

# ANALISA PERFORMANCE KERJA TURBIN UAP MITSUBISHI –LTD TIPE 10 HL-11 DENGAN PUTARAN 3000 RPM DI PT SORIK MARAPI GEOTHERMAL POWER

Oleh:

Andrea Christian Siagian <sup>1)</sup>

Krismanto Sinulingga <sup>2)</sup>

Kristian Tarigan <sup>3)</sup>

Universitas Darma Agung <sup>1,2,3)</sup>

E-mail:

[andresiagian186@gmail.com](mailto:andresiagian186@gmail.com) <sup>1)</sup>

[sinulinggakrismanto@gmail.com](mailto:sinulinggakrismanto@gmail.com) <sup>2)</sup>

[kristiantarigan@gmail.com](mailto:kristiantarigan@gmail.com) <sup>3)</sup>

## ABSTRACT

*Geothermal Power Plant (PLTP) has a main component which is steam turbine. Turbine is one of the tools used in the power industry as the main drive in a plant that converts fluid energy into mechanical energy. Where the hot steam energy that comes from the earth is used to move the turbine blades directly. After that the turbine will rotate the generator where mechanical energy will be converted into electrical energy. The quality of steam at Sorik Marapi Geothermal Power Plant plays an important role in turbine performance and the power produced. PLTP Sorik Marapi Geothermal Power also uses the latest technology, namely the Organic Rankine Cycle (ORC) system, which is a modification of the rankine cycle with a working fluid of organic material (Refrigerant). This refrigerant has a low boiling point, so ORC can be used as a power plant from low temperature heat sources such as flue gas and from geothermal which has low temperature and pressure. The working fluid used is R245fa refrigerant. From the data that has been obtained, it is known that the generator load is 27.42 MW and the theoretical thermal power is 39.1737186 MW and the actual thermal power is 36.8301477 MW. The turbine isentropic efficiency value is 94.0174919% and the turbine-generator unit efficiency value is 74.4498779%.*

**Keywords:** *Steam Turbine, Power, Efficiency.*

## ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) memiliki komponen utama yaitu turbin uap. Turbin merupakan salah satu alat yang dipakai pada industri listrik sebagai penggerak utama dalam suatu pembangkit yang merubah energi fluida menjadi energi mekanik. Dimana energi uap panas yang berasal dari dalam bumi dimanfaatkan untuk menggerakkan langsung sudu turbin. Setelah itu turbin akan memutarakan generator dimana energi mekanik akan dirubah menjadi energi listrik. Kualitas uap pada PLTP Sorik Marapi Geothermal Power berperan penting terhadap performa turbin dan daya yang dihasilkan. PLTP Sorik Marapi Geothermal Power juga menggunakan teknologi terkini yaitu sistem Organic Rankine Cycle (ORC) merupakan modifikasi siklus rankine dengan fluida kerja dari bahan organik (Refrigeran). Refrigeran ini memiliki titik didih yang rendah, sehingga ORC dapat digunakan sebagai pembangkit listrik dari sumber panas temperatur rendah seperti gas buang dan dari geotermal yang memiliki temperatur dan tekanan yang rendah. Fluida kerja yang digunakan yaitu refrigeran R245fa. Dari data yang telah di peroleh diketahui beban generator 27,42 MW dan daya thermal teoritis adalah 39,1737186 MW dan daya thermal aktual adalah 36,8301477 MW. Nilai efisiensi isentropik turbin sebesar 94,0174919% dan

didapatkan nilai efisiensi unit turbin- generator sebesar 74,4498779 %.

**Kata Kunci: Turbin Uap, Daya, Efisiensi.**

## 1. PENDAHULUAN

Sumber daya energi panas bumi di Indonesia diperkirakan mencapai sekitar 28,5 Giga Watt electrical (GWe) yang terdiri dari resources 11.073 MW dan reserves 17.453 MW, hal ini menjadikan Indonesia menjadi salah satu negara dengan sumber daya panas bumi terbesar di dunia.

Pada PLTP Sorik Marapi, Ada beberapa tahapan sebelum uap masuk ke turbin uap. Uap yang digunakan berasal dari *production well* (sumur produksi) yang telah dilakukan pengujian *well test*. *Well test* berfungsi untuk memastikan sumur produksi layak digunakan. Uap dari *production well* akan masuk terlebih dahulu ke HP separator untuk memisahkan antara uap dan *brine*. Selanjutnya uap yang telah melewati HP separator juga perlu melewati fase pembersihan dengan mengalirkan uap ke dalam *scrubber* yang berfungsi sebagai alat pembersih uap dari material yang mencemari uap. Dengan demikian, uap yang keluar dari *scrubber* sudah merupakan uap yang bersih dan kering untuk selanjutnya dialirkan untuk menggerakkan turbin uap.

*Brine* masih bisa digunakan untuk menghasilkan listrik dengan menggunakan sistem ORC. Pada system ORC ini menggunakan modular *screw expander* sebagai penggerak generator.

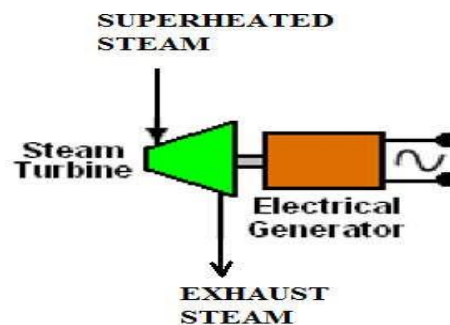
*Brine* berfungsi sebagai fluida penghantar panas pada penukar kalor (*heat exchanger*). Lalu fluida penghantar panas tersebut akan mengalir dan memanaskan refrigerant sebagai fluida kerja pada sistem utama ORC sampai refrigerant berubah menjadi uap bertekanan tinggi. Uap bertekanan tinggi ini akan memutar modular *screw expander* sehingga generator bisa menghasilkan listrik. Jenis refrigerant

yang digunakan di PLTP Sorik Marapi adalah R245fa dengan titik didih 15°C. *Brine* yang telah digunakan akan dialirkan ke *pond* (kolam penampung), selanjutnya akan dipompakan ke sumur injeksi (*injection wells*). *Injection wells* adalah sumur yang digunakan untuk mengembalikan air panas limbah ataupun *brine* ke dalam perut bumi (*reservoir*).

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Turbin Uap

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. Poros turbin, langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang di gerakkan. Tergantung pada jenis mekanisme yang digerakkan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, untuk pembangkit tenaga listrik, dan untuk transportasi (Shlyakhin, 2015).



Gambar 1 Turbin uap

### 2.2 Sejarah Turbin Uap

Penggunaan uap untuk menghasilkan kerja mekanik lahir dari kebutuhan untuk memanfaatkan air dari tambang batu bara. Upaya pertama yang berhasil dalam hal ini adalah “mesin pemompa” (“*pumping engine*”) yang dibuat oleh Thomas Savery (1659-1715) di Inggris. Denis Papin (1647-1712), menyatakan pemisahan uap dan air dengan suatu torak, Thomas Newcomen

(1663-1729) juga membangun mesin yang menggunakan torak tersebut. (El-Wakil, 1992). Pada tahun 1765 James Watt menciptakan gagasan tentang kondensasi yang terpisah, dan kemudian berbagai gagasan lain misalnya langkah kerja yang dihasilkan dari ekspansi uap, silinder aksi rangkap governorekik bola terbang, konversi gerakan bolak-balik menjadi gerakan putar (pada tahun 1781), dan berbagai hal penting lainnya.

Corliss (1817-1888) mengembangkan katup-pemasuk yang menutup dengan cepat, untuk mengurangi *throttling* pada saat menutup. pada 1863, Stumpf mengembangkan “mesin uniflow” yang dirancang untuk mengurangi susut kondensasi (El-Wakil, 1992).

Mesin-uap bolak-balik mencapai ukuran terbesar pada waktu diperlukan untuk menggerakkan pembangkit-listrik 5 MW, Pada waktu pembangkit-listrik bertambah besar sedang bolak-balik tidak cukup besar untuk menggerakkannya. Pada akhir tahun 1800-an, terciptalah turbin uap, yang bukan merupakan hal baru karena dimana sudah mulai dibutuhkan dan telah di perkirakan oleh para penemu Sebagaimana juga banyak penemu, turbin-uap baru menjadi alat praktis setelah dunia memerlukannya (El-Wakil, 1992).

### 2.3 Klasifikasi Turbin Uap

Berikut adalah klasifikasi Turbin Uap:

#### 1. Turbin Impuls

Pada Turbin Impuls ini terdapat nosel-nosel dan penurunan tekanan uap terjadi pada nosel-nosel tersebut uap masuk ke dalam turbin dengan kecepatan yang tinggi. (PEDC Bandung, 1998).

#### 2. Turbin Reaksi

Pada turbin reaksi ini uap juga bereaksi pada sudu geraknya dengan konsekuensi terjadinya penurunan tekanan uap pada sudu tersebut.

### 2.4 Komponen Turbin Uap

Berikut adalah Komponen utama Turbin Uap:

#### 1. Casing

Pada casing terdapat sudu-sudu diam yang berfungsi untuk mengarahkan rotor. (disebut stator) yang dipasang melingkar dan berjajar terdiri dari beberapa baris yang merupakan pasangan dari sudu gerak pada rotor.

#### 2. Rotor

Rotor adalah bagian yang berputar terdiri dari poros dan sudu-sudu gerak yang terpasang mengelilingi rotor.

#### 3. Bantalan

Fungsi bantalan adalah menopang dan menjaga rotor turbin agar tetap pada posisi normalnya. Ada dua macam bantalan pada turbin, yaitu :

- Bantalan jurnal
- Bantalan aksial (*thrust bearing*).

#### 4. Katup Utama

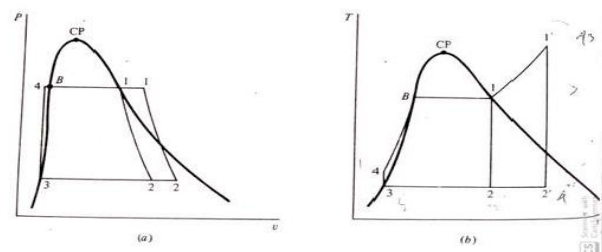
Katup utama turbin terdiri dari *Main Stop Valve* (MSV) yang berfungsi sebagai katup penutup cepat jika turbin *trip* dan *Governor Valve* (GV) yang bertugas mengatur aliran uap masuk turbin sesuai dengan bebannya

Berikut adalah Komponen bantu Turbin Uap:

- Sistem Pelumasan
- Turning gear

### 2.5 Siklus Rankine

Siklus Rankine dapat dilihat pada diagram *P-V* dan *T-S* dengan garis yang menunjukkan uap-jenuh dan cairan-jenuh. Fluida-kerjanya adalah H<sub>2</sub>O (El-Wakil, 1992).



Gambar 2 Siklus Rankine ideal  
(a) diagram *P-v* dan (b) diagram *t-s*.

### 2.6 Efisiensi isentropik

Efisiensi politropik turbin  $\eta_T$  (disebut juga dengan efisiensi isentropik turbin atau efisiensi adiabatik turbin) merupakan ukuran ketidakmampubalikan yang diberi oleh efisiensi ekspansi atau ekspansi turbin yang sama dengan rasio (perbandingan) kerja-nyata dengan kerja-ideal dan diberikan oleh turbin (EL-Wakil, 1992):

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

(M.M. EL-Wakil, Instalasi pembangkit Daya, Hal 192)

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di PT SMGP (Sorik Marapi Geothermal Power). Pelaksanaan penelitian ini dilakukan sejak tanggal 1 Juni sampai dengan 15 Juni 2023. Metode yang dipakai dalam penelitian ini ialah metode objektif yang mengacu pada informasi yang didasarkan pada bukti faktual.

#### 3.2 Bahan dan Alat

##### a. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Laporan *Shift* Operator DCS
2. Data Realisasi dari peneliti.
3. Turbin Uap

##### b. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Control panel*
2. *Program Steam Calculator Mobile*

#### 3.3 Variabel

##### a. Variabel Bebas

1. Daya
2. Kapasitas
3. Entalpi

##### b. Variabel Tetap

1. Waktu
2. Efisiensi Turbin

#### 3.4 Tahapan Penelitian

1. Mencatat kegiatan di pembangkit dalam *logsheet* harian
2. Melakukan pendataan pada waktu pengolahan, daya yang dihasilkan turbin, tekanan steam masuk, dan juga penggunaan bahan bakar pada boiler.
3. Mewawancara staff operator pembangkit.

### 3.5 Pengamatan Penelitian

#### a. Observasi

Pengamatan langsung dengan stasiun pembangkit PT SMGP.

#### b. Pengumpulan Data

Meminta pihak operator memberikan penjelasan tentang keadaan stasiun pembangkit pada tekanan uap yang terjadi pada turbin.

#### c. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan 2 cara, yaitu:

##### 1. Pengolahan Kualitatif

Data berupa performa stasiun pembangkit PT SMGP yang diperoleh melalui wawancara dengan operator.

##### 2. Pengolahan Kuantitatif

Berupa data sekunder dari laporan *logsheet* harian dan dilakukan Analisa perhitungan dengan cara interpolasi dari data dengan rumus sebagai berikut:

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

Dimana :

$h_{465}$  = Entalpi Pada temperatur 465 °C (Kj/Kg)

$T_{465}$  = Temperatur (°C)

### 3.6 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan studi literatur yang bersumber dari buku termodinamika teknik dasar, jurnal dengan materi sejenis, beserta berbagi referensi terpercaya yang ada di internet.

### 3.7 Metode Penelitian

Metode yang digunakan penulis untuk penelitian ini adalah:

1. Studi Pustaka  
Bersumber dari buku-buku mengenai

daya turbin uap dan termodinamika dasar.

2. Metode Studi Lapangan  
Dilakukan dengan pengumpulan data di lapangan dan pengamatan.
3. Metode Pengolahan dan Analisa Data  
Mengolah data untuk meneliti nilai-nilai yang mencakup efisiensi daya turbin uap.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

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:

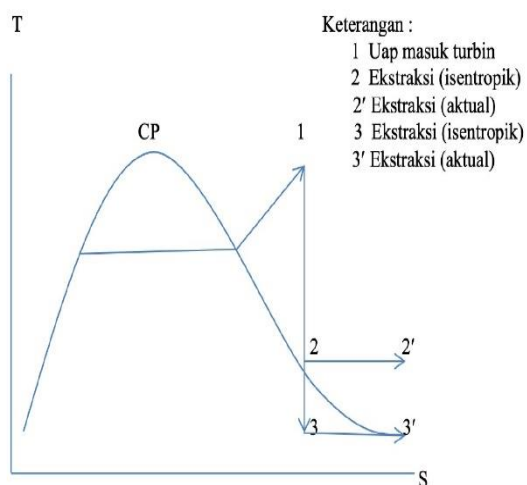
$$\eta_{Tot} = \frac{Beban}{WT_{akt}} \times 100\%$$

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

$$W_{T_i} = [ m ( h_1 - h_2 ) + ( m - m_1 ) ( h_2 - h_3 ) ]$$

Untuk mencari Daya thermal actual dengan persamaan sebagai berikut :

$$W_{kt} = [ m ( h_1 - h ) + ( m - m_1 ) ( h - h ) ]$$



Gambar 3 diagram sederhana T-S Turbin

#### Titik 1 : Uap masuk turbin

$$P = 61,54 \text{ Bar}$$

$$T = 452^\circ\text{C}$$

Dari table Uap Air Superpanas diperoleh: Entalpi pada tekanan 60 Bar dan temperatur 452°C

$$\frac{h_{452} - h_{450}}{h_{500} - h_{450}} = \frac{T_{452} - T_{450}}{T_{500} - T_{450}}$$

$$h_{452} = 3301 + \frac{2}{50} (3421 - 3301)$$

$$h_{452} = 3308,5 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{452} = 3308,5 \text{ kJ/kg}$$

Entalpi pada tekanan 70 Bar dan temperatur 452°C

$$\frac{h_{452'} - h_{450}}{h_{500} - h_{450}} = \frac{T_{452'} - T_{450}}{T_{500} - T_{450}}$$

$$h_{452'} = 3287 + \frac{2}{50} (3410 - 3287)$$

$$h_{452'} = 3291,92 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{452'} = 3291,92 \text{ kJ/kg}$$

Entalpi pada tekanan 61,54 Bar dan temperatur 452°C

$$\frac{h_1 - h_{452}}{h_{452'} - h_{452}} = \frac{P_{61,54} - P_{60}}{P_{70} - P_{60}}$$

$$h_1 = 3308,5 + \frac{1,54}{10} (3291,92 - 3308,5)$$

$$h_1 = 3305,9466 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = 3305,9466 \text{ kJ/kg}$$

Entropi pada tekanan 60 Bar dan temperatur 452°C

$$\frac{S_{452} - S_{450}}{S_{500} - S_{450}} = \frac{T_{452} - T_{450}}{T_{500} - T_{450}}$$

$$S_{452} = 6,719 + \frac{2}{50} (6,879 - 6,719)$$

$$S_{452} = 6,7254 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{K}$$

$$S_{452} = 6,7254 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{K}$$

Entropi pada tekanan 70 Bar dan temperatur 452°C

$$\frac{S_{452'} - S_{450}}{S_{500} - S_{450}} = \frac{T_{452'} - T_{450}}{T_{500} - T_{450}}$$

$$S_{452'} = 6,632 + \frac{2}{50} (6,756 - 6,632)$$

$$S_{452'} = 6,63856 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$S_{452'} = 6,63856 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

Entropi pada tekanan 61,54 Bar dan temperatur 452°C

$$\frac{s_1 - s_{452}}{s_{452'} - s_{452}} = \frac{P_{61,54} - P_{60}}{P_{70} - P_{60}}$$

$$s_1 = 6,7254 + \frac{1,54}{10} (6,63856 - 6,7254)$$

$$s_1 = 6,7254 + \frac{1,54}{10} (6,63856 - 6,7254)$$

$$s_1 = 6,71202664 \text{ kJ/kg.K}$$

### Titik 2 : Ekstraksi (Isentropik)

$$P = 10,19 \text{ Bar}$$

$$s_1 = s_2 = 6,71202664 \text{ kJ/kg.K}$$

Entropi pada temperatur 250°C

$$\frac{s_{250} - s_{10}}{s_{15} - s_{10}} = \frac{P_{10,19} - P_{10}}{P_{15} - P_{10}}$$

$$s_{250} = 6,926 + \frac{0,19}{5} (6,711 - 6,926)$$

$$s_{250} = 6,91783 \text{ kJ/kg.K}$$

Entropi pada temperatur 200°C

$$\frac{s_{200} - s_{10}}{s_{15} - s_{10}} = \frac{P_{10,19} - P_{10}}{P_{15} - P_{10}}$$

$$s_{200} = 6,695 + \frac{0,19}{5} (6,452 - 6,695)$$

$$s_{200} = 6,685766 \text{ kJ/kg.K}$$

Temperatur berdasarkan posisi entropi

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

$$T_2 = 200 + \frac{0,02626064}{0,232064} (250 - 200)$$

$$T_2 = 205,658^\circ\text{C}$$

Entalpi pada temperatur 200°C

$$\frac{h_{200} - h_{10}}{h_{15} - h_{10}} = \frac{P_{10,19} - P_{10}}{P_{15} - P_{10}}$$

$$h_{200} = 2829 + \frac{0,19}{5} (2795 - 2829)$$

$$h_{200} = 2827,746 \text{ kJ/kg}$$

Entalpi pada temperatur 250°C

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

$$h_{250} = 2944 + \frac{0,19}{5} (2925 - 2944)$$

$$h_{250} = 2943,278 \text{ kJ/kg}$$

Entalpi pada tekanan 10,19 dan temperatur 205,658°C

$$\frac{h_2 - h_{200}}{h_{250} - h_{200}} = \frac{T_{205,658} - T_{200}}{P_{250} - T_{200}}$$

$$h_2 = 2827,746 + \frac{5,658}{50} (2943,278 - 2827,746)$$

$$h_2 = 2840,8196 \text{ kJ/kg}$$

### Titik 3 : Uap Keluar (Isentropik)

$$P = 4,388 \text{ Bar}$$

$$s_1 = s_2 = s_3 = 6,71202664 \text{ kJ/kg.K}$$

$s_g$  pada tekanan 4,388 Bar

$$\frac{s_g - 4}{4,5 - 4} = \frac{4,388 - 4}{4,5 - 4}$$

$$s_g = 6,897 + \frac{0,388}{0,5} (6,852 - 6,897)$$

$$s_g = 6,86596 \text{ kJ/kg.K}$$

$$\frac{s_f - 4}{4,5 - 4} = \frac{4,388 - 4}{4,5 - 4}$$

$$s_f = 1,776 + \frac{0,388}{0,5} (1,820 - 1,776)$$

$$s_f = 1,810144 \text{ kJ/kg.K}$$

$$\frac{s_{fg} - 4}{4,5 - 4} = \frac{4,388 - 4}{4,5 - 4}$$

$$s_{fg} = 5,121 + \frac{0,388}{0,5} (5,037 - 5,121)$$

$$s_{fg} = 5,055816 \text{ kJ/kg.K}$$

$s_g > s_3 =$  Cari kualitas uap

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

$$x = \frac{6,71202664 - 1,810144}{5,055816}$$

$$x = 0,96$$

$$\frac{h_f - 4}{4,5 - 4} = \frac{4,388 - 4}{4,5 - 4}$$

$$h_f = 605 + \frac{0,388}{0,5} (623 - 605)$$

$$h_f = 618,968 \text{ kJ/kg}$$

$$\frac{h_{fg} - 4}{4,5 - 4} = \frac{4,388 - 4}{4,5 - 4}$$

$$h_{fg} = 2134 + \frac{0,388}{0,5} (2121 - 2134)$$

$$h_{fg} = 2123,912 \text{ kJ/kg}$$

Maka entalpi dapat diperoleh :

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

$$h_3 = 618,968 + 0,96 \cdot 2123,912$$

$$h_3 = 2657,92352 \text{ kJ/kg}$$

### Titik 2' : Ekstraksi (Aktual)

$$P = 10,19 \text{ Bar}$$

$$T = 321,4^\circ\text{C}$$

Entalpi pada temperatur 300°C

$$\frac{h_{300} - h_{10}}{h_{15} - h_{10}} = \frac{P_{10,19} - P_{10}}{P_{15} - P_{10}}$$

$$h_{300} = 3052 + \frac{0,19}{5} (3039 - 3052)$$

$$h_{300} = 3051,506 \text{ kJ/kg}$$

Entalpi pada temperatur 350°C

$$\frac{h_{350} - h_{10}}{h_{15} - h_{10}} = \frac{P_{10,19} - P_{10}}{P_{15} - P_{10}}$$

$$h_{350} = 3158 + \frac{0,19}{5} (3148 - 3158)$$

$$h_{350} = 3157,62 \text{ kJ/kg}$$

Entalpi pada temperatur 321,4°C

$$\frac{h_{2'} - h_{300}}{h_{350} - h_{300}} = \frac{T_{321,4} - T_{300}}{T_{350} - T_{300}}$$

$$h_{2'} = 3051,506 + \frac{21,4}{50} (3157,62 - 3051,506)$$

$$h_{2'} = 3096,92279 \text{ kJ/kg}$$

### Titik 3': Uap Keluar (Aktual)

P = 4,388 Bar

T = 187,6°C

h pada Tekanan 5 bar temperatur 150 diambil dari Aplikasi Steam Table

h pada Tekanan 4 bar temperatur 150 diambil dari Tabel : Uap Air Superpanas

Temperature	150,0000 °C
Pressure	5,0000 bar
Gauge pressure	bar-g
Specific volume	1,0905E-3 m³/kg
Density	917,0202 kg/m³
Enthalpy	632,2663 kJ/kg
Entropy	1,8419 kJ/kg·K
Internal energy	631,7211 kJ/kg

Gambar 4 Aplikasi Steam Table

Entalpi pada temperatur 150°C

$$\frac{h_{150} - h_4}{h_5 - h_4} = \frac{P_{4,388} - P_4}{P_5 - P_4}$$

$$h_{150} = 2753 + \frac{0,388}{1} (632,2663 - 2753)$$

$$h_{150} = 1930,15532 \text{ kJ/kg}$$

Entalpi pada temperatur 200°C

$$\frac{h_{200} - h_4}{h_5 - h_4} = \frac{P_{4,388} - P_4}{P_5 - P_4}$$

$$h_{200} = 2862 + \frac{0,388}{1} (2857 - 2862)$$

$$h_{200} = 2860,06 \text{ kJ/kg}$$

Entalpi pada temperatur 187,6°C

$$\frac{h_{3'} - h_{150}}{h_{200} - h_{150}} = \frac{T_{187,6} - T_{150}}{T_{200} - T_{150}}$$

$$h_{3'} = 1930,15532 + \frac{37,6}{50} (2860,06 - 1930,15532)$$

$$h_{3'} = 2629,44364 \text{ kJ/kg}$$

Kerja / Daya Thermal Teoritis (Isentropik) (WT isen)

$$WT \text{ isen} = [ \dot{m} ( h_1 - h_2 ) + ( \dot{m} - \dot{m}_1 ) ( h_2 - h_3 ) ] \cdot [ \text{kJ/dtk} = \text{kWatt} ]$$

$$= [ 64,6 \text{ kg/dtk} (3305,9466 - 2840,8196) \text{ kJ/kg} + 49,9 \text{ kg/dtk} (2840,8196 - 2657,92352) \text{ kJ/kg} ]$$

$$= [ 30047,2042 \text{ kW} + 9126,51439 \text{ kW} ]$$

$$= 39173,7186 \text{ kW}$$

$$= 39,1737186 \text{ MW}$$

Kerja / Daya Thermal Aktual (WT akt)

$$WT \text{ akt} = [ \dot{m} ( h_1 - h_2' ) + ( \dot{m} - \dot{m}_1 ) ( h_2' - h_3' ) ] \cdot [ \text{kJ/dtk} = \text{kWatt} ]$$

$$= [ 64,6 \text{ kg/dtk} (3305,9466 - 3096,92279) \text{ kJ/kg} + 49,9 \text{ kg/dtk} (3096,92279 - 2629,44364) \text{ kJ/kg} ]$$

$$= [ 13502,9381 \text{ kW} + 23327,2096 \text{ kW} ]$$

$$= 36830,1477 \text{ kW}$$

$$= 36,8301477 \text{ MW}$$

Efisiensi Isentropik Turbin ( $\eta_{isen}$ )

$$\eta_{isen} = \frac{W_{T \text{ akt}}}{W_{T \text{ isen}}} \times 100\%$$

$$\eta_{isen} = \frac{36,8301477}{39,1737186} \times 100\%$$

$$\eta_{isen} = 94,0174919 \%$$

Efisiensi Unit Turbin-Generator ( $\eta_{Tot}$ )

$$\eta_{Tot} = \frac{\text{Beban}}{W_{T \text{ akt}}} \times 100\%$$

$$\eta_{Tot} = \frac{27,42}{36,8301477} \times 100\%$$

$$\eta_{Tot} = 74,4498779 \%$$

Tabel 1 Hasil Analisis Data Lapangan Turbin Uap

	DATA DI LAPANGAN
Tekanan HP	61,54 Bar
Temperatur	452 °C
HP Laju Uap HP	232 T/jam
Tekanan MP	10,19 Bar
Temperatur MP	321,4 °C
Laju Uap MP	80,00 T/jam
Tekanan LP	4,388 Bar
Temperatur LP	187,6 °C
Laju Uap LP	202,2 T/jam
$W_T$	39,1737186 MW
isen	36,8301477 MW
$W_T$	94,0174919%
akt	74,4498779%
$\eta_{isen}$	
$\eta_{Tot}$	

## 5. SIMPULAN

Setelah melakukan analisis mengenai *performance* turbin uap pada PT Sorik Marapi Geothermal Power, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan data di lapangan diketahui dengan *pressure steam* 61,54 Bar dan *temperature* 452 °C menghasilkan beban generator 27,42 MW lalu di hasil daya thermal teoritis (isentropik) sebesar 39,1737186 MW serta daya thermal aktual adalah sebesar 36,8301477 MW. Nilai efisiensi isentropik turbin sebesar 94,0174919% dan nilai efisiensi turbin-generator adalah 74,4498779 %.
2. Selain menggunakan turbin uap, pada PLTP SMGP terdapat teknologi sistem ORC untuk menghasilkan listrik dengan menggunakan *brine*. Sistem ORC menggunakan refrigerant

tipe R245fa sebagai fluida kerjanya dan modular *screw expander* sebagai penggerak generator. Pada ORC, *brine* berfungsi sebagai fluida penghantar panas pada penukar kalor (*heat exchanger*).

## 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. PLN (PERSERO) PUSAT PENDIDIKAN DAN PELATIHAN, Pengoperasian PLTU ,p.49-60.
- PT. Toba Pulp Lestari Tbk, 2002. Modul Turbin-Generator. Porsea.
- Pudjanarsa, Astu & Djati Narsuhud, 2013. Mesin Konversi Energi, Edisi Ketiga Penerbit ANDI.
- Shlyakhin , P., 1999. Turbin Uap Teori dan Perancangan, Penerbit Erlangga.
- Silaban, Gortap, 2018. Driving License Process Turbine Generator. ,Porsea.
- Ujung, Bunganta Karina , 2017. Analisa Performansi Turbin Uap Kapasitas 10 MW pada PT Soci Mas KIM 1 Deli Serdang. Politeknik Negeri Medan, Medan.