

ANALISA PERFORMA PEMBANGKIT LISTRIK AKIBAT KONSUMSI RUMAH TANGGA DI PKS PTPN IV KEBUN ADOLINA

Oleh :

Prio Mandyvo

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik UISU

Abstrak

Turbin uap termasuk dalam kelompok pesawat-pesawat konversi energi potensial uap menjadi energi mekanik pada poros turbin uap. Poros turbin uap langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, transportasi, penerangan lampu, serta untuk pembangkit bertenaga listrik.

Pada PTPN IV Kebun Adolina, daya per rumah yaitu 900 Watt dan di sekitar PKS kebun Adolina ada 20 rumah staf, jadi total daya yang di alirkan ke perumahan yaitu $900 \text{ Watt} \times 20 = 18.000 \text{ Watt}$. 3 sampel daya yang di alirkan ke listrik pembangkit yaitu sebesar $3.121.600 \text{ Watt} = 3.121,6 \text{ KW}$ dengan $\eta_{\text{turbin}} = 19,86 \%$, $2.659.880 \text{ Watt} = 2.659,88 \text{ KW}$ dengan $\eta_{\text{turbin}} = 16,89 \%$, dan $2.649.050 \text{ Watt} = 2.649,05 \text{ KW}$ dengan $\eta_{\text{turbin}} = 20,25 \%$.

Kata kunci : Turbin Uap, Performa, Pembangkit Listrik.

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Energi merupakan unsur yang sangat penting dalam usaha meningkatkan kuantitas hidup masyarakat. Seiring dengan meningkatkan taraf hidup atau kuantitas dari masyarakat, kebutuhan terhadap energi sangat diperlukan, sekarang ini konsumsi energi sangat berhubungan langsung dengan tingkat kuantitas kehidupan penduduk serta derajat industri lisasi suatu negara. Salah satunya energi yang paling banyak digunakan oleh manusia dalam sehari-hari adalah energi listrik, sebab sumber energi sangat efektif atau efisien untuk dikonversikan menjadi bentuk energi yang lain seperti suatu pembangkit tenaga yaitu turbin uap penggerak generator. (Pitrandjalisari & Putra, 2013)

Salah satu jenisnya adalah turbin uap, Dimana Turbin uap termasuk dalam kelompok pesawat-pesawat konversi energi potensial uap menjadi energi mekanik pada poros turbin uap. Poros turbin uap langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, transportasi, penerangan lampu, serta untuk pembangkit bertenaga listrik. Energi listrik yang terdapat pada perumahan staf yang ada di sekitar pabrik kelapa sawit memiliki

kapasitas per rumah yaitu 900 watt.

Adapun turbin uap digunakan merupakan sebagai fluida kerja, sehingga menghasilkan bahan bakar seperti pada pabrik kelapa sawit, bahan bakar pada turbin uap adalah untuk membangkitkan besarnya tenaga uap, sehingga turbin uap mendistribusikan ke 3 bagian seperti melalui pipa-pipa rebusan, minyak dan pressan dimana digunakan untuk proses pengolahan. Namun sebelum dimanfaatkan untuk proses pengolahan, terlebih dahulu berfungsi untuk menghidupkan

panel-panel listrik yang digerakkan oleh generator listrik sehingga generator listrik memutar turbin uap, Dalam hal ini turbin uap di PKS PTPN IV kebun Adolina memiliki efisiensi yang rendah berkapasitas 1600 KW untuk menggerakkan berbagai peralatan yang berada di dalam pabrik kelapa sawit dan perumahan staf dengan daya yang sangat besar sehingga generator menghasilkan energi kinetik menjadi energi listrik.

Sistem pembangkit listrik tenaga uap merupakan sistem pembangkitan energi listrik dari perubahan energi thermal yang dihasilkan oleh bahan bakar untuk memanaskan air. Mesin-mesin konversi energi yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik diantaranya yaitu turbin uap. Dimana turbin uap merupakan kelompok pesawat-pesawat konversi. Dengan mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik pada nosel (turbin impuls) dan sudu-sudu gerak (turbin reaksi) dan diubah menjadi energi mekanik pada poros turbin. Dan dengan bantuan roda gigi reduksi dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung dengan mekanisme yang digerakkan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, untuk transportasi, dan untuk pembangkit tenaga listrik.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan permasalahan yang akan di selesaikan adalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana pengelolaan Sumber daya listrik di PKS PTPN IV kebun Adolina ?
- b. Bagaimana menghitung performa turbin uap yang akan di pergunakan untuk konsumsi rumah tangga?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

- a. Menganalisis efisiensi turbin uap yg dihasilkan di PKS PTPN IV kebun Adolina;
- b. Menganalisis berapa daya listrik yang dikeluarkan di PKS PTPN IV kebun

2. Landasan Teori

2.1. Pengertian Turbin Uap

Sistem turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Dengan kata lain mengubah energi entalpi fluida menjadi energi mekanik.

Turbin Uap merupakan salah satu komponen dasar dalam pembangkit listrik tenaga uap, dimana komponen utama dari sistem tersebut yaitu : Ketel, kondensor, pompa air ketel, dan turbin itu sendiri. Uap yang berfungsi sebagai fluida kerja dihasilkan oleh ketel uap, yaitu suatu alat yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap yang akan menghasilkan energy listrik. (Valdo Sihombing, 2014)

2.2. Prinsip Kerja Turbin Uap

Pada intinya prinsip kerja turbin uap adalah menerima energi kinetik dari superheated vapor (uap kering) yang dikeluarkan oleh nosel sehingga sudu-sudu turbin terdorong secara anguler atau bergerak memutar. Secara singkat prinsip kerja turbin uap adalah sebagai berikut :

- a. Uap masuk kedalam turbin melalui nosel. Didalam nosel energi panas dari uap dirubah menjadi energi kinetis dan uap mengalami pengembangan. Tekanan uap pada saat keluar dari nosel lebih kecil dari pada saat masuk 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 berbentuk lengkungan dan dipasang disekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah-celah antara sudu 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. Jika uap masih mempunyai kecepatan saat meninggalkan sudu turbin berarti hanya sebagian yang energi kinetis dari uap yang diambil oleh sudu-sudu turbin yang berjalan, supaya energi kinetis yang tersisa saat meninggalkan sudu turbin dimanfaatkan maka pada turbin dipasang lebih dari satu baris sudu gerak. Sebelum memasuki baris kedua sudu gerak, maka antara baris pertama dan baris kedua sudu gerak dipasang satu baris sudu tetap (guide blade) yang berguna untuk mengubah arah kecepatan uap, supaya uap

dapat masuk ke baris kedua sudu gerak dengan arah yang tepat.

- c. Kecepatan uap saat meninggalkan sudu gerak yang terakhir harus dapat dibuat sekecil mungkin, agar energi kinetis yang tersedia dapat dimanfaatkan sebanyak mungkin. Dengan demikian efisiensi turbin menjadi lebih tinggi karena kehilangan energi relatif kecil.

2.3. Klasifikasi Turbin Uap

Turbin Uap dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori yang berbeda berdasarkan pada konstruksinya, prinsip kerjanya dan menurut proses penurunan tekanan uap sebagai berikut:

1. Klasifikasi Turbin Berdasarkan Prinsip Kerjanya
 - a. Turbin Impuls
 - b. Turbin Reaksi

2.4. Kondensor

Kondensor merupakan peralatan untuk mengembunkan kembali uap yang telah di manfaatkan untuk memutar turbin uap. Hal ini di perlukan untuk menghemat sumber air yang ada di sekitarnya, kemurnian air yang digunakan dalam system turbin uap agar tidak terjadi pengendapan maupun kotoran-kotoran yang dapat merusak. Sebagai pendingin kondensor biasanya menggunakan air dingin seperti air sungai, laut atau air tanah yang sudah diproses melalaui water treatment terlebih dahulu.

Sistem Kondensor terdiri dari banyak bagian alat / komponen yang bekerja bersama-sama. Supaya kondensor bisa bekerja normal, maka semua komponen kondensor harus bisa bekerja dengan maksimal. Kerusakan atau masalah pada salah satu komponen kondensor akan menyebabkan gangguan pada kondensor bahkan bisa menyebabkan trip Turbin Uap.

2.5. Efisiensi Turbin Uap

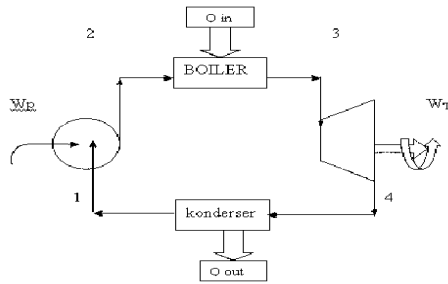
Besarnya kerugian didalam turbin akan mempengaruhi efisiensinya. Kerugian yang besar berarti efisiensinya rendah. Faktor-faktor penyebab kerugian didalam turbin diantaranya :

- a. Kerugian pada Katup Governor.
- b. Kerugian pada Nosel (Nozzle Loss)
- c. Kerugian pada Moving Blades.
- d. Kerugian pada uap meninggalkan moving blades (Leaving Velocity / Carry Over Loss).
- e. Kerugian Gesekan.
- f. Kerugian Celah (Clearance Loss).
- g. Kerugian akibat kebasahan uap.
- h. Kerugian akibat kecepatan uap keluar turbin.
- i. Kerugian luar (External Loss).

2.6. Siklus Rankine

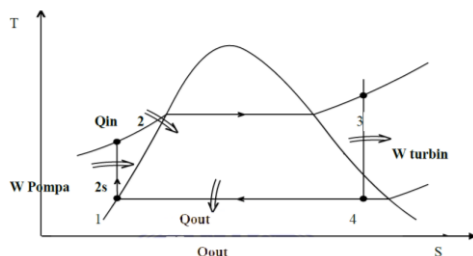
Siklus Rankine setelah diciptakan langsung diterima sebagai standar untuk pembangkit daya yang menggunakan uap (steam). Siklus Rankine

nyata yang digunakan dalam instalasi pembangkit daya jauh lebih rumit dari pada siklus renkine ideal asli yang sederhana. siklus ini merupakan siklus yang paling banyak digunakan untuk pembangkit daya listrik sekarang ini. Oleh karena siklus Rankine merupakan siklus uap cair maka paling baik siklus itu digambarkan dengan diagram P - v dan T - s dengan garis yang menunjukkan uap jenuh dan cair jenuh. (Novi Gusnita, 2017)



Gambar 1. Siklus Rankine

Siklus ideal yang terjadi didalam turbin adalah siklus Renkine ; Air pada siklus 1 dipompakan, kondisinya adalah isentropik $S_1 = S_2$ masuk ke boiler dengan tekanan yang sama dengan tekanan di kondenser tetapi Boiler menyerap panas sedangkan kondenser melepaskan panas, kemudian dari boiler masuk keturbin dengan kondisi super panas $h_3=h_4$ dan keluaran dari turbin berbentuk uap jenuh dimana laju aliran massa yang masuk ke turbin sama dengan laju aliran massa keluar dari turbin, ini dapat digambarkan dengan menggunakan diagram T – S berikut:



Gambar 2. Diagram Temperatur (T) – Entropi (S) Siklus Rankine Sederhana.

Pada diagram T-S tersebut di jelaskan sebagai berikut :

- 1 - 2 : Air dipompakan oleh pompa sehingga mengalami kenaikan temperatur dan tekanan. Proses ini terjadi di pompa air pengisi dan langkahnya disebut kompresi isentropis
- 2 - 2' : Air yang telah dipompakan ini selanjutnya dipanaskan sampai mencapai titik didihnya. Proses ini terjadi di *economizer*
- 2'- 3 : Pada langkah ini, air (*saturated water*) berubah wujud menjadi uap jenuh (*saturated steam*). Langkah ini disebut dengan proses penguapan (*vapourizing*) secara isobar

isotermis. Proses ini terjadi di ketel uap yaitu pada *wall tube*

- 3- 4 : Uap dipanaskan lebih lanjut hingga menjadi *superheated steam*. Langkah ini terjadi di *superheater* dengan proses isobar

Menghitung efisiensi turbin berdasarkan metode siklus *braython* adalah sebagai berikut:

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{W_{\text{net}}}{Q_{\text{in}}} \times 100$$

Dimana :

η_T = Efisiensi Turbin

W_{net} = Kerja Total

Q_{in} = Panas yang masuk pada boiler

Menghitung efisiensi termal siklus *brayton* menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \left(\frac{h_4 - h_1}{h_3 - h_2} \right)$$

Dimana :

η_{th} =Efisiensi termal siklus *braython*

h_1 = Entalpi uap masuk ke turbin

h_2 = Entalpi uap masuk ke kondensor

h_3 = Entalpi air keluar ke kondensor

h_4 = Entalpi air keluar pompa

3. Metode Penelitian

3.1. Tempat Dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Pabrik Kelapa Sawit PTPN IV Kebun ADOLINA. Waktu Penelitian diambil selama 4 hari, mulai pada tanggal 16 Desember – 20 Desember 2019.

3.2. Bahan Dan Alat

a. Bahan

Bahan yang digunakan dalam proses penelitian ini antara lain adalah;

- 1. Data Log Sheet harian karyawan.
- 2. Data realisasi dari peneliti.

b. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam proses penelitian ini antara lain adalah:

a. Turbin

Turbin uap yang digunakan ialah turbin uap yang berada di Pabrik Kelapa Sawit PTPN IV Kebun Adolina dengan spesifikasi turbin seperti ditunjukkan dibawah ini:



Gambar 3. Turbin Uap

b. Manometer

Manometer adalah alat yang digunakan secara luas pada audit energy untuk mengukur perbedaan tekanan di dua titik yang berlawanan.



Gambar 4. Manometer

c. Control Panel

Control Panel berfungsi untuk mengukur tekanan udara dalam ruang tertutup, mengukur tekanan turbin alternator berkapasitas 1600 KW.



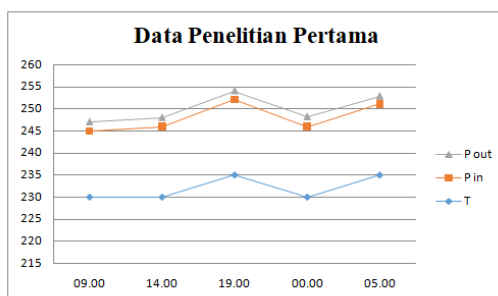
Gambar 5. Control Panel

4. Pembahasan

4.1 Perhitungan Daya Dan Efisiensi Turbin Uap

Tabel 1. Data Penelitian Pertama

No	Jam	Turbin			
		h Rpm	T °C	P in Bar	P out Bar
1	09.00	500	230	15	2
2	14.00	500	230	16	2
3	19.00	500	235	17	2
4	00.00	500	230	16	2,2
5	05.00	500	235	16	1,8
Rata – rata		500	232	16	2



Gambar 6. Diagram Data Penelitian Pertama

Dari tabel diatas, dapat diketahui tekanan masuk turbin adalah sebesar 16 Bar = 1.600 Kpa = 1,6 Mpa , Temperature turbin 232 °C , Tekanan keluar

turbin 200 Kpa. Berdasarkan table uap A-5 pada lampiran 1, hasil yang didapat ialah sebagai berikut:

$$P_1 = 200 \text{ Kpa}$$

$$h_1 = 504,71 \text{ Kj/Kg}$$

$$V_1 = 0,001061 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$P_2 \rightarrow P_3 =$ Tekanan yang Konstan (Isobar) 16 Bar = 1600 Kpa = 1,6 Mpa (Entropi) $S_2 = S_1$

Kerja spesifik pompa masuk adalah sebagai berikut:

$$W_{\text{pump, in}} = V_1(P_2 - P_1)$$

$$= 0,001061 \text{ m}^3/\text{Kg} \times (1600 - 200) \text{ Kpa}$$

$$= 0,001061 \text{ m}^3/\text{kg} \times 1400 \text{ Kpa}$$

$$= 1,49 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_2 = h_1 + W_{\text{pump, in}}$$

$$= 504,71 \text{ kj/ kg} + 1,44 \text{ kj/ kg}$$

$$= 506,15 \text{ kj/ kg}$$

Selanjutnya Pada Tahap 3, tekanan keluar turbin $P_3 = 1,6 \text{ Mpa}$ dan temperature $T_3 = 232 \text{ }^\circ\text{C}$, maka dari tekanan P_3 dan temperature T_3 di dapatlah entalpi dan entropi tahap 3 dari tabel uap superheater A-6 pada lampiran 2 sebagai berikut :

$$P_3 = 1,6 \text{ Mpa} = 1600 \text{ KPa}$$

$$T_3 = 232 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_3 = 2857,8 + \frac{2919,9 - 2857,8}{250 - 225} (232 - 225)$$

$$= 2875,9 \text{ kj/ kg}$$

$$S_3 = 6,5537 + \frac{6,6753 - 6,5537}{250 - 225} (232 - 225)$$

$$= 6,5878 \text{ kj/ kg. K}$$

Tekanan kondensasi pada tahap 4 $P_4 = 200 \text{ Kpa}$ dan fluidanya dalam keadaan mixture saturated dan tekanannya konstan dan entropi 3 S_3 sama dengan Entropi 4 S_4 maka dari tabel uap A-5 pada lampiran 1 didapat data-data sebagai berikut :

$$\text{Entropi 3 (} S_3) = 4 (S_4)$$

$$S_f = 1,5302 \text{ Kj/Kg.K}$$

$$S_{fg} = 5,5968 \text{ Kj/Kg.K}$$

$$S_g = 7,1270 \text{ Kj/Kg.K}$$

$$h_f = 504,71 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_{fg} = 2101,6 \text{ Kj/Kg}$$

Maka kualitas uap 4 (X_4)

$$X_4 = \frac{(S_4 - S_f)}{S_{fg}}$$

$$= \frac{6,5878 - 1,5302}{5,5968}$$

$$= \frac{(5,0576)}{(5,5968)}$$

$$X_4 = 0,9037$$

Dan

$$h_4 = h_f + x_4 \cdot h_{fg}$$

$$= 504,71 + (0,9037 \times 2101,6)$$

$$= 2403,93 \text{ Kj/Kg}$$

Setelah menganalisis ke empat proses siklus didapatkan panas yang masuk pada boiler (Q_{in}) sebesar.

$$\begin{aligned}
 Q_{in} &= m_s(h_3 - h_2) \\
 &= 20.000 \text{ kg/ jam } (2875,9 \text{ kJ/kg} - 506,15 \text{ kJ/kg}) \\
 &= 47.395.000 \text{ kJ/kg} \\
 Q_{out} &= m_s(h_4 - h_1) \\
 &= 20.000 \text{ kg/ jam } (2403,93 \text{ kJ/kg} - 504,71 \text{ kJ/kg}) \\
 &= 37.984.400 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

1. Daya Turbin Uap Dan Daya Generator
Laju uap steam (m_s) yang dihasilkan = 20.000 kg/jam. Daya steam masuk Turbin adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 W_{Tin} &= m_s \times h \\
 &= 20.000 \text{ kg/ jam } \times 2875,9 \text{ kJ/ kg} \\
 &= 57.518.000 \text{ kJ/ Jam} \\
 &= 15.977,2 \text{ KW}
 \end{aligned}$$

Daya steam keluar Turbin adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 W_{Tout} &= m_s \times h_4 \\
 &= 20.000 \text{ kg/jam } \times 2403,93 \text{ kJ/ kg} \\
 &= 48.078.600 \text{ kJ/ Jam} \\
 &= 13.605,2 \text{ KW}
 \end{aligned}$$

Daya yang dihasilkan turbin uap adalah:

$$\begin{aligned}
 W_T &= m_s \times (h_3 - h_4) \\
 &= 20.000 \text{ kg/ jam } \times (2875,9 \text{ kJ/ kg} - 2403,93 \text{ KJ/kg}) \\
 &= 9.439.400 \text{ kJ/ jam} \\
 &= 2622,1 \text{KW}
 \end{aligned}$$

Cos f rata-rata = 0,84 (nilai rata- rata Cos f dari hasil pengamatan pada panel turbin). Daya yang dihasilkan oleh turbin dan di alirkan generator adalah:

$$\begin{aligned}
 W_{TG} &= W_T / \text{Cos } f \\
 &= 2622,1 \text{ KW} / 0,84 \\
 &= 3.121,6 \text{ KW} = 3.121.600 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Daya yang di alirkan ke listrik pembangkit yaitu sebesar 3.121.600 Watt = 3.121,6 KW. Daya per rumah yaitu 900 Watt dan di Kebun Adolina ada 20 rumah staf jadi daya yang di alirkan ke seluruh rumah yaitu 900 Watt x 20 = 18.000 W.

2. Efisiensi Turbin Uap

Terakhir kita bisa hitung efisiensi termal siklus dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 W_{net} &= Q_{in} - Q_{out} \\
 &= 47.395.000 \text{ KJ/Kg} - 37.984.400 \text{ KJ/Kg} \\
 &= 9.410.600 \text{ KJ/Kg}
 \end{aligned}$$

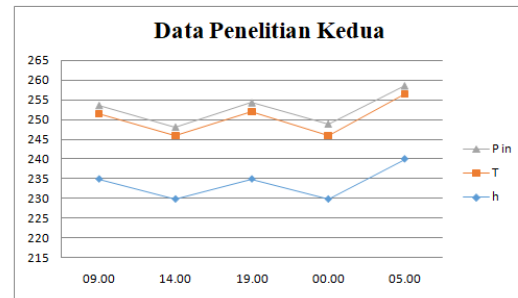
$$\begin{aligned}
 \eta_{turbin} &= \frac{W_{net}}{Q_{in}} \times 100 \\
 \eta_{turbin} &= \frac{9.410.600 \text{ KJ/Kg}}{47.395.000 \text{ KJ/Kg}} \times 100 \\
 \eta_{turbin} &= 19,86 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi termal} &= 1 - \left(\frac{h_4 - h_1}{h_3 - h_2} \right) = 1 - \left(\frac{2403,93 \text{ kJkg} - 504,71 \text{ kJkg}}{2875,9 \text{ kJkg} - 506,15 \text{ kJkg}} \right) = 1 - \left(\frac{1899,22}{2369,75} \right) \\
 \text{Efisiensi termal} &= 0,1986 \\
 &= 19,86 \%
 \end{aligned}$$

4.2. Data Penelitian Kedua

Tabel 2. Data Penelitian Kedua

No	Jam	Turbin			
		h Rpm	T °C	P in Bar	P out Bar
1	09.00	500	235	16,5	2
2	14.00	500	230	16	2
3	19.00	500	235	17	2,2
4	00.00	500	230	16	2,8
5	05.00	500	240	16,5	2
Rata - rata		500	234	16,4	2,2



Gambar 7. Diagram Data Penelitian Kedua

Dari tabel diatas dapat diketahui tekanan masuk turbin adalah sebesar 16,4 Bar = 1.640 Kpa = 1,64 Mpa , Temperature turbin 234 °C , Tekanan keluar turbin 220 Kpa. Berdasarkan table uap A-5 pada lampiran 1, hasil yang didapat ialah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= 220 \text{ Kpa} \\
 h_1 &= 504,71 + \frac{520,71 - 504,71}{225 - 200} (220 - 200) \\
 &= 505,99 \text{ KJ/Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 0,001061 + \frac{0,001064 - 0,001061}{225 - 200} (220 - 200) \\
 &= 0,001063 \text{ m}^3/\text{Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_2 \rightarrow P_3 &= \text{Tekanan yang Konstan (Isobar)} \\
 &= 16,4 \text{ Bar} = 1.640 \text{ Kpa} = 1,64 \text{ Mpa} \\
 &(\text{ Entropi }) S_2 = S_1
 \end{aligned}$$

Kerja spesifik pompa masuk adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W_{pump, in} &= V_1(P_2 - P_1) \\
 &= 0,001063 \text{ m}^3/ \text{ Kg} \times (1640 - 220) \text{ Kpa} \\
 &= 0,001063 \text{ m}^3/ \text{ kg} \times 1420 \text{ Kpa} \\
 &= 1,51 \text{ KJ/Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_2 &= h_1 + W_{pump, in} \\
 &= 505,99 \text{ kJ/ kg} + 1,51 \text{ kJ/ kg} \\
 &= 507,5 \text{ kJ/ kg}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya Pada Tahap 3, tekanan keluar turbin $P_3 = 1,64 \text{ Mpa}$ dan temperature $T_3 = 234 \text{ }^\circ\text{C}$, maka dari tekanan P_3 dan temperature T_3 di dapatlah entalpi dan entropi tahap 3 dari tabel uap superheater A-6 pada lampiran 2 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P_3 &= 1,64 \text{ Mpa} = 1640 \text{ KPa} \\
 T_3 &= 234 \text{ }^\circ\text{C} \\
 h_3 &= 2857,8 + \frac{2919,9 - 2857,8}{250 - 225} (234 - 225)
 \end{aligned}$$

$$S_3 = 2880,2 \text{ kJ/ kg}$$

$$S_3 = 6,5537 + \frac{6,6753 - 6,5537}{250-225} (234 - 225)$$

$$= 6,5975 \text{ kJ/ kg. K}$$

Tekanan kondensasi pada tahap 4 $P_4 = 220 \text{ Kpa}$ dan fluidanya dalam keadaan mixture saturated dan tekanannya konstan dan entropi 3 S_3 sama dengan Entropi 4 S_4 maka dari tabel uap A-5 pada lampiran 1 didapat data-data sebagai berikut :

$$\text{Entropi 3 (S}_3\text{)} = 4 \text{ (S}_4\text{)}$$

$$S_f = 1,5302 + \frac{1,5706 - 1,5302}{225-200} (220 - 200)$$

$$= 1,5625 \text{ Kj/Kg.K}$$

$$S_{fg} = 5,5968 + \frac{5,5171 - 5,5968}{225-200} (220 - 200)$$

$$= 5,5330 \text{ Kj/Kg.K}$$

$$S_g = 7,1270 + \frac{7,0877 - 7,1270}{225-200} (220 - 200)$$

$$= 7,0956 \text{ Kj/Kg.K}$$

$$h_f = 504,71 + \frac{520,71 - 504,71}{225-200} (220 - 200)$$

$$= 505,99 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_{fg} = 2201,6 + \frac{2191-2201,6}{225-200} (220 - 200)$$

$$= 2193,12 \text{ Kj/Kg}$$

Maka kualitas uap 4 (X_4)

$$X_4 = \left(\frac{S_4 - S_f}{S_{fg}} \right)$$

$$= \frac{6,5975 - 1,5625}{5,5330}$$

$$= \left(\frac{5,035}{5,5968} \right)$$

$$X_4 = 0,8996$$

$$\text{Dan } h_4 = h_f + x_4 \cdot h_{fg}$$

$$= 505,99 + (0,8996 \times 2192,12)$$

$$= 2478,02 \text{ Kj/Kg}$$

Setelah menganalisis ke empat proses siklus didapatkan panas yang masuk pada boiler (Q_{in}) sebesar.

$$Q_{in} = m_s(h_3 - h_2) = 20.000 \text{ kg/ jam}$$

$$(2880,2 \text{ kJ/kg} - 507,5 \text{ kJ/kg})$$

$$= 47.454.000 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{out} = m_s(h_4 - h_1) = 20.000 \text{ kg/ jam}$$

$$(2478,02 \text{ kJ/kg} - 505,99 \text{ kJ/kg})$$

$$= 39.440.600 \text{ kJ/kg}$$

1. Daya Turbin Uap Dan Daya Generator

Laju uap steam (m_s) yang dihasilkan = 20.000 kg/ jam

Daya steam masuk Turbin adalah sebagai berikut :

$$W_{Tin} = m_s \times h_3$$

$$= 20.000 \text{ kg/ jam} \times 2880,2 \text{ kJ/ kg}$$

$$= 57.604.000 \text{ kJ/ Jam}$$

$$= 16.001,1 \text{ KW}$$

Daya steam keluar Turbin adalah sebagai berikut :

$$W_{Tout} = m_s \times h_4$$

$$= 20.000 \text{ kg/jam} \times 2478,02 \text{ kJ/ kg}$$

$$= 49.560.400 \text{ kJ/ Jam} = 13.766,78 \text{ KW}$$

Laju uap steam (m_s) yang dihasilkan = 20.000kg/ jam

Daya yang dihasilkan turbin uap adalah:

$$W_T = m_s \times (h_3 - h_4)$$

$$= 20.000 \text{ kg/ jam} \times (2880,2 \text{ kJ/ kg} - 2478,02 \text{ Kj/kg})$$

$$= 8.043.600 \text{ kJ/ jam}$$

$$= 2234,3 \text{ KW}$$

Cos f rata-rata = 0,84 (nilai rata- rata Cos f dari hasil pengamatan pada panel turbin). Daya yang dihasilkan oleh turbin dan di alirkan generator adalah:

$$W_{TG} = W_T / \text{Cos } f$$

$$= 2234,3 \text{ KW} / 0,84$$

$$= 2659,88 \text{ KW}$$

$$= 2.659.880 \text{ Watt}$$

Daya yang di alirkan ke listrik pembangkit yaitu sebesar 2.659.880 Watt = 2.659,88 KW. Daya per rumah yaitu 900 Watt dan di Kebun Adolina ada 20 rumah staf jadi daya yang di alirkan ke seluruh rumah yaitu 900 Watt x 20 = 18.000 W.

2. Efisiensi Turbin Uap

Terakhir kita bisa hitung efisiensi termal siklus dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$W_{net} = Q_{in} - Q_{out}$$

$$= 47.454.000 \text{ Kj/Kg} - 39.440.600 \text{ Kj/Kg}$$

$$= 8.013.400 \text{ Kj/Kg}$$

$$\eta_{turbin} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \times 100$$

$$\eta_{turbin} = \frac{8.013.400 \text{ Kj/Kg}}{47.454.000 \text{ Kj/Kg}} \times 100 = 16,89$$

%

Efisiensi termal = 1-

$$\left(\frac{h_4 - h_1}{h_3 - h_2} \right) = 1 - \left(\frac{2478,02 \text{ kJ/kg} - 505,99 \text{ kJ/kg}}{2880,2 \text{ kJ/kg} - 507,5 \text{ kJ/kg}} \right) = 1 - \left(\frac{1972,03}{2372,7} \right)$$

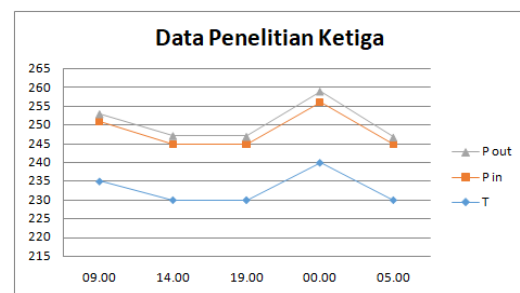
Efisiensi termal = 0,1689

$$= 16,89 \%$$

4.1.3. Data Penelitian Ketiga

Tabel 3. Data Penelitian Ketiga.

No	Jam	Turbin			
		h Rpm	T °C	P in Bar	P out Bar
1	09.00	500	235	16	2
2	14.00	500	230	15	2,2
3	19.00	500	230	15	2
4	00.00	500	240	16	3
5	05.00	500	230	15	1,8
Rata - rata		500	233	15,4	2,2



Gambar 8. Diagram Data Penelitian Ketiga

Dari tabel diatas dapat diketahui tekanan masuk turbin adalah sebesar 15,4 Bar = 1.540 Kpa = 1,54 Mpa , Temperature turbin 233 °C , Tekanan keluar turbin 220 Kpa. Berdasarkan table uap A-5 pada lampiran 1, hasil yang didapat ialah sebagai berikut:

$$P_1 = 220 \text{ Kpa}$$

$$h_1 = 504,71 + \frac{520,71 - 504,71}{225 - 200} (220 - 200) = 505,99 \text{ Kj/Kg}$$

$$V_1 = 0,001061 + \frac{0,001064 - 0,001061}{225 - 200} (220 - 200) = 0,001063 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$P_2 \rightarrow P_3 =$ Tekanan yang Konstan (Isobar)
15,4 Bar = 1.540 Kpa = 1,54 Mpa
(Entropi) $S_2 = S_1$
Kerja spesifik pompa masuk adalah sebagai berikut:

$$W_{\text{pump, in}} = V_1(P_2 - P_1) = 0,001063 \text{ m}^3/\text{Kg} \times (1540 - 220) \text{ Kpa} = 0,001063 \text{ m}^3/\text{kg} \times 1320 \text{ Kpa} = 1,4 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_2 = h_1 + W_{\text{pump, in}} = 505,99 \text{ kj/ kg} + 1,4 \text{ kj/ kg} = 507,39 \text{ kj/ kg}$$

Selanjutnya Pada Tahap 3, tekanan keluar turbin $P_3 = 1,6$ Mpa dan temperature $T_3 = 233$ °C, maka dari tekanan P_3 dan temperature T_3 di dapatlah entalpi dan entropi tahap 3 dari tabel uap superheater A-6 pada lampiran 2 sebagai berikut :

$$P_3 = 1,6 \text{ Mpa} = 1600 \text{ KPa}$$

$$T_3 = 232 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_3 = 2857,8 + \frac{2919,9 - 2857,8}{250 - 225} (233 - 225) = 2877,7 \text{ kj/ kg}$$

$$S_3 = 6,5537 + \frac{6,6753 - 6,5537}{250 - 225} (233 - 225) = 6,5926 \text{ kj/ kg. K}$$

Tekanan kondensasi pada tahap 4 $P_4 = 220$ Kpa dan fluidanya dalam keadaan mixture saturated dan tekanannya konstan dan entropi 3 S_3 sama dengan Entropi 4 S_4 maka dari tabel uap A-5 pada lampiran 1 didapat data-data sebagai berikut :

$$\text{Entropi 3 (S}_3\text{)} = 4 \text{ (S}_4\text{)}$$

$$S_f = 1,5302 + \frac{1,5706 - 1,5302}{225 - 200} (220 - 200) = 1,5625 \text{ Kj/Kg.K}$$

$$S_{fg} = 5,5968 + \frac{5,5171 - 5,5968}{225 - 200} (220 - 200) = 5,5330 \text{ Kj/Kg.K}$$

$$S_g = 7,1270 + \frac{7,0877 - 7,1270}{225 - 200} (220 - 200) = 7,0956 \text{ Kj/Kg.K}$$

$$h_f = 504,71 + \frac{520,71 - 504,71}{225 - 200} (220 - 200) = 505,99 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_{fg} = 2201,6 + \frac{2191 - 2201,6}{225 - 200} (220 - 200) = 2193,12 \text{ Kj/Kg}$$

Maka kualitas uap 4 (X_4)

$$X_4 = \frac{(S_4 - S_f)}{S_{fg}} = \frac{6,5926 - 1,5625}{5,5330} = \frac{5,0301}{5,5968}$$

$$X_4 = 0,8988$$

$$\text{Dan } h_4 = h_f + x_4 \cdot h_{fg} = 505,99 + (0,8988 \times 2193,12) = 2477,17 \text{ Kj/Kg}$$

Setelah menganalisis ke empat proses siklus didapatkan panas yang masuk pada boiler (Q_{in}) sebesar.

$$Q_{in} = m_s(h_3 - h_2) = 20.000 \text{ kg/ jam} (2877,7 \text{ kj/kg} - 507,39 \text{ kj/kg}) = 47.406.200 \text{ kj/kg}$$

$$Q_{out} = m_s(h_4 - h_1) = 20.000 \text{ kg/ jam} (2477,17 \text{ kj/kg} - 505,99 \text{ kj/kg}) = 39.423.600 \text{ kj/kg}$$

1. Daya Turbin Uap Dan Daya Generator

Laju uap steam (m_s) yang dihasilkan = 20.000 kg/ jam

Daya steam masuk Turbin adalah sebagai berikut :

$$W_{Tin} = m_s \times h_3 = 20.000 \text{ kg/ jam} \times 2877,7 \text{ kJ/ kg} = 57.554.000 \text{ kJ/ Jam} = 15.967,2 \text{ KW}$$

Daya steam keluar Turbin adalah sebagai berikut :

$$W_{Tout} = m_s \times h_4 = 20.000 \text{ kg/ jam} \times 2477,17 \text{ kJ/ kg} = 49.543.400 \text{ kJ/ Jam} = 13.762,1 \text{ KW}$$

Daya yang dihasilkan turbin uap adalah:

$$W_T = m_s \times (h_3 - h_4) = 20.000 \text{ kg/ jam} \times (2877,7 \text{ kj/ kg} - 2477,17 \text{ Kj/kg}) = 8.010.600 \text{ kj/ jam} = 2225,2 \text{ KW}$$

Cos f rata-rata = 0,84 (nilai rata-rata Cos f dari hasil pengamatan pada panel turbin). Daya yang dihasilkan oleh turbin dan di alirkan generator adalah:

$$W_{TG} = W_T / \text{Cos f} = 2225,2 \text{ KW} / 0,84 = 2.649,05 \text{ KW} = 2.649.050 \text{ Watt}$$

Daya yang di alirkan ke listrik pembangkit yaitu sebesar 2.649.050 Watt = 2.649,05 KW. Daya per rumah yaitu 900 Watt dan di kebun Adolina ada 20 rumah staf jadi daya yang di alirkan ke seluruh rumah yaitu 900 Watt x 20 = 18.000 W.

2. Efisiensi Turbin Uap

Terakhir kita bisa hitung efisiensi termal siklus dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$W_{net} = Q_{in} - Q_{out} = 47.406.200 \text{ Kj/Kg} - 39.423.600 \text{ Kj/Kg} = 7.982.600 \text{ Kj/Kg}$$

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{W_{\text{net}}}{Q_{\text{in}}} \times 100$$

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{7.982.600 \text{ Kj/Kg}}{39.423.600 \text{ Kj/Kg}} \times 100$$

$$\eta_{\text{turbin}} = 20,25 \%$$

Efisiensi termal = 1 -

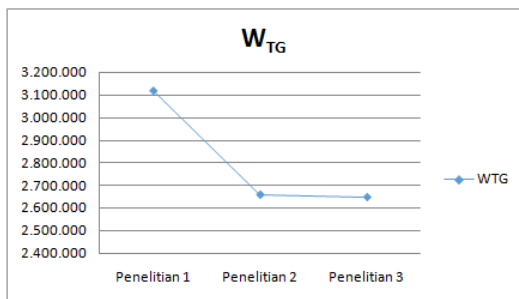
$$\left(\frac{h_4 - h_1}{h_3 - h_2} \right) = 1 - \left(\frac{2477,17 \text{ kJ/kg} - 505,99 \text{ kJ/kg}}{2877,7 \text{ kJ/kg} - 507,39 \text{ kJ/kg}} \right) = 1 - \left(\frac{1971,18}{2370,31} \right)$$

Efisiensi termal = 0,1684 = 16,84 %

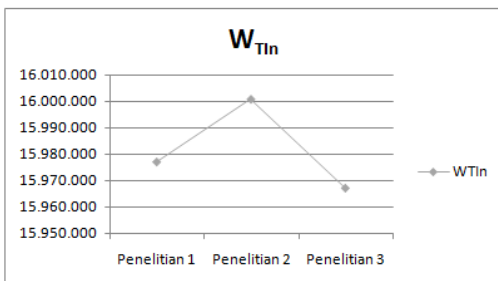
4.3. Hasil Total Perhitungan Keseluruhan Penelitian

Tabel 4. Hasil Total Perhitungan

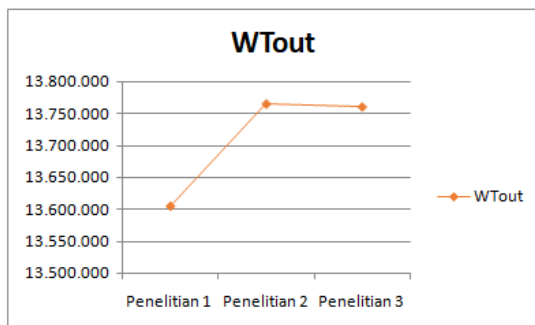
Jadwal	P	T	h	W _{TG}	W _{TIn}	W _{Tout}	n
Penelitian 1	200	232	500	3.121.600	15.977.200	13.605.300	19,86
Penelitian 2	220	234	500	2.659.880	16.001.100	13.766.780	16,89
Penelitian 3	220	233	500	2.649.050	15.967.200	13.762.100	20,25



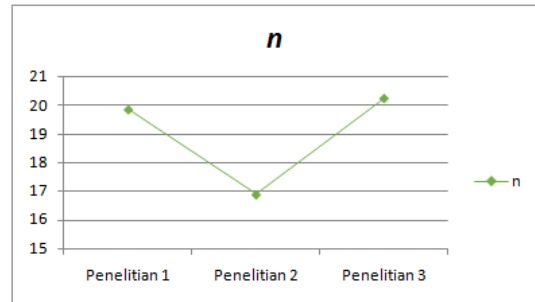
Gambar 9. Diagram Hasil Perhitungan W_{TG}



Gambar 10. Diagram Hasil Perhitungan W_{TIn}



Gambar 11. Diagram Hasil Perhitungan W_{Tout}



Gambar 12. Diagram Hasil Perhitungan n

5. Kesimpulan

Setelah kegiatan penelitian yang dilakukan di Pabrik Kelapa Sawit unit kebun timur dapat disimpulkan :

- Efisiensi turbin uap yang dihasilkan sebesar: Pada Penelitian 1 = 19,86 %, Penelitian 2 = 16,89%, dan Penelitian 3 = 20,25%.
- Daya keluar yang di alirkan turbin uap ke generator adalah sebesar 2.360,57 KW , daya yang di alirkan ke pembangkit listrik yaitu sebesar 2.810,18 KW, sedangkan daya yang di alirkan per rumah staff yaitu sebesar 900 Watt. Jadi daya yang di alirkan keseluruhan rumah yaitu 18.000 Watt.

6. Daftar Pustaka

- Dwi Cahyadi. 2015. *Analisa Perhitungan Efisiensi Turbine Generator QFSN-300- 2-20B Unit 10 dan 20 PT PJB UBJOM PLTU Rembang*. Yogyakarta : UNDIP
- Jamaludin dan Iwan K. 2016. *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*. Tangerang : Universitas Muhammadiyah Tangerang
- Mustofa B.A. Sunarwo. Supriyo. 2015. *Analisa Heat Rate Pada Turbin Uap Berdasarkan Performance Test PLTU Tanjung Jati B Unit 3*. Semarang : Politeknik Negeri Semarang
- Pitrandjalisari, V., & Putra, T. D. 2013. *Analisis Kapasitas Produksi Uap Terhadap Stabilitas Putaran Mesin Turbin*. Malang : Widya Teknika
- Purnomo Joko, dan Muhammad Effendy. 2018. *Analisa Pengaruh Load Capacity Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjung Awar - Awar 350 MW Terhadap Efisiensi Turbin Generator QFSN-350-2 Unit 1*. Surabaya : UNESA
- PTPN IV. 2009. *Buku Panduan Pedoman Operasional Pengolahan Kelapa Sawit*. Medan : PTPN IV.