

## UJI KARAKTERISTIK DAN KINERJA SIMULATOR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO TIPE PELTON

Rachmanto Hadiputranto<sup>1)</sup>, Deni Rahmat Sapari<sup>2)</sup>, Jajang Solohin<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Mesin STT YBSI Tasikmalaya

Email : rhadiputranto@gmail.com

### Abstract

*Pelton Type Micro Hydro Power Plant Simulator or Pelton Type PLTMH is the result of collaborative research on student thesis of the Mechanical Engineering Study Program at STT YBSI. This simulator is used in the Energy Conversion Machine Laboratory for student practicum and advanced research. The study of the characteristics and performance of this simulator is needed to know the technical specifications and performance of the simulator empirically.*

*The research method used in this study is to combine three main things, namely Bernoulli's concept in particular about the control volume, mechanical systems and electrical theory, especially Ohm's Law. In the control volume will be discussed about the characteristics of fluid flow, including flow velocity, discharge, mass flow rate and fluid thrust. While the mechanical system includes the relationship between shaft rotation, torque and mechanical power. For electricity, it discusses the relationship between electric current, voltage and electric power. The three main things are processed and connected so that several variables will be obtained that can support the characteristics and performance of the simulator. Technically tested with six different fluid pressure conditions. The test results are presented in the form of tables and curves and are considered to have met the needs.*

*From the results of the tests and analyzes carried out, it can be concluded that the Pelton Type PLTM Simulator at the Energy Conversion Machinery Laboratory of STT YBSI has a maximum input characteristic of  $m = 0.343 \text{ kg/s}$ ,  $v_{\text{fluid}} = 3.043 \text{ m/s}$ ,  $Q = 3.440 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $F_{\text{fluid}} = 1.373 \text{ N}$ ,  $T = 0.085 \text{ Nm}$ ,  $\omega = 23.968 \text{ rad/s}$  and turbine  $P = 2.037 \text{ Watt}$ . The maximum output characteristic is  $V = 2.31 \text{ Volt DC}$ ,  $A = 0.61 \text{ Ampere}$  and  $E$  is  $1,400 \text{ Watt}$ . For simulator performance obtained maximum turbine efficiency  $\eta_T = 79.26\%$ .*

**Keywords:** Characteristics, Performance, Pelton Turbine

### Abstrak

Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Tipe Pelton atau PLTMH Tipe Pelton merupakan hasil penelitian kolaborasi skripsi mahasiswa Program Studi Teknik Mesin di STT YBSI. Simulator ini digunakan pada Laboratorium Mesin Konversi Energi untuk praktikum mahasiswa dan penelitian lanjutan. Studi karakteristik dan kinerja simulator ini diperlukan untuk mengetahui spesifikasi teknis dan kinerja simulator secara empiris.

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah mengkombinasikan tiga hal utama, yaitu konsep Bernoulli khususnya tentang volume kendali, sistem mekanik dan teori kelistrikan khususnya Hukum Ohm. Didalam volume kendali akan dibahas mengenai karakteristik aliran fluida, meliputi kecepatan alir, debit, laju aliran massa dan gaya dorong fluida. Sementara sistem mekanik mencakup hubungan antara putaran poros, torsi dengan daya mekanik. Untuk kelistrikan membahas mengenai hubungan arus listrik, tegangan dan daya listrik. Dari ketiga hal utama tersebut diolah dan dihubungkan sehingga akan didapatkan beberapa variabel yang dapat mendukung karakteristik dan kinerja simulator. Secara teknis dilakukan pengujian dengan enam kondisi tekanan fluida yang berbeda. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel serta kurva dan dianggap sudah memenuhi kebutuhan.

Dari hasil pengujian dan analisis yang dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa Simulator PLTM Tipe Pelton yang berada di Laboratorium Mesin Konversi Energi STT YBSI mempunyai karakteristik masukan maksimum  $m = 0,343 \text{ kg/s}$ ,  $v_{\text{fluida}} = 3,043 \text{ m/s}$ ,  $Q = 3,440 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $F_{\text{fluida}} = 1,373 \text{ N}$ ,  $T = 0,085 \text{ Nm}$ ,  $\omega = 23,968 \text{ rad/s}$  dan  $P_{\text{turbin}} = 2,037 \text{ Watt}$ . Karakteristik keluaran maksimum  $V = 2,31 \text{ Volt DC}$ ,  $A = 0,61 \text{ Ampere}$  dan  $E$  sebesar  $1,400 \text{ Watt}$ . Untuk kinerja simulator diperoleh efisiensi turbin maksimum  $\eta_T = 79,26\%$ .

**Kata Kunci :** Karakteristik, Kinerja, Turbin Pelton

## 1. Pendahuluan

Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Tipe Pelton merupakan hasil kolaborasi penelitian rancang bangun dua sub sistem, yaitu rancang bangun perpipaan dan rancang bangun sistem mekanik<sup>[5][6]</sup>. Kedua rancang bangun tersebut telah selesai dan sudah dapat difungsikan secara operasional. Simulator pembangkit listrik skala mikrohidro tipe Pelton ini dibuat dalam skala laboratorium dengan harapan dapat digunakan oleh mahasiswa Teknik Mesin saat melakukan praktikum mesin konversi energi. Alat ini dibuat semaksimal mungkin dengan mendekati keadaan yang sebenarnya, terutama pada konstruksi dan profil dari *bucket* yang tipikal turbin Pelton.

Secara garis besar, simulator ini terdiri dari komponen utama yaitu pompa air dengan daya 125 Watt, sistem perpipaan yang dilengkapi dengan katup dan *pressure gage*, nozel, mekanik turbin Pelton dan generator listrik DC. Prinsip kerja simulator adalah mengkonversikan energi potensial fluida menjadi energi listrik. Energi potensial fluida diperoleh dari perbedaan kecepatan fluida yang dihasilkan oleh pompa. Perbedaan kecepatan fluida menghasilkan tekanan, debit, laju massa dan gaya dorong. Gaya dorong inilah yang akan memutar turbin Pelton. Selanjutnya turbin Pelton dihubungkan dengan poros dan puli dan memutar generator listrik DC.

Untuk itu diperlukan pengujian untuk mengetahui karakteristik dari simulator dan kinerja alat. Sehingga dari pengujian karakteristik dan analisis kinerja alat dapat memenuhi tujuan penelitian, yaitu mengetahui karakteristik simulator dan kinerja simulator dalam ukuran efisiensi turbin.

## 2. Kajian pustaka

### 2.1. Turbin Air<sup>[1]</sup>

Turbin air adalah suatu alat yang bekerja dengan air sebagai fluida kerja. Ketinggian air sebagai fluida kerja diposisikan sedemikian rupa sehingga membentuk beda ketinggian atau head. Beda ketinggian posisi air akan mengakibatkan perbedaan potensial. Sehingga dalam fluida tersebut akan terjadi aliran dan menimbulkan kecepatan alir. Kecepatan alir dari fluida akan menghasilkan energi kinetik. Sementara

perbedaan potensial air akan menghasilkan energi potensial.

Energi tersebut akan dimanfaatkan untuk memutar sudu-sudu turbin dan akhirnya akan digunakan untuk memutar generator listrik. Sehingga dalam hal ini akan terjadi konversi energi dari energi potensial air menjadi energi mekanis poros turbin dan akhirnya menjadi energi listrik.

Secara umum di Indonesia, pemanfaatan energi potensial air menjadi listrik terus dikembangkan dalam rangka untuk memenuhi kebutuhan listrik, baik untuk rumah tangga dan industri. Potensi pembangkit listrik tenaga air di Indonesia sangat besar, yaitu mencapai 75.000 MW. Sehingga bila dimanfaatkan secara optimal, maka ketergantungan terhadap energi fosil dapat dikurangi secara signifikan. Sebagaimana diketahui bahwa energi fosil akan menghasilkan emisi gas buang yang dapat merusak lingkungan dan membahayakan kesehatan.

#### 2.1.1. Klasifikasi Turbin Air

Turbin air dapat diklasifikasikan kedalam beberapa hal berikut ini :

##### A. Berdasarkan Momentum Fluida Kerja

Turbin air ditinjau dari pengaruh momentum kerjanya dibagi menjadi dua, yaitu:

1. **Turbin Reaksi.** Turbin reaksi dibedakan dalam variasi arah aliran yang melalui sudunya. Jenis turbin reaksi adalah sebagai berikut :
  - a. Turbin Francis aliran radial (*radial flow*).
  - b. Turbin Francis aliran campuran (*mixed flow*).
  - c. Turbin Kaplan aliran aksial (*axial flow*).

Pada turbin aliran radial dan aliran campuran, radius aliran air keluar pada seksi keluar berbeda dengan radius aliran masuk pada seksi masuk. Bila aliran masuk sudu hanya dengan arah radial berbeda dengan turbin aliran campuran, aliran masuk ke sudu dari arah radial dan aksial.

Sudu aliran aksial terbagi atas tipe propeler atau sudu tetap dan sudu Kaplan atau sudu dapat diubah). Turbin propeler adalah tipe turbin aliran klasik. Sementara turbin Kaplan mempunyai sudu pengarah dan sudut geraknya dapat diubah-ubah. Dengan mengatur sudut gerak sudu, turbin Kaplan dapat beroperasi pada beban yang bervariasi

dengan efisiensi yang tinggi. Turbin reaksi tersebut mempunyai sudu pengarah yang dilengkapi dengan rumah siput dan pipa isap. Aliran masuk kedalam rumah siput arah horisontal dan masuk ke sudu pengarah secara radial akan mengalir arah aksial dan selanjutnya dilepas ke pipa dalam arah vertikal.

2. **Turbin Impuls.** Jenis turbin impuls moderen yang populer adalah turbin Pelton. Turbin Pelton sesuai digunakan pada head yang tinggi dengan satu atau lebih jet nozel yang membentur sudu-sudu yang berbentuk mangkuk dari sisi masuk ke sisi keluar. Turbin Pelton dapat bekerja pada kecepatan alir spesifik yang rendah. Keuntungan lain dari turbin Pelton adalah dapat beroperasi dengan dengan efisiensi yang relatif konstan pada beban yang berubah-ubah. Hal ini disebabkan katup jarum pengatur dapat menghasilkan debit yang bervariasi pada kecepatan jet yang tetap, sehingga kecepatan relatif pada seksi masuk dan keluar tidak berubah.

#### **B. Berdasarkan Head dan Kapasitas Aliran**

Head turbin dan kapasitas aliran menjadi faktor yang mempengaruhi ukuran roda turbin, sudu turbin beserta kelengkungannya. Semakin rendah tinggi air jatuh maka semakin sedikit kelengkungan sudu yang diperlukannya.

#### **C. Berdasarkan Kecepatan Spesifik**

Kecepatan spesifik fluida digunakan sebagai batasan untuk membedakan jenis roda turbin dan digunakan sebagai besaran yang penting dalam perencanaan disain turbin. Roda turbin yang bekerja pada tinggi air jatuh yang berbeda dan kapasitas air yang berbeda, serta bekerja pada putaran yang telah ditentukan, maka turbin tersebut mempunyai geometri yang serupa. Ukuran dimensi pokok, diameter roda turbin dan lebarnya berbeda. Tetapi bentuk sudu, sudut sudu pengarah dan perbandingan diameter roda adalah sama.

#### **2.1.2 Jenis Turbin Air**

Pembangkit Listrik Tenaga Air atau PLTA mempunyai beberapa jenis turbin penggerakannya. Berikut adalah beberapa jenis turbin air yang populer digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik

#### **A. Turbin Francis**

Turbin Francis yaitu jenis turbin yang mempunyai tiga bagian utama, yaitu rumah turbin (*casing*), sudu gerak (*runner*) dan sudu pengarah (*nozzle*) yang mengelilingi runner. Semua bagian tersebut terbenam dalam air. Turbin Francis digunakan untuk memanfaatkan energi potensial pada ketinggian menengah dari beberapa puluh meter hingga 100 meter. Selain itu turbin Francis dapat menghasilkan kecepatan putar poros yang tinggi yang nantinya digunakan untuk menggerakkan generator.

#### **B. Turbin Kaplan**

Turbin Kaplan adalah jenis turbin air jenis propeler yang memiliki sudu yang dapat diatur. Turbin Kaplan dikembangkan oleh Profesor Viktor Kaplan dari Austria yang mengkombinasikan pengaturan secara otomatis pada baling-balingnya. Turbin Kaplan merupakan pengembangan dari turbin Francis dan dapat menggunakan head yang lebih rendah berkisar antara 10 sampai dengan 70 meter. Daya keluaran yang dihasilkan dapat mencapai 5 sampai dengan 200 MW. Daya sebesar ini tidak dapat dicapai oleh turbin Francis.

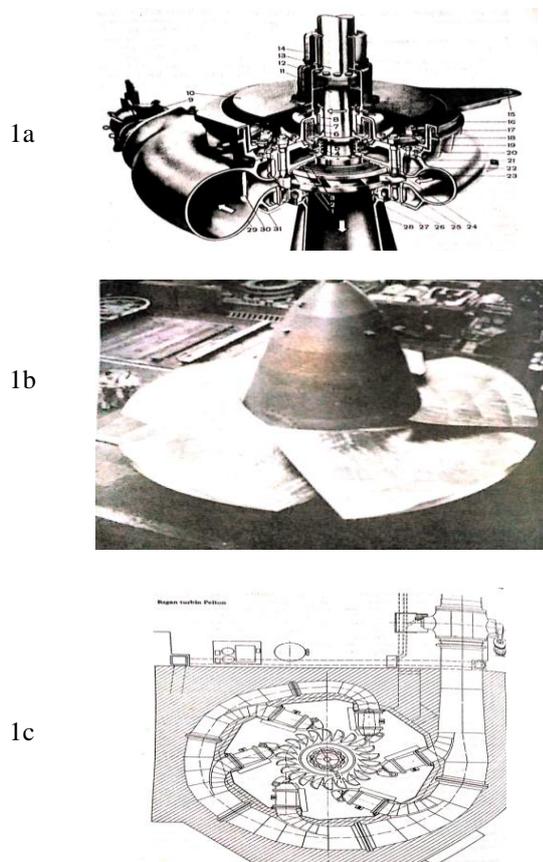
Turbin Kaplan termasuk turbin reaksi aliran dalam. Artinya bahwa pada turbin ini perubahan tekanan fluida bekerja ketika fluid bergerak menubruk dinding turbin sehingga menghasilkan energi.

#### **C. Turbin Pelton**

Turbin Pelton adalah salah satu jenis turbin impuls yang memanfaatkan ketinggian *head* sebagai parameter utama disainnya. Komponen turbin Pelton secara umum dapat digolongkan menjadi dua, yaitu sistem pemipaan dan sistem mekanik. Sistem pemipaan merupakan konsep pemipaan terintegrasi yang berfungsi untuk mengalirkan aliran air ke sistem mekanik turbin Pelton, sehingga dapat menghasilkan gaya dorong fluida yang diinginkan.

Secara umum komponen sistem pemipaan terdiri dari jaringan pipa, katup pengatur aliran fluida, nosel dan pengukur *aliran* atau flow meter. Untuk sistem mekanik terdiri dari bucket, wheel runner, poros, bantalan dan sistem transmisi ke generator listrik. Bucket merupakan komponen berbentuk mangkuk ganda simetris dengan bagian punggung terbelah untuk

membagi jet menjadi dua paruh yang sama. Sehingga dengan geometri seperti ini akan terjadi gaya impuls. Wheel runner atau roda jalan adalah komponen penyangga bucket dan sekaligus sebagai penerus roda putar dan daya dari bucket ke poros. Poros dan bantalan merupakan dua jenis komponen yang saling berpasangan. Poros berfungsi untuk meneruskan putaran dari wheel runner ke generator listrik. Sementara bantalan berfungsi untuk menumpu poros agar dapat berputar dengan stabil. Gambar 1 berikut adalah jenis turbin air yang populer digunakan.



**Gambar 1** : (a) Turbin Francis, (b) Turbin Kaplan, (c) Turbin Pelton<sup>[1]</sup>

### 3. Metode Penelitian

#### 3.1. Kerangka Pemikiran

Air menjadi salah satu potensi sumber energi untuk membangkitkan listrik. Pemanfaatan energi air dapat diperoleh dari beda ketinggian atau head dan beda kecepatan alir. Beda ketinggian akan menghasilkan energi potensial dan beda kecepatan alir akan menghasilkan energi kinetik. Dengan menggunakan mesin konversi energi berbentuk

turbin, maka energi tersebut dapat dikonversikan menjadi energi listrik yang nantinya akan dimanfaatkan oleh masyarakat atau industri melewati sistem jaringan listrik. Setidaknya ada tiga jenis turbin yang populer digunakan saat ini, adalah turbin Francis, turbin Kaplan dan turbin Pelton. Pada intinya komponen utama yang terdapat pada turbin-turbin tersebut adalah rumah turbin, sudu-sudu atau blades dan nosel. Selain itu ditunjang dengan sistem pemipaan, katup kontrol generator listrik.

Prinsip yang digunakan dalam sistem pembangkit ini adalah volume kendali pada aliran fluida. Teori ini dikenal dengan Prinsip Bernoulli, yang didalamnya terdapat beberapa variabel, yaitu kecepatan alir fluida, debit, laju aliran massa, gaya dorong fluida. Variabel-variabel tersebut menjadi penentu untuk menghasilkan energi untuk memutar sudu-sudu pada turbin. Selanjutnya poros turbin dihubungkan dengan generator listrik untuk menghasilkan energi listrik yang siap didistribusikan ke konsumen. Variabel-variabel tersebut di atas merepresentasikan indikator karakteristik turbin dan indikator kinerja dinyatakan dalam efisiensi turbin.

#### 3.2. Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Tipe Pelton

Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro tipe Pelton yang ada di laboratorium konversi energi STT YBSI merupakan fasilitas untuk praktikum dan penelitian serta pengembangan mesin konversi energi, khususnya pembangkit listrik skala mikro. Simulator tersebut dirancang dan dibuat oleh mahasiswa Jurusan Teknik Mesin STT YBSI dibawah bimbingan dosen. Rancangan dasar dari simulator ini dibuat sedemikian rupa agar mendekati turbin Pelton yang sebenarnya, terutama rancangan *bucket* dan *wheel runner*-nya.

Secara umum simulator ini terdiri dari sistem mekanik dan sistem perpipaan. Komponen utama sistem mekanik terdiri dari bucket, wheel runner, poros, bantalan, puli, sabuk dan generator listrik DC 30 Volt. Sementara sistem perpipaan terdiri dari pompa air kapasitas 125 Watt sebagai pendorong air, pipa PVC diameter 1 inci, pressure gage, nosel, katup dan bak penampung air.

### 3.2.2. Prinsip Kerja Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Tipe Pelton

Prinsip kerja simulator pembangkit listrik tenaga mikrohidro tipe Pelton yang berada di laboratorium mesin konversi energi STT YBSI ini dapat beroperasi berdasarkan adanya laju aliran air. Laju aliran air sebagai fluida kerja dihasilkan oleh tekanan pompa air. Pompa air mempunyai spesifikasi model PS-128 BIT, debit sebesar 10 – 18 liter/menit, head maksimum 9 meter dan diameter lubang keluar adalah 1 inci.

Pompa air dihubungkan dengan pipa berdiameter 1 inci yang didisain sedemikian rupa membentuk tekukan dengan sudut  $90^0$ . Pada pipa dipasangkan sebuah pressure gage untuk mengukur tekanan kerja fluida air. Selain itu dipasangkan juga sebuah katup untuk mengatur besar debit fluida kerja. Pada ujung pipa dipasangkan sebuah nosel dengan diameter keluaran 12 mm. Dengan demikian aliran fluida pada ujung nosel akan mengalami kenaikan kecepatan alir dan tekanan.

Beda tekanan mengakibatkan momentum dan dimanfaatkan untuk memutar *bucket* dan *wheel runner*. Putaran *wheel runner* akan diteruskan ke poros turbin dan generator listrik. Sehingga dari generator listrik akan menghasilkan tegangan listrik DC.

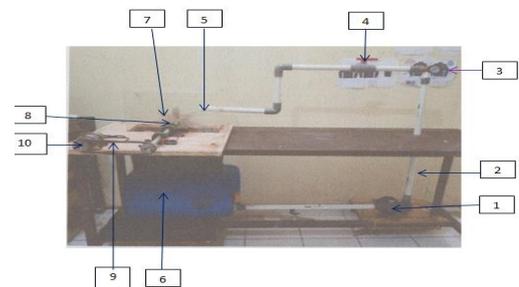
### 3.2.3. Komponen Utama Simulator PLTMH Tipe Pelton

Komponen utama simulator PLTMH Tipe Pelton yang berada di laboratorium Mesin Konversi Energi STT YBSI adalah sebagai berikut :

1. Pompa Air. Pompa air yang digunakan mempunyai spesifikasi model PS-128BIT setara 125 Watt dengan debit Q sebesar 10-18 liter per menit, dengan diameter pipa hisap dan dorong sebesar 1 inci. Pompa air ini berfungsi untuk menghasilkan aliran fluida air dengan debit dan tekanan tertentu.
2. Sistem pemipaan. Sistem pemipaan ini menggunakan pipa PVC dengan diameter nominal 1 inci.
3. *Pressure Gauge*. *Pressure gauge* ini berfungsi untuk mengukur tekanan fluida air dalam pipa. Tekanan kerja dihasilkan oleh pompa.

4. Katup. Katup dipasang pada sistem pemipaan dengan fungsi untuk mengatur debit fluida air.
5. Nosel. Nosel yang digunakan terbuat dari bahan teflon dengan diameter dalam sebesar 12 mm.
6. Bak penampung air. Bak penampung air berfungsi untuk menampung air yang dibuat secara bersirkulasi.
7. Sudu turbin. Sudu turbin ini berbentuk bucket dengan jumlah 8 buah. *Bucket* ini dirancang sedemikian rupa sehingga mampu menampung air dalam periode waktu tertentu dan menghasilkan energi.
8. *Wheel runner*. *Wheel runner* berfungsi sebagai tempat kedudukan bucket. Diameter *wheel runner* adalah 125 mm.
9. Poros dan puli. Komponen poros dan puli berfungsi untuk meneruskan putaran. Kedua komponen ini terbuat dari aluminium.
10. Generator listrik arus DC. Generator listrik ini berfungsi untuk membangkitkan arus listrik DC.

Berikut ini adalah gambar simulator PLTMH tipe Pelton :



**Gambar 2 :** Simulator PLTMH Tipe Pelton di Laboratorium MKE STT YBSI <sup>[5]</sup>

### 3.3. Metode

Metode penelitian yang digunakan pada analisis ini penggabungan tiga disiplin ilmu, yaitu :

1. Dinamika fluida dengan menerapkan Hukum Bernoulli pada volume kendali <sup>[8]</sup>.
2. Sistem mekanik dengan menitikberatkan pada hubungan daya, torsi dan gaya <sup>[2]</sup>.
3. Kelistrikan dengan menerapkan Hukum Ohm dengan variabel tegangan, arus dan daya listrik <sup>[3]</sup>.
4. Analisis kinerja turbin yang dinyatakan dengan efisiensi turbin.

Untuk penjelasannya dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Volume kendali pada Hukum Bernoulli :  
 Aliran fluida kerja yang dihasilkan oleh pompa dalam pipa akan menghasilkan debit dan kecepatan alir fluida. Dari variabel ini akan didapatkan hubungan sebagai berikut :

$$Q = v \cdot A \dots (1)$$

Keterangan :

Q = debit aliran fluida (m<sup>3</sup>/s)

v = kecepatan alir fluida (m/s)

A = luas penampang pipa (m<sup>2</sup>)

Pada fluida yang mengalir akan menghasilkan fluks aliran massa dengan hubungan antar variabel sebagai berikut :

$$\dot{m} = \frac{m}{t} \dots (2)$$

atau

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A \dots (3)$$

Keterangan :

$\dot{m}$  = laju aliran massa (kg/s)

m = massa fluida (kg)

t = waktu (s)

$\rho$  = massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)

Aliran fluida pada pipa akan menghasilkan gaya dorong F sebagai berikut :

$$F = \dot{m} \cdot v \dots (4)$$

Keterangan :

F = Gaya akibat aliran fluida (N)

$\dot{m}$  = laju aliran massa (kg/s)

V = kecepatan alir fluida (m/s)

2. Sistem mekanik<sup>[7]</sup> :

Didalam sistem mekanik ini mencakup *bucket*, *wheel runner* dan poros. Daya pada mekanik turbin dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P = T \cdot \omega \dots (5)$$

Keterangan :

P = Daya mekanik (Watt)

T = torsi pada poros turbin (Nm)

$\omega$  = kecepatan sudut (radian/s)

3. Sistem pembangkit listrik:

Sistem pembangkit listrik pada simulator ini menggunakan generator listrik arus DC kapasitas maksimum 30 Watt. Variabel yang dapat dihitung adalah sebagai berikut:

$$E = V \cdot I \dots (6)$$

Keterangan :

E = daya listrik yang dibangkitkan oleh generator listrik (Watt)

V = tegangan listik DC (Volt)

I = arus listrik (Ampere)

4. Efisiensi Turbin

Efisien turbin merupakan indikator utama kinerja simulator PLTMH Pelton. Dalam sebuah sistem, tidak semua energi dapat dimanfaatkan secara penuh 100%. Ada sebagian yang terbuang keluar dari sistem atau disebut dengan rugi-rugi. Efisiensi turbin dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{\text{Daya keluaran}}{\text{Daya masukan}} \times 100\% \dots (7)$$

Keterangan :

Daya keluaran adalah daya yang dihasilkan oleh generator listrik dalam Watt. Sementara daya masukan adalah daya yang dihasilkan oleh sistem mekanik dalam Watt.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Tahap awal dalam penelitian ini adalah melakukan pengujian fungsi terhadap semua komponen. Dalam pelaksanaan pengujian didapatkan hasil bahwa semua komponen dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan disain awal.

Tahap selanjutnya adalah pengambilan data untuk mengetahui karakteristik dari simulator ini. Data yang diambil mengacu pada metode penelitian. Data yang diambil adalah sebagai berikut :

1. Debit aliran air Q, kecepatan alir air v dan laju aliran massa air  $\dot{m}$ . Data ini diambil dengan cara menimbang massa air yang keluar dari nosel pada waktu tertentu. Alat yang digunakan adalah timbangan digital dan stop watch.
2. Gaya dorong air F. Untuk mendapatkan gaya dorong F dapat diperoleh dengan menerapkan Persamaan 4.
3. Putaran poros turbin n dan kecepatan sudut  $\omega$ . Putaran poros turbin diukur dengan takometer digital dan hasilnya dikonversikan menjadi kecepatan sudut  $\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$  rad/s
4. Torsi pada poros turbin dapat diperoleh dengan mengalikan F dengan diameter lingkaran bucket dibagi dua.
5. Daya mekanik turbin P dapat diketahui dengan menerapkan Persamaan 5.
6. Tegangan listrik V dan arus listrik A diukur dengan alat AVO meter.

7. Daya listrik E dapat diketahui dengan menerapkan Persamaan 6.
8. Efisiensi turbin  $\eta_T$  dapat dihitung dengan membagi daya listrik dengan daya mekanik sesuai dengan Persamaan 7.

Pengujian dilakukan pada 9 variasi kondisi bukaan katup. Namun pada kondisi ke 7, 8 dan 9 turbin tidak mampu berputar karena gaya dorong air F terlalu kecil. Gaya dorong fluida air yang terlalu kecil tidak mampu memutar *bucket* atau sudu-sudu turbin. Pada saat pengujian berlangsung diberi beban lampu DC 1,5 sebanyak 2 buah dipasang seri. Tabel-tabel berikut adalah hasil rangkuman pengujian :

Tabel 1: Data Hasil Uji Aliran Fluida

No	P gauge (Pa)	$\dot{m}$ (kg/s)	v (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
1	0,25x10 <sup>5</sup>	0,343	3,043	<b>3,440 x10<sup>-4</sup></b>
2	0,50x10 <sup>5</sup>	0,315	2,792	3,156 x10 <sup>-4</sup>
3	0,75x10 <sup>5</sup>	0,289	2,561	2,895 x10 <sup>-4</sup>
4	1,00x10 <sup>5</sup>	0,265	2,354	2,661 x10 <sup>-4</sup>
5	1,20x10 <sup>5</sup>	0,224	1,991	2,251 x10 <sup>-4</sup>
6	1,4x10 <sup>5</sup>	0,189	1,861	1,900 x10 <sup>-4</sup>

Tabel 2 :

Data Hasil Uji Sistem Mekanik Simulator PLTMH Tipe Pelton

No	F air (N)	Torsi turbin (Nm)	$\omega$ poros turbin (rad/s)	P turbin (Watt)
1	1,373	0,085	23,968	<b>2,037</b>
2	1,044	0,065	18,034	1,172
3	0,879	0,054	15,406	0,832
4	0,740	0,046	12,371	0,569
5	0,625	0,039	9,069	0,354
6	0,447	0,027	6,070	0,164

Tabel 3 :

Data Hasil Uji Generator Listrik Simulator PLTMH Tipe Pelton

No	V generator (Volt)	Arus listrik A (Ampere)	E generator (Watt)
1	2,31	0,61	<b>1,409</b>
2	1,66	0,48	0,796
3	1,4	0,39	0,546
4	1,29	0,35	0,451

5	0,83	0,22	0,182
6	0,61	0,18	0,109

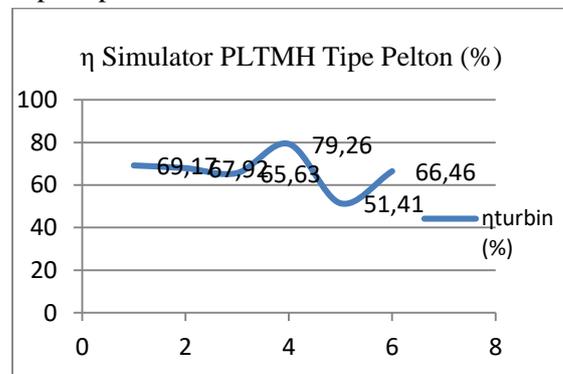
Dari tabel hasil pengambilan data selama pengujian, maka dapat dihitung efisiensi total dari sistem simulator PLTMH tipe Pelton, yaitu dengan membagi antara daya keluaran listrik dari generator listrik (E) dengan daya masukan sistem mekanik turbin (P) dikalikan 100%. Nilai efisiensi turbin adalah sebagai berikut :

Tabel 4

Data Efisiensi Simulator PLTMH Tipe Pelton

No	Daya masukan P turbin (Watt)	Daya keluaran E generator (Watt)	$\eta_{\text{turbin}}$ (%)
1	2,037	1,409	69,17
2	1,172	0,796	67,92
3	0,832	0,546	65,63
4	0,569	0,451	<b>79,26</b>
5	0,354	0,182	51,41
6	0,164	0,109	66,46

Bila digambarkan secara grafis, maka efisiensi simulator PLTMH Tipe Pelton akan terlihat seperti pada kurva berikut ini :



Gambar 3:

Kurva Efisiensi Simulator PLTMH Tipe Pelton

Berdasarkan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian, terlihat variasi variabel-variabel yang terukur selama 6 kondisi pengujian. Daya keluaran dari generator listrik maksimum sebesar 1,409 Watt pada kondisi 1 dengan tekanan P gauge 0,25x10<sup>5</sup> Pa. Sementara efisiensi turbin maksimum yang dihasilkan sebesar 79,26% pada kondisi 4 dengan P gauge sebesar 1,00x10<sup>5</sup> Pa dengan daya listrik sebesar 0,451 Watt

Berdasarkan kurva efisiensi turbin belum terlihat secara nyata efisiensi puncaknya, karena kurva masih cenderung fluktuatif. Namun pada kondisi ini diasumsikan efisiensi turbin puncaknya adalah 79,26%. Untuk daya listrik yang dihasilkan relatif sangat kecil hanya 1,409 Watt dengan tegangan DC 2,31 Volt dan arus 0,61 Ampere. Tipe generator listrik yang digunakan pada simulator ini mempunyai spesifikasi tegangan maksimum 30 Volt DC pada putaran 1500 rpm. Oleh karena putaran turbin maksimum hanya sebesar  $n = 229$  rpm atau setara dengan  $\omega = 23,968$  rad/s, maka akibatnya daya keluaran, tegangan dan arus listrik yang dihasilkan relatif kecil. Karakter dari simulator PLTM Tipe Pelton ini adalah kecepatan putar sistem mekanik yang rendah sehingga generator listrik yang digunakan harus menyesuaikan dengan kondisi ini. Tipe generator listrik yang sesuai adalah generator kecepatan rendah atau *low speed* supaya dapat menghasilkan keluaran daya, tegangan dan arus yang lebih besar.

Sebagai bahan perbandingan dari peneliti lain yang melakukan penelitian tentang Turbin Pelton, dihasilkan efisiensi turbin optimal sebesar 78,07% dengan konstruksi elbow<sup>[4]</sup>. Hasil analisis efisiensi turbin pada kedua penelitian relatif mendekati. Dengan demikian simulator PLTMH Tipe Pelton yang berada di Laboratorium Mesin Konversi Energi STT YBSI secara teknis dapat dipertanggungjawabkan secara akademik dan dapat digunakan sebagai fasilitas praktikum dan penelitian ilmiah lanjutan.

## 5. Simpulan

Dari pembahasan yang telah diuraikan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Simulator PLTM Tipe Pelton yang berada di laboratorium mempunyai karakteristik sebagai berikut:
  - a. Karakteristik masukan : laju aliran massa fluida air maksimum  $\dot{m}$  sebesar 0,343 kg/s, kecepatan alir fluida air  $v$  sebesar 3,043 m/s, debit maksimum  $Q$  sebesar  $3,440 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s, gaya dorong air maksimum sebesar 1,373 N, torsi turbin maksimum 0,085 Nm, kecepatan sudut maksimum  $\omega$  adalah 23,968 rad/s dan daya turbin maksimum adalah 2,037 Watt.
  - b. Karakteristik keluaran : tegangan listrik yang dihasilkan maksimum 2,31 Volt DC, arus

maksimum sebesar 0,61 Ampere dan daya listrik  $E$  sebesar 1,400 Watt.

2. Kinerja PLTMH Tipe Pelton dinyatakan dalam efisiensi turbin yaitu  $\eta_T$  maksimum sebesar 79,26%.

## Daftar Pustaka

- [1] Dietzel, Fritz, 1993. Turbin Pompa Dan Kompresor, Cetakan Keempat, Penerbit Erlangga.
- [2] Martin, George H, 1992. Kinematika Dan Dinamika Teknik, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga.
- [3] Saefullah, Asep Dkk, 2018. Rancang Bangun Alat Praktikum Hukum Ohm Untuk Memfasilitasi Kemampuan Berpikir Tingkat Tinggi (Higher Order Thinking Skills), Gravity, Volume 4 Nomor 2, e-ISSN 2528-1976, Untirta.
- [4] Sahid, 2010. Kajian Eksperimental Optimasi Tipe Lekuk Sudu Turbin Pelton Sudu Basis Konstruksi Elbow Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi, Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- [5] Sapari, Deni Rahmat, 2019. Rancang Bangun Sistem Mekanik Turbin Pelton Untuk Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, Skripsi, Prodi Teknik Mesin STT YBSI Tasikmalaya.
- [6] Solihin, Jajang, 2019. Rancang Bangun Sistem Perpipaan Turbin Pelton Untuk Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, Skripsi, Prodi Teknik Mesin STT YBSI Tasikmalaya.
- [7] Sularso & Suga, Kiyokatsu. 1994. Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin, Cetakan Kedelapan, Penerbit PT Pradnya Paramita.
- [8] White, Frank M, 1986. Mekanika Fluida, Edisi Kedua Jilid 1, Penerbit Erlangga

