

ANALISA PERFORMANCE KERJA TURBIN UAP MITSUBISHI-LTD TIPE 10 HL-11 DENGAN PUTARAN 3000 RPM DI PT TOBA PULP LESTARI, TBK

Oleh:

Freend Eko Hasibuan ¹⁾

Citra Satria Analu ²⁾

Sawin Sebayang ³⁾

Saut Pardede ⁴⁾

Universitas Darma Agung, Medan ^{1,2,3,4)}

E-mail:

sawinsebayang11@gmail.com ¹⁾

sautparsaoran@yahoo.com ²⁾

freendekohasibuan@gmail.com ³⁾

citrasatriaanal@gmail.com ⁴⁾

ABSTRACT

A steam turbine is a starting drive that converts the potential energy of steam into kinetic energy and this kinetic energy is further converted into energy mechanical in the form of rotation of the turbine shaft. The required steam comes from two boiler engine units, namely Multi Fuel Boiler and Recovery Boiler. Operationally each boiler produces steam of 140 Tons / hour and 175 Tons / hour. In the boiler the water is heated with hot gases resulting from the combustion of fuel with air so that it turns into steam. Certain pressures and temperatures are directed to rotate the turbine so as to produce mechanical power in the form of rotation. Depending on the type of mechanism being driven, steam turbines can be used on various industrial fields, for power plants, and for transportation. By analyzing calculations based on steam turbine field data of PT Toba Pulp Lestari, Tbk with a capacity of 53.7 MW, theoretical thermal power (isentropic) of 43.9146 MW and actual thermal power of 30.07484 MW, specific steam consumption of 266 T / hour was obtained. The turbine isentropic efficiency value was 68.48% and the turbine-generator unit efficiency value was 96.94%.

Keywords : Steam turbine, Power, Efficiency

ABSTRAK

Turbin uap merupakan suatu alat yang mengubah energi potensial menjadi energi gerak. Energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. uap yang dibutuhkan berasal dari dua unit mesin boiler, yaitu Multi Fuel Boiler dan Recovery Boiler. Secara operasional masing-masing boiler menghasilkan uap sebesar 140 Ton/jam dan 175 Ton/jam. Di dalam boiler air dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap. Tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran. Tergantung pada jenis mekanisme yang digerakkan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, untuk pembangkit tenaga listrik, dan untuk transportasi. Dengan melakukan analisis perhitungan berdasarkan data lapangan turbin uap PT Toba Pulp Lestari, Tbk kapasitas 53,7 MW diperoleh daya thermal teoritis (isentropik) sebesar 43,9146 MW serta daya thermal aktual sebesar 30,07484 MW, konsumsi uap spesifik sebesar 266 T/jam. Nilai efisiensi isentropik turbin adalah sebesar 68,48% dan didapatkan nilai efisiensi unit turbin-generator sebesar 96,94%.

Kata kunci : Steam turbine, Power, Efficiency

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan manusia akan energi listrik tidak dapat dipisahkan dari kehidupan sehari-hari. Hal ini pun ditandai dengan adanya program pembangkitan listrik di Indonesia sebesar 35.000 MW yang masih terus berjalan. Seiring dengan pembangunan tersebut, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) juga menjadi salah satu solusi untuk mencapai target tersebut.

PT Toba Pulp Lestari, Tbk telah menggunakan turbin uap yang mampu menghasilkan daya sebesar 53,7 MW. Uap yang dibutuhkan berasal dari dua unit mesin boiler, yaitu Multi Fuel Boiler dan Recovery Boiler. Dikatakan Multifuel Boiler dikarenakan bahan bakar yang dipakai pada boiler lebih dari satu jenis seperti kulit kayu (bark), serat kulit sawit, cangkang sawit, serbuk kayu, dan solar. Sementara Recovery Boiler menggunakan Black Liquor yang berasal dari getah kayu Eucalyptus yang dimanfaatkan kembali sebagai bahan bakar.

Dalam turbin uap, besarnya daya yang dihasilkan dan efisiensi turbin menentukan apakah layak untuk menggunakannya sebagai pembangkit listrik atau tidak. Ukuran beban mempengaruhi jumlah uap yang dihasilkan, dan jumlah uap yang dihasilkan mempengaruhi ukuran beban.

Jumlah uap yang masuk ke turbin diatur oleh katup kontrol yang beroperasi secara otomatis.

Berdasarkan uraian di atas, penulis tertarik untuk membahas mengenai “Analisa Performance Kerja Turbin Uap Mitsubishi-Ltd Tipe 10 HL-11 dengan Putaran 3000 Rpm di PT Toba Pulp Lestari, Tbk”

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.2.1 Sejarah Turbin Uap

Thomas Savery (1659-1715) di Inggris berhasil membuat mesin pemompa. Sementara itu, Denis Papin (1647-1712), yang menemukan katup-pengaman, mengemukakan gagasan untuk memisahkan uap dan air dengan suatu torak, dan Thomas Newcomen 1663-1729 merancang dan membangun mesin yang menggunakan torak itu. Corliss 1817-1888, yang mengembangkan katup-pemasuk yang menutup cepat, untuk mengurangi pencekikan (throttling) pada waktu menutup. Kemudian datang lagi Stumpf (1863) yang mengembangkan mesin uniflow. Akhirnya, Muncullah turbin uap, yang sebetulnya bukan gagasan baru karena kebutuhannya sudah diramalkan oleh para penemu menjelang akhir tahun 1800-an.

2.2.2 Pengertian turbin uap

Turbin uap adalah perangkat yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan kemudian menjadi energi mekanik dalam bentuk rotasi poros turbin. Poros turbin terhubung ke mekanisme penggerak dengan koneksi yang digerakkan.

2.2.3 Cara Kerja Turbin Uap

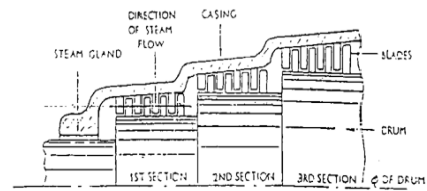
Jika uap berkecepatan tinggi disemprotkan pada suatu sudu lengkung, arah aliran uap akan berubah saat melalui dan meninggalkan sudu. Akibat perubahan arah aliran uap setelah melalui sudu, uap akan memberi gaya kepada sudu yang bekerja menurut arah yang ditunjukkan. Jika sudu tersebut bebas bergerak, sudu akan bergerak menurut arah gaya yang ada. Jika sudu-sudu tersebut dipasangkan pada sekeliling suatu piringan sedangkan piringan tersebut bebas berputar pada porosnya, kemudian uap disemprotkan ke sudu, maka piringan tersebut akan berputar.

2.2.4 Klasifikasi Turbin Uap

2.2.4.1 Turbin Impuls

Di dalam turbin, kecepatan uap akan berkurang pada saat energi kinetik dalam uap tersebut dipergunakan untuk menghasilkan kerja pada poros turbin

2.2.4.2 Turbin Reaksi



Gambar 1 Turbin Reaksi

Turbin reaksi ditunjukkan secara skematik pada gambar 1. Terlihat bahwa konstruksinya agak berbeda dari turbin impuls. Turbin reaksi ini mempunyai beberapa baris sudu gerak yang terpasang pada sebuah 27 silinder. Sudu-sudu ini terpisahkan oleh deretan sudu tetap yang dipasang pada rumah turbin.

2.2.5 Jenis-jenis uap

- Uap kering adalah uap yang telah dipanaskan dari uap jenuh pada tekanan tinggi. Ada beberapa jenis uap kering dengan suhu yang berbeda.
- Uap jenuh merupakan uap yang tidak mengandung bagian-bagian air yang dilepas dimana pada tekanan tertentu berlaku suhu tertentu.
- Uap basah merupakan uap jenuh yang bercampur dengan bagian-bagian air yang halus yang temperturnya sama.

2.2.6 Komponen–Komponen Utama Turbin Uap

- Casing, bagian yang diam merupakan rumah atau wadah dari rotor
- Rotor, bagian yang berputar terdiri dari

poros dan sudu-sudu gerak yang terpasang mengelilingi rotor.

- c. Bantalan
- d. katup utama

2.2.7 Komponen-Komponen Bantu Turbin Uap

2.2.7.1 Sistem pelumasan

Untuk menjamin tekanan minyak pelumas yang konstan disediakan beberapa pompa minyak pelumas yaitu Oil Reservoir, Main Oil Pump, Auxiliary Oil Pump, Emergency Oil Pump, Oil Filter, Control Oil Filter, Oil Separator, dan . Oil Mist Fan.

2.2.7.2 Turning gear

Merupakan alat untuk memutar rotor turbin



Gambar 2 Turning Gear

2.2.8 Siklus Rankine

Siklus 1-2-3-4-B-1 adalah siklus Rankine jenuh, yang berarti bahwa yang masuk ke turbin adalah uap-jenuh. 1'-2'-3-4-B-1' adalah siklus Rankine panas-lanjut, yang berarti uap panas-lanjut yang masuk ke turbin.

- a. 1-2 atau 1'-2'

$$W_t = \dot{m} (h_1 - h_2) \dots \dots \dots (1)$$

- b. 2-3 atau 2'-3

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

- c. 3-4

$$W_p = V_3 (P_4 - P_3) \dots \dots \dots (3)$$

- d. 4-1

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

2.2.9 Efisiensi isentropik

Tingkat ketakmampubalikan diberikan oleh efisiensi ekspansi atau ekspansi turbin yang dinamakan *efisiensi politropik turbin* η_T

$$\eta_{isentropik} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2c}} \times 100 \% \dots \dots (5)$$

3. METODE PENELITIAN

Pada bagian ini akan dijelaskan beberapa tahap yang akan dilakukan selama pelaksanaan penelitian.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Toba Pulp Lestari, Tbk. Desa Pangombusan, Kecamatan Parmaksian, Kabupaten Toba, Sumatera Utara. Waktu Penelitian selama 1 minggu yaitu pada tanggal 17 Mei 2022 – 21 Mei 2022.

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan

Adapun bahan yang digunakan yaitu laporan shift operator DCS, data realisasi dari peneliti, dan turbin uap

3.2.2 Alat

Adapun alat yang digunakan yaitu: control panel, untuk mengukur tekanan udara dalam ruang tertutup, mengukur tekanan turbin berkapasitas 53,8 MW dan Program Steam Calculator Mobile untuk mengetahui sifat-sifat uap.

3.3 Variabel

Variabel bebas yaitu daya, kapasitas, dan entalpi. Variable tetap yaitu waktu dan efisiensi turbin.

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitiannya sebagai berikut:

1. Semua proses di powerplant dicatat dalam logsheet harian
2. Mencatat data waktu pengolahan, tekanan steam masuk, daya yang dihasilkan oleh turbin dan penggunaan bahan bakar pada boiler
3. Melakukan wawancara dengan narasumbernya adalah operator pembangkit.

3.5 Pengamatan Penelitian

Pengamatan penelitian dilakukan dengan cara observasi dan wawancara.

3.6 Metode Penelitian

Metode yang digunakan adalah:

1. Studi Pustaka

Metode ini dilakukan dengan membaca buku-buku terkait yang dapat menunjang

penelitian

2. Metode Studi Lapangan.

Pengamatan dan pengumpulan data yang diperlukan dilakukan pada metode ini.

3.7 Metode Pengolahan dan Analisa Data

Pengolahan data yang telah diperoleh akan diolah dengan tujuan untuk menghitung nilai-nilai yang termasuk pada efisiensi daya turbin uap.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data Turbin Uap Berdasarkan Data pada Logsheets Power Plant PT Toba Pulp Lestari, Tbk

Untuk mencari Efisiensi Isentropik Turbin di dapat persamaan sebagai berikut:

$$\eta_{isen} = \frac{WT_{akt}}{WT_{isen}} \times 100\%$$

Untuk mencari Efisiensi Unit Turbin-Generator dengan persamaan sebagai Berikut:

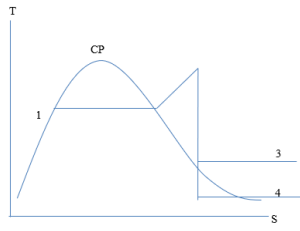
$$\eta_{Tot} = \frac{Beban}{WT_{akt}} \times 100\%$$

Untuk mencari Daya thermal teoritis (isentropik) dengan persamaan sebagai berikut:

$$W_{T\ isen} = [\dot{m} (h_1 - h_2) + (\dot{m} - \dot{m}_1) (h_2 - h_3)]$$

Untuk mencari Daya thermal aktual dengan persamaan sebagai berikut :

$$W_{T\ akt} = [\dot{m} (h_1 - h_{2\ \square}) + (\dot{m} - \dot{m}_1) (h_{2\ \square} - h_{3\ \square})]$$



Gambar 3 diagram sederhana T-S Turbin

Titik 1 :Uap masuk turbin

P =61,4 Bar

T =465°C

Dari table uap diperoleh:

Entalpi pada tekanan 60 Bar dan temperature 465°C

$$\frac{h_{465} - h_{450}}{h_{500} - h_{450}} = \frac{T_{465} - T_{450}}{T_{500} - T_{450}}$$

$$h_{465} = 3301 + \frac{15}{50} (3421 - 3301)$$

$$h_{465} = 3337 \text{ kJ/kg}$$

Entalpi pada tekanan 70 Bar dan temperature 465°C

$$\frac{h_{465'} - h_{450}}{h_{500} - h_{450}} = \frac{T_{465} - T_{450}}{T_{500} - T_{450}}$$

$$h_{465'} = 3287 + \frac{15}{50} (3410 - 3287)$$

$$h_{465'} = 3323,9 \text{ kJ/kg}$$

Entropi pada tekanan 61,4 Bar dan temperature 465°C

$$\frac{h_1 - h_{465}}{h_{465'} - h_{465}} = \frac{P_{61,4} - P_{60}}{P_{70} - P_{60}}$$

$$h_1 = 3337 + \frac{1,4}{10} (3323,9 - 3337)$$

$$h_1 = 3335,166 \text{ kJ/kg}$$

Entropi pada tekanan 60 Bar dan temperature 465°C

$$\frac{S_{465} - S_{450}}{S_{500} - S_{450}} = \frac{T_{465} - T_{450}}{T_{500} - T_{450}}$$

$$S_{465} = 6,719 + \frac{15}{50} (6,879 - 6,719)$$

$$S_{465} = 6,767 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot K$$

Entropi pada tekanan 70 Bar dan temperature 465°C

$$\frac{S_{465'} - S_{450}}{S_{500} - S_{450}} = \frac{T_{465} - T_{450}}{T_{500} - T_{450}}$$

$$S_{465'} = 6,632 + \frac{15}{50} (6,796 - 6,632)$$

$$S_{465'} = 6,6812 \text{ kJ/kg.K}$$

Entropi pada tekanan 61,4 Bar dan temperature 465°C

$$\frac{s_1 - s_{450}}{s_{500} - s_{450}} = \frac{P_{61,4} - P_{60}}{P_{70} - P_{60}}$$

$$s_1 = 6,767 + \frac{1,4}{10} (6,6812 - 6,767)$$

$$s_1 = 6,754 \text{ kJ/kg.K}$$

Titik 2:Ekstraksi (Isentropik)

P = 10,3 Bar

$$s_1 = s_2 = 6,754 \text{ kJ/kg.K}$$

Entropi pada temperature 250°C

$$\frac{s_{250} - s_{10}}{s_{15} - s_{10}} = \frac{P_{10,3} - P_{10}}{P_{15} - P_{10}}$$

$$s_{250} = 6,926 + \frac{0,3}{5} (6,711 - 6,926)$$

$$s_{250} = 6,9131 \text{ kJ/kg.K}$$

Entropi pada temperature 200°C

$$\frac{s_{200} - s_{10}}{s_{15} - s_{10}} = \frac{P_{10,3} - P_{10}}{P_{15} - P_{10}}$$

$$s_{200} = 6,695 + \frac{0,3}{5} (6,452 - 6,695)$$

$$s_{200} = 6,6804 \text{ kJ/kg.K}$$

Temperatur berdasarkan posisi entropi

$$\frac{T_2 - T_{200}}{T_{250} - T_{200}} = \frac{s_2 - s_{200}}{s_{250} - s_{200}}$$

$$T_2 = 200 + \frac{0,0736}{0,2327} (250 - 200)$$

$$T_2 = 215,814^\circ\text{C}$$

Entalpi pada temperature 200°C

$$\frac{h_{200} - h_{10}}{h_{15} - h_{10}} = \frac{P_{10,3} - P_{10}}{P_{15} - P_{10}}$$

$$h_{200} = 2829 + \frac{0,3}{5} (2796 - 2829)$$

$$h_{200} = 2827,02 \text{ kJ/kg}$$

Entalpi pada temperature 250°C

$$\frac{h_{250} - h_{10}}{h_{15} - h_{10}} = \frac{P_{10,3} - P_{10}}{P_{15} - P_{10}}$$

$$h_{250} = 2944 + \frac{0,3}{5} (2925 - 2944)$$

$$h_{250} = 2942,86 \text{ kJ/kg}$$

Entalpi pada temperature 250°C

$$\frac{h_2 - h_{200}}{h_{250} - h_{200}} = \frac{T_{215,814} - T_{200}}{P_{250} - T_{200}}$$

$$h_2 = 2944 + \frac{15,814}{50} (2942,86 - 2827,02)$$

$$h_2 = 2863,6579 \text{ kJ/kg}$$

Titik 3 : Uap Keluar (Isentropik)

P = 4,5 Bar

$$s_1 = s_2 = s_3 = 6,754 \text{ kJ/kg.K}$$

s_g pada tekanan 4,5 Bar = 6,857 kJ/kg.K

$s_g > s_3$ = Cari kualitas uap

$$s_3 = s_f + x \cdot s_{fg}$$

$$x = \frac{6,754 - 1,820}{5,037}$$

$$x = 0,98$$

Maka entalpi dapat diperoleh :

$$h_3 = h_f + x \cdot h_{fg}$$

$$h_3 = 623 + 0,98 \cdot 2121$$

$$h_3 = 2700 \text{ kJ/kg}$$

Titik 2':Ekstraksi (Aktual)

P = 10,3 Bar

T = 331°C

Entalpi pada temperature 300°C

$$\frac{h_{300} - h_{10}}{h_{15} - h_{10}} = \frac{P_{10,3} - P_{10}}{P_{15} - P_{10}}$$

$$h_{300} = 3052 + \frac{0,3}{5} (3039 - 3052)$$

$$h_{300} = 3051,22 \text{ kJ/kg}$$

Entalpi pada temperature 350°C

$$\frac{h_{350} - h_{10}}{h_{15} - h_{10}} = \frac{P_{10,3} - P_{10}}{P_{15} - P_{10}}$$

$$h_{350} = 3158 + \frac{0,3}{5} (3148 - 3158)$$

$$h_{350} = 3157,4 \text{ kJ/kg}$$

Entalpi pada temperature 331°C

$$\frac{h_{2'} - h_{300}}{h_{350} - h_{300}} = \frac{T_{331} - T_{300}}{T_{350} - T_{300}}$$

$$h_{2'} = 3051,22 + \frac{31}{50} (3157,4 - 3051,22)$$

$$h_{2'} = 3117,0516 \text{ kJ/kg}$$

Titik 3':Uap Keluar (Aktual)

P = 4,5 Bar

T = 203°C

Entalpi pada temperature 200°C

$$\frac{h_{200} - h_4}{h_5 - h_4} = \frac{P_{4,5} - P_4}{P_5 - P_4}$$

$$h_{200} = 2862 + \frac{0,5}{1} (3039 - 3052)$$

$$h_{200} = 3051,22 \text{ kJ/kg}$$

Entalpi pada temperatur 250°C

$$\frac{h_{250} - h_4}{h_5 - h_4} = \frac{P_{4,5} - P_4}{P_5 - P_4}$$

$$h_{250} = 2965 + \frac{0,5}{1} (2962 - 2965)$$

$$h_{250} = 2963,5 \text{ kJ/kg}$$

Entalpi pada temperature 203°C

$$\frac{h_{3'} - h_{200}}{h_{250} - h_{200}} = \frac{T_{203} - T_{200}}{T_{250} - T_{200}}$$

$$h_{3'} = 2859,5 + \frac{3}{50} (2963,5 - 2859,5)$$

$$h_{3'} = 2865,74 \text{ kJ/kg}$$

Kerja / Daya Thermal Teoritis (Isentropik)

(WT isen)

$$\begin{aligned}
 W_{T \text{ isen}} &= [\dot{m} (h_1 - h_2) + (\dot{m} - \dot{m}_1) \\
 & (h_2 - h_3)] \\
 &= [73,95 \text{ kg/dtk} (3335,166-2863,6579) \\
 & \text{kJ/kg} + 55,49 \text{ kg/dtk} (2863,6579- \\
 & 2700,628) \text{ kJ/kg}] \\
 &= [34868,024 \text{ kW} + 9046,529 \text{ kW}] \\
 &= 43914,6 \text{ kW} \\
 &= 43,9146 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Kerja / Daya Thermal Aktual ($W_{T \text{ akt}}$)

$$\begin{aligned}
 W_{T \text{ akt}} &= [\dot{m} (h_1 - h_2') + (\dot{m} - \dot{m}_1) (\\
 & h_2' - h_3')] \\
 &= [73,95 \text{ kg/dtk} (3335,166-3117,0516) \\
 & \text{kJ/kg} + 55,49 \text{ kg/dtk} (3117,0516-2865,74) \\
 & \text{kJ/kg}] \\
 &= [16129,56 \text{ kW} + 13945,28 \text{ kW}] \\
 &= 30074,84 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 30,07484 \text{ MW} \\
 & \quad [\text{kJ/dtk} = \text{kWatt}] \\
 & \text{Efisiensi Isentropik Turbin } (\eta_{\text{isen}})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{isen}} &= \frac{W_{T \text{ akt}}}{W_{T \text{ isen}}} \times 100\% \\
 \eta_{\text{isen}} &= \frac{30,07484}{43,9146} \times 100\% \\
 \eta_{\text{isen}} &= 68,48\%
 \end{aligned}$$

Efisiensi Unit Turbin-Generator (η_{Tot})

$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{Tot}} &= \frac{\text{Beban}}{W_{T \text{ akt}}} \times 100\% \\
 & \quad [\text{kJ/dtk} = \text{kWatt}] \\
 \eta_{\text{Tot}} &= \frac{29,156}{30,07484} \times 100\% \\
 \eta_{\text{Tot}} &= 96,94\%
 \end{aligned}$$

Tabel 1 Tabel Hasil Analisis Data Lapangan Turbin Uap

DATA DI LAPANGAN	
TEKANAN HP	61,4 Bar
TEMPERATUR HP	465°C
LAJU UAP HP	266,22 T/jam
TEKANAN MP	10,3 Bar
TEMPERATUR MP	331°C
LAJU UAP MP	66,456 T/jam
TEKANAN LP	4,5 Bar
TEMPERATUR LP	203°C
LAJU UAP LP	199,764 T/jam
$W_{T \text{ isen}}$	43,9146 MW
$W_{T \text{ akt}}$	30,07484 MW
η_{isen}	68,48%
η_{Tot}	96,94%

5. SIMPULAN

Setelah melakukan analisis mengenai *performance* turbin uap pada PT Toba Pulp Lestari, Tbk, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin.
2. Komponen-komponen utama dari turbin uap terdiri dari casing, rotor, bantalan, dan katup utama yang dibantu dengan komponen-komponen bantu lainnya guna mendukung kinerja dari turbin uap.
3. Berdasarkan data di lapangan diketahui beban generator 29,156 MW dan di dapatkan daya thermal teoritis (isentropik) sebesar 43,9146 MW serta daya thermal aktual sebesar 30,07484 MW. Nilai efisiensi isentropik turbin adalah sebesar 68,48% dan didapatkan nilai efisiensi unit turbin-generator sebesar 96,94%.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Jamaludin, Iwan Kurniawan, 2017, *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*, Banten, Jurnal Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Tangerang.
- Ozora, Debora Yan, 2019, *Analisis Performansi Turbin Uap Kapasitas 53 MW di PT Toba Pulp Lestari, Tbk*, Politeknik Negeri Medan, Medan.
- PEDC Bandung, 1998, *Mesin Kalor dan Mesin Fluida*, Bandung, p.1-32.
- PT.Toba Pulp Lestari, Tbk *Modul Turbin-Generator*, 2002, Porsea. Pudjanarsa, Astu & Djati Narsuhud, 2013, *Mesin Konversi Energi*, Edisi Ketiga Penerbit ANDI.
- Shlyakhin, P., 1999, *Turbin Uap Teori dan Perancangan*, Penerbit Erlangga.