinasi (R^2) pada grafik data harian yang disajikan.

Koefisien regresi pada persamaan yang bernilai negatif menunjukkan bahwa semakin besar laju massa uap, maka efisiensi kerja turbin uap yang dihasilkan akan semakin rendah, hal ini dikarenakan tingginya laju massa uap yang masuk ke turbin sehingga putaran turbin akan semakin cepat dan akan menghasilkan daya isentropis yang tinggi, sehingga selisih antara daya isentropis dengan daya aktual yang dihasilkan turbin tinggi dan menyebabkan efisiensi kerja turbin rendah [9].

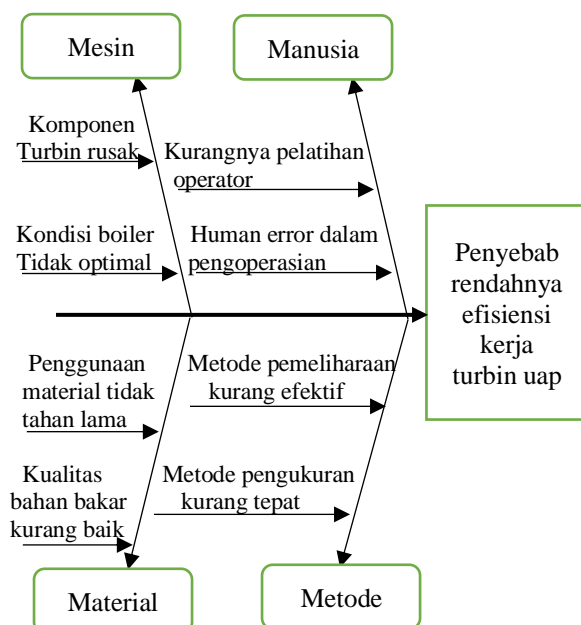
Naik turunnya laju massa uap berakibat pada nilai efisiensi turbin dan beberapa parameter lainnya [13].

Nilai efisiensi kerja turbin uap tertinggi yang tercapai pada periode penelitian di Pabrik Kelapa Sawit dengan kapasitas 50 ton/jam yaitu 37,365%.

Efisiensi turbin sangat penting untuk mengetahui seberapa baik proses konversi energi yang terjadi, apabila efisiensi yang diperoleh mendekati 100%, maka itu berarti sistem turbin mendekati desain atau proses ideal karena dapat mengkonversi uap yang masuk secara optimal sehingga produksi listrik yang maksimal juga tercapai. Namun terdapat beberapa faktor yang memengaruhi efisiensi kerja turbin uap yaitu daya yang dikeluarkan turbin, *mass flow*, tekanan masuk dan tekanan keluar turbin, temperature uap masuk dan temperature uap keluar turbin dan besar putaran poros turbin [12].

Analisa Penyebab Menggunakan Diagram Fishbone

Untuk menganalisa penyebab rendahnya efisiensi kerja turbin uap, dilakukan Analisa menggunakan diagram *fishbone* sebagai berikut:



Gambar 9. Diagram Fishbone

1. Manusia (Man)

Man (manusia) merujuk pada sumber daya manusia yang terlibat secara langsung dalam kegiatan operasional pabrik, dimana manusia sangat berperan dalam mengatur laju massa uap yang masuk ke turbin dan juga berpengaruh pada tercapai tidaknya efisiensi kerja turbin yang optimal. Ada beberapa faktor yang dapat menjadi penyebab rendahnya laju massa uap dan efisiensi kerja turbin uap di pabrik kelapa sawit, yaitu berupa kurangnya pelatihan pada operator terhadap bidang tugas, ketidakdisiplinan, kekuatan fisik, tekanan kerja dan juga stress akibat kerja [14].

2. Mesin (Machine)

Mesin merupakan peralatan yang digunakan dalam seluruh rangkaian kegiatan operasional pabrik kelapa sawit, dimana mesin dapat menjadi salah satu sumber penyebab rendahnya laju massa uap dan efisiensi kerja turbin uap. Salah satu cara alternatif untuk meningkatkan perbaikan pendapatan perusahaan yaitu dengan menerapkan perbaikan secara berkelanjutan dan dilakukan perawatan (maintenance) yang baik terhadap setiap peralatan pada proses pengolahan kelapa sawit [15].

3. Metode (Method)

Metode merupakan tata cara kerja yang memengaruhi berjalannya sebuah pekerjaan dengan baik atau tidak. Dalam suatu perusahaan terutama pada pabrik kelapa sawit terdapat sebuah metode dalam bentuk Standar Operasional Prosedur (SOP) yang dijadikan sebagai acuan dalam mengoperasikan mesin dan alat serta sebagai standard dalam mengerjakan sesuatu untuk mencapai suatu hasil yang telah ditetapkan sebagai sebuah standard.

4. Material

Pada aspek material yang terdapat beberapa faktor yang menjadi penyebab rendahnya laju massa uap dan efisiensi kerja turbin 46 uap diantaranya yaitu penggunaan material yang tidak tahan lama dan kualitas bahan bakar yang kurang baik.

4. Kesimpulan

Rata-rata laju massa uap yang terjadi pada periode 3 oktober-16 oktober 2023 yaitu 6,70 kg/s atau 24,12 ton/jam dengan rata-rata efisiensi kerja turbin uap berdasarkan data aktual yaitu 32,69 %. Sedangkan efisiensi turbin berdasarkan data spesifikasi pada *name plate* turbin yaitu 58,582%. Laju massa uap berpengaruh terhadap efisiensi kerja turbin uap, dapat dilihat dari koefisien persamaan regresi yang negatif, yang berarti semakin besar laju massa uap, maka nilai efisiensi kerja turbin uap juga akan semakin rendah atau menurun. Nilai efisiensi kerja turbin uap tertinggi yang tercapai pada periode 3 oktober-16 oktober 2023 di Pabrik Kelapa Sawit dengan kapasitas 50 ton/jam yaitu 37,365%. Angka efisiensi tersebut tercapai dengan daya yang dihasilkan oleh turbin uap yaitu berkisar 600 kW-850 kW, dimana kapasitas turbin itu sendiri yaitu 1800 kW.

Referensi

- [1] A. Latifianto, Y. Prawatya, dan M. Ivanto, "Analisis Pengaruh Perubahan Tekanan Kondensor (Vakum) Terhadap Efisiensi Heat Rate Turbin Uap di PT. PJB (Pembangkit Jawa Bali) PLTU Ketapang 10 MW." 2019.
- [2] Z. Effendi, S. Aisyah, dan R. Hastyanda, "Fuel Used Analysis on Boiler Efficiency Variations and Water Intake TEMperature Affected by Palm Oil Varieties," *Agric. J.*, vol. 4, no. 1, hal. 94–105, 2021, doi: 10.37637/ab.v4i1.634.
- [3] M. R. Tarigan, G. Supriyanto, P. Studi, T. Pertanian, dan F. T. Pertanian, "Analisis Kualitas Air dan Pemakaian Air pada Water Tube Boiler di Pabrik Kelapa Sawit," vol. 1, hal. 663–671, 2023.
- [4] I. P. H. Sinaga, T. C. 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. 03, no. 01, hal. 23–33, 2022.
- [5] P. Pratiwi dan Z. Hadi, "Proses Produksi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap dan Perhitungan Efisiensi Termal : Studi Kasus PLTU Teluk Sirih Production Process of Steam Power Plant and Calculation of Thermal Efficiency : Case Study of Teluk Sirih Steam Power Plant," vol. 12, no. 1, 2022.
- [6] D. Wardianto, Marfizal, dan Sufiyanto, "Pengaruh Beban Listrik Terhadap Laju Aliran Uap Masuk Pada Turbin Uap Sebagai Penggerak Generator," vol. 12, no. 2, 2022.
- [7] E. Ginting, A. Mortowidjojo, dan P. Atmadi, "Analisa Korelasi Nilai Konduktivitas Air Pendingin Terhadap Efisiensi Turbin Uap PLTP Karaha," *J. METTEK*, vol. 7, no. 1, hal. 19–27, 2021.
- [8] I. K. Jamaludin, "Analisa Perhitungan Daya Turbin Yang Dihasilkan dan Efisiensi Turbin Uap pada Unit 1 dan Unit 2 di PT.Indonesia Power Uboh UJP Banten 3 Lontar," hal. 1–8, 2017.
- [9] 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," POLITEKNIK ATI MAKASSAR, 2021.
- [10] M. Alit *et al.*, "Pengaruh Nilai Buka Valve Terhadap Daya Yang Dihasilkan Oleh Turbin Uap Dalam Waste to Heat Energy System," vol. 2850, hal. 1223–1232, 2022.
- [11] Najamudin, "Pengaruh Tekanan

- Masuk dan Tekanan Keluar Turbin Terhadap Daya Penggerak Generator,” *J. Tek. Mesin UBL*, vol. 6, hal. 1–9, 2019.
- [12] S. Aisyah, Z. Effendi, dan D. Maha, “Aplikasi Interpolasi Lagrange Terhadap Efisiensi Turbin Pada Pabrik Kelapa Sawit Mayang Kapasitas 40 Ton/Jam,” *AGROINTEK*, vol. 15, no. 1, hal. 171–176, 2021.
- [13] I. Suriaman, A. Suprayitno, dan A. Hermanto, “Analisis Pengaruh Laju Uap Terhadap Efisiensi Turbin Uap Condensing Pada PLTU PT.XXX,” *J. Teknol.*, vol. 12, hal. 205–215, 2022.
- [14] Z. Effendi, S. Aisyah, dan M. F. Lubis, “Analisa Efektivitas Blowdown Rate Dan Blowdown Time Pada Boiler Kapasitas 20 Ton/Jam,” *J. Teknol. Pertan.*, vol. 12, no. 2, hal. 68–81, 2023.
- [15] Z. Effendi dan I. U. P. Rangkuti, “Analisa Reliability, Maintainability Dan Availability Untuk Meningkatkan Efektivitas Dan Efisiensi Sterilizer Di Pabrik Kelapa Sawit,” *J. Agro Estate*, vol. 1, no. 1, hal. 43–51, 2017.