

# KARAKTERISTIK KINERJA TURBIN NEST-LIE PADA PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO

I Nyoman Wira Mastika<sup>1</sup>, Lie Jasa<sup>2</sup>, Ida Bagus Gede Manuaba<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali.

Email : mastikawira@gmail.com<sup>1</sup> , liejasa@unud.ac.id, ibgmanuaba@unud.ac.id

## ABSTRAK

Dalam penelitian ini penulis menggunakan prototipe (PLTMH) sebagai media yang telah dirancang sedemikian rupa untuk menyelesaikan tugas akhir dan meneliti turbin yang baru di rancang untuk mentukan karakteristik kinerja yang lebih maksimal dari turbin lain. Air digunakan sebagai penggerak atau pemutar turbin sehingga setelah di cople dengan generator otomatis turbin dan generator akan berputar. Tentunya pada daerah yang mempunyai kapasitas listrik yang kurang maksimal biasanya dibangun (PLTMH). Daerah yang dipilih untuk membangun (PLTMH), di survey potensi jatuhnya air. Parameter desain yang berpengaruh terhadap turbin pembangkit listrik mikro hidro (PLTMH) yaitu, bentuk sudu, jumlah sudu, rpm, lebar turbin, diameter turbin sudut nozzle dan posisi nozzle. Turbin nest-lie adalah salah satu turbin yang mempunyai sudu berbentuk segitiga, dengan jumlah sudu sebanyak 16 buah, dan diameter turbin sebesar 50 cm. Metode dalam penelitian ini melalui metode observasi dengan melakukan pengamatan serta pengujian secara langsung dan metode kepustakaan dengan mempelajari literatur – literatur dari beberapa referensi. Turbin nest-lie menghasilkan nilai torsi 0,0076 Nm pada posisi nozzle 45<sup>0</sup> dan sudut nozzle 10<sup>0</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa turbin nest-lie memiliki karakteristik yang baik daripada turbin yang lain. **Kata Kunci** : PLTMH, Debit Air, Tekanan Air, Torsi

## Abstract

Water energy is energy that comes from water flow which is used to produce electrical energy by using a flow of water that flows to turn a turbine, then the turbine is connected to a generator. Micro-hydro power plants are usually built in areas that have the potential for generating electricity in a small capacity. The choice of location of a micro hydro power plant is largely determined by the potential for water fall or often called a waterfall. Parameters that can be changed to improve turbine efficiency are the shape of the turbine blade, turbine blade volume, nozzle angle, and nozzle position. The method used is the method of observation by observing and testing directly and the method of literature by studying the literature - literature from several references. Performance characteristics of nest-lie turbines produce higher torque values than triangular turbine blades. Nest-lie turbine produces a torque value of 0.0076 Nm at position 45<sup>0</sup> nozzle and nozzle angle 100. This shows that the nest-lie turbine has characteristics that are better than a triangular turbine blade.

**Key Word** : PLTMH, Water Discharge, Water Pressure, Torque

## 1. PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia yang berada di daerah ber-iklim tropis hanya mengenal musim hujan dan musim kemarau. Pada musim hujan aliran sungai melimpah sehingga menyebabkan banjir, namun ketika musim kemarau air sungai surut sehingga menyebabkan kekeringan. Diantara semua sumber energi terbarukan, energi air sangat dapat diandalkan dan biayanya yang terjangkau untuk sebuah sumber energi terbarukan. Indonesia termasuk wilayah yang memiliki sumber energi terbarukan yang berpotensi antara lain sumber energi tenaga air lebih khusus lagi adalah PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro).

Parameter desain yang berpengaruh terhadap pengoprasian pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) adalah jumlah sudu, diameter turbin, bentuk sudu, lebar turbin, rotasi per menit, sudut *nozzle*, dan posisi *nozzle*. Parameter yang dapat diubah untuk meningkatkan efisiensi turbin adalah bentuk sudu turbin, volume sudu turbin, sudut *nozzle*, dan posisi *nozzle*. Jumlah sudu turbin NEST-LIE sebanyak 16 sudu dan diameter turbin sebesar 50 cm.

## 2 Tinjauan Pustaka

### 2.1 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

Pembangkit Listrik tenaga Mikro Hidro (PLTMH) yaitu salah satu sumber pembangkit energi alternatif. Pada umumnya PLTMH adalah pembangkit listrik tenaga air jenis "run-of-river" dimana *head* diperoleh tidak dengan cara membangun bendungan besar, tetapi dengan mengalihkan sebagian aliran air sungai melalui pipa atau saluran untuk turbin ke salah satu sisi sungai dan menjatuhkannya lagi ke sungai yang sama. Jumlah aliran air yang dialihkan disesuaikan dengan kebutuhan yang diperlukan. PLTMH merupakan tipe terkecil dari pembangkit listrik tenaga air dan merupakan suatu instalasi pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas

rendah. Dimana daya listrik yang dihasilkan antara 5 sampai 100 kW.

Dalam pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik maka perlu dilakukan identifikasi dengan tepat mengenai potensi dari suatu wilayah atau tempat dan merancang sistem pembangkit listrik yang sesuai dengan kondisi lingkungan tersebut. Dengan identifikasi dan rancangan yang baik maka pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) tidak akan menyebabkan gangguan pada aliran sungai ataupun dampak yang diakibatkan oleh pembangkit listrik tenaga mikro hidro dapat diminimalkan sehingga dapat hidup berdampingan dengan ekologi pada lokasi PLTMH

#### A. Komponen - Komponen PLTMH

*Pipa pesat (penstock)* merupakan pipa yang telah dimanfaatkan untuk mengalirkan air dari kolam penampung menuju turbin dan dapat berfungsi menahan tekanan air yang tinggi. Agar mendapatkan diameter pipa pesat dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$d = 2,68 \times \left( \frac{n^2 \times Q^2 \times L}{H} \right)^{0,1875} \quad (1)$$

1) *Governor*: yaitu alat yang digunakan sebagai mengatur putaran angine agar konstan. Model *governor* dapat di kelompokkan dalam beberapa jenis dan bentuk, seperti mekanik hidrolik, elektro mekanik, dan hidrolik *governor*. *Governor* dipilih harus sesuai dengan ukuran pipa (*penstock*) yang dipasang. *governor* yang ada selama ini dilakukan dengan pengaturan secara manual oleh seorang operator.

2) *Governor*: yaitu alat yang digunakan sebagai mengatur putaran angine agar konstan. Model *governor* dapat di kelompokkan dalam beberapa jenis dan bentuk, seperti mekanik hidrolik, elektro mekanik, dan hidrolik *governor*. *Governor* dipilih harus sesuai dengan ukuran pipa (*penstock*) yang dipasang. *governor* yang ada selama ini dilakukan dengan pengaturan secara manual oleh seorang operator.

3) *Turbin Air*: Turbin air yaitu suatu alat yang dapat mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Air yang mengalir dari tempat yang lebih tinggi menuju tempat yang lebih rendah, dalam hal ini air memiliki energi potensial. Besarnya tenaga air yang tersedia dari suatu sumber air bergantung pada besarnya *head* dan debit air. Total energi yang tersedia pada suatu *reservoir* air merupakan energi potensial air. Daya merupakan energi tiap satuan waktu ( $\frac{E}{t}$ ), sehingga persamaan (2) dapat dinyatakan sebagai:

$$\frac{E}{t} = \rho Qgh \dots\dots\dots(2)$$

Dengan menstutitusikan P terhadap ( $\frac{E}{t}$ ) dan menstutitusikan  $\rho Q$  terhadap ( $\frac{m}{t}$ ) maka :

$$P = \rho Qgh \dots\dots\dots(3)$$

4) *Nozzle*: alat atau perangkat yang dimanfaatkan untuk mengontrol arah atau karakteristik dari aliran air (terutama untuk meningkatkan kecepatan) saat air mengalir dan memasuki lubang dari pipa ruan. Sebuah *nozzel* biasanya berbentuk pipa berjenis tabung dari berbagai bentuk seperti luas penampang, dan dapat di manfaatkan untuk mengarahkan atau merubah aliran air, atau gas).

5) *Generator*, jika berdasarkan arus yang dihasilkan, generator AC menghasilkan arus bolak-balik (AC) dan generator DC yaitu Generator menghasilkan arus searah. Dari kedua arus bolak-balik maupun searah dapat digunakan sebagai penerangan dan alat-alat yang memerlukan energi listrik.

#### B. Jenis-jenis Turbin Air

Turbin air yang berputar dan berfungsi untuk mengubah energi kinetik dari air menjadi energi mekanis. Energi mekanis di konversi dengan generator listrik menjadi tenaga listrik. Berdasarkan prinsip kerjanya turbin di manfaatkan untuk mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanis, adapun kelompok dari turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yakni turbin reaksi dan turbin impuls masing-masing dapat dimanfaatkan untuk air yang mengalir pada head tertentu.

#### C. Alat Ukur

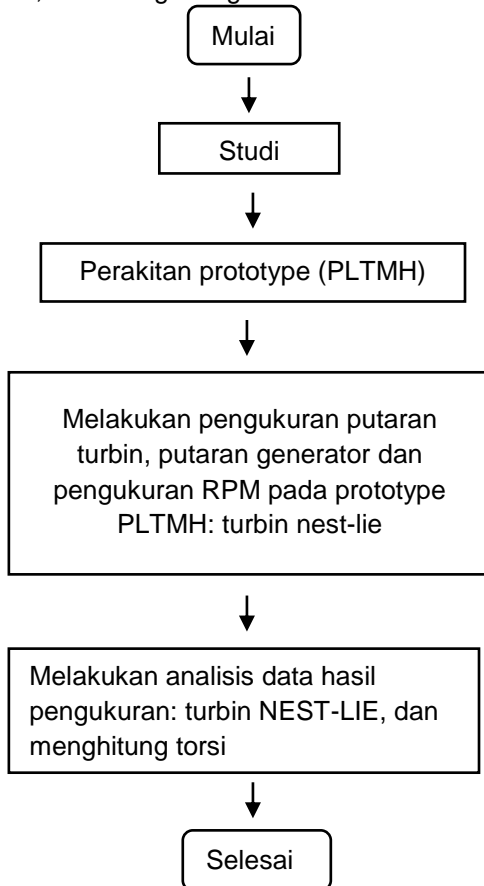
1) *Tachometer* yaitu sebuah alat pengujian yang di fungsikan sebagai pengukur kecepatan putaran dari jenis objek, biasanya pada mobil yaitu alat pengukur yang mengukur atau menghitung putaran per menit (RPM) pada saat mesin bekerja. *tachometer* berasal dari Yunani yaitu *tachos* yang berarti kecepatan dan *metron* yang berarti untuk mengukur.

2) *Manometer* yaitu sebuah alat pengujian yang difungsikan sebagai pengukur tekanan. Manometer termasuk alat pengukur yang sederhana, penelitian bisa dilakukan secara langsung dan dapat diteliti dari beberapa tekanan yang akan diukur.

3) *Multimeter* yaitu alat pengukur tegangan listrik yang di sebut dengan singkatan AVO (Ampere, Volt, Ohm) multimeter di fungsikan sebagai alat untuk mengukur tegangan (voltmeter), hambatan (ohm- meter), serta arus (amperemeter). Ada dua jenis multimeter yaitu multimeter digital dan multimeter analog.

### 3. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan ada 4 tahapan diantaranya Studi pustaka, Perakitan prototype (PLTMH), Melakukan pengukuran putaran turbin, putaran generator dan pengukuran arus, daya pada prototype (PLTMH), melakukan analisis data hasil pengukuran: turbin nest-lie, dan menghitung torsi:



Analisis perbandingan karakteristik kinerja turbin NEST-LIE pada pemodelan (PLTMH), dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Melakukan studi analisis mencari referensi – referensi atau buku – buku tentang pembangkit listrik tenaga mikro hidro.
2. Melakukan studi analisis mencari referensi – referensi atau buku – buku tentang pembangkit listrik tenaga mikro hidro.

Pada proses perakitan pemodelan (PLTMH), dalam penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut :

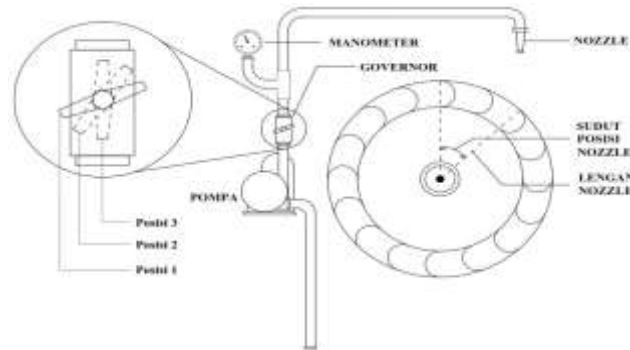
1. Merakit kincir dan pompa dengan kerangkanya sehingga menjadi satu bagian.
2. Merakit instalasi perpipaan pada pemodelan (PLTMH) yang berfungsi untuk mengalirkan air menuju turbin dan mengukur tekanan air pada pipa.
3. Memasang generator yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan dan arus.
4. Merakit *pulley* kincir dan *pulley* generator agar dapat mengukur dan mencatat putaran pada kincir dan generator.

Setelah melakukan proses perakitan, maka dapat dilakukan uji coba dan pengambilan data pada kedua jenis turbin yang dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Pengambilan data dilakukan dengan mengubah titik jatuh air pada posisi *nozzel* yaitu  $5^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ .
2. Model turbin sebanyak yaitu turbin NEST-LIE karena dalam penelitian ini bertujuan untuk menyempurnakan Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro yang ada di Laboratorium Konversi Energi dan Workshop Program Study Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana.
3. Pengukuran yang difokuskan untuk mengetahui kecepatan putaran turbin, kecepatan putaran

generator, tegangan, dan arus, sehingga dapat menghitung torsi. Analisis data hasil pengukuran untuk mendapatkan parameter – parameter turbin yang optimal Setelah mendapatkan hasil

pengukuran kecepatan putaran turbin, kecepatan putaran generator, tegangan dan arus maka, dapat di analisis karakteristik kinerja dari turbin nest-lie.



Gambar 1. Prototipe PLTMH

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Prototipe (PLTMH) Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

Pemodelan (PLTMH) yaitu pembangkit listrik yang memanfaatkan tenaga air sebagai penggerak atau pemutar turbin. Cara kerja sistem PLTMH ini diawali dengan pompa menghisap air yang terdapat pada bak, kemudian air dialirkan melalui pipa sampai ke sudu kincir hingga kincir berputar. Terjadi energi mekanik saat kincir berputar, kincir terhubung dengan pulley kincir melalui sebuah poros. Dengan sebuah belt, pulley kincir dihubungkan dengan pulley yang terhubung pada rotor generator (pulley generator).

Untuk mengukur putaran kincir dan generator dipergunakan tachometer. Sedangkan voltmeter difungsikan untuk mengukur tegangan dan arus yang dikeluarkan oleh generator. Data yang dicatat pada prototipe PLTMH) ini adalah putaran pada kincir, putaran pada generator, tegangan, arus dan daya yang dihasilkan generator agar dapat menghasilkan torsi.

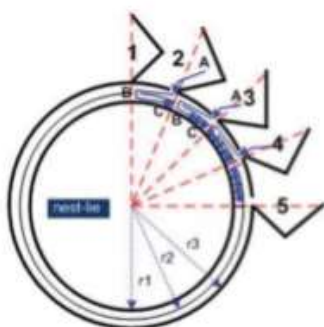
##### B. Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Putaran turbin (PLTMH), yang dicari pada penelitian ini adalah putaran kincir dan putaran generator. Putaran kincir terjadi pada saat aliran air pada prototipe pembangkit listrik tenaga mikro hidro ini mengenai turbin. Pengujian putaran kincir bertujuan untuk mengetahui putaran (rpm) kincir setelah dan sebelum dikopel dengan generator. Pada pemodelan pembangkit listrik tenaga mikro hidro ini, pengukuran putaran kincir dilakukan dengan cara menempelkan tachometer pada rotor kincir. Putaran generator terjadi pada saat pulley pada kincir dikopel dengan pulley pada generator. Pada prototipe pembangkit listrik tenaga mikro hidro ini, pengukuran putaran generator dilakukan dengan cara menempelkan tachometer pada rotor generator.

##### C. Turbin Nest-Lie

Turbin *nest-lie* adalah sudu turbin dibuat dari bahan acrilik, dirancang dengan sudu yang berbentuk segitiga, dengan jumlah sudu sebanyak 16 buah, dan diameter turbin sebesar 50 cm. Nest yang berarti sarang dan dibuat dalam bentuk lingkaran yang berada pada sisi lingkaran bagian dalam tepatnya ada pada dasar dari posisi sudu. Dengan

dirancangnyanya turbin nest-lie bertujuan agar air yang masuk melalui sudu turbin nantinya ada yang masuk kedalam lingkaran atau sarang, sehingga air menjadi terjebak didalam lingkaran dari turbin nest-lie sehingga dapat dipastikan masuknya air ke dalam lingkaran nest-lie dapat mempercepat putaran dari turbin nest-lie. (Jasa,L. 2015).



Gambar 2. Turbin Nest-Lie

Dari pengukuran yang telah dilakukan, diperoleh putaran kincir dan putaran generator pada setiap sudut posisi nozzle dan sudut nozzle pada model sudu nest-lie sesuai dengan parameter yang diukur

Tabel 1 Hasil Pengukuran Posisi Nozzle dan Sudut Nozzle jenis turbin nest-lie

| No | Posisi Nozzle | Sudut Nozzle | Putaran Kincir (rpm) | Putaran generator (rpm) |
|----|---------------|--------------|----------------------|-------------------------|
| 1  | 0°            | 0°           | 23,3                 | 183,8                   |
|    |               | 5°           | 37,2                 | 256,6                   |
|    |               | 10°          | 67,4                 | 496,4                   |
|    |               | 15°          | 94,3                 | 638,2                   |
|    |               | 20°          | 148,2                | 1143,5                  |
| 2  | 15°           | 0°           | 40,3                 | 320,1                   |
|    |               | 5°           | 54,2                 | 454,3                   |
|    |               | 10°          | 73,4                 | 531,7                   |
|    |               | 15°          | 113,1                | 884,3                   |
|    |               | 20°          | 134,9                | 1040,3                  |
| 3  | 30°           | 0°           | 53,2                 | 428,2                   |
|    |               | 5°           | 78,4                 | 678,3                   |
|    |               | 10°          | 143,5                | 1089,3                  |
| 4  | 45°           | 0°           | 73,6                 | 569,6                   |
|    |               | 5°           | 77,3                 | 676,1                   |
|    |               | 10°          | 140,4                | 1114,3                  |

1) Analisis Data Pengukuran Turbin PLTMH

Dari data hasil penelitian yang telah didapat pada parameter dari prototipe (PLTMH) ini yaitu rpm turbin dan generator dari pengaturan dan perubahan sudut posisi nozzle 0°, 15°, 30°, 45° dan sudut nozzle 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30° pada turbin sudu nest-lie terhadap parameter prototipe (PLTMH) yang dilakukan oleh penulis, sehingga dapat dilakukan analisis data pengukuran turbin PLTMH.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus dari rpm tertinggi pada turbin nest-lie

| No | Posisi Nozzle | Beban Lampu 2,5 Watt |                 |               |
|----|---------------|----------------------|-----------------|---------------|
|    |               | Sudut Nozzle         | Tegangan (Volt) | Arus (Ampere) |
| 1  | 0°            | 20°                  | 0,1357          | 0,54          |
| 2  | 15°           | 20°                  | 0,1505          | 0,75          |
| 3  | 30°           | 10°                  | 0,1362          | 0,63          |
| 4  | 45°           | 10°                  | 0,1824          | 0,84          |

Tegangan dan arus generator tertinggi pada sudu segitiga terjadi saat posisi nozzle 45° dengan sudut nozzle 10° yakni besar tegangan 0,1824V dan arus 0,84VA dan tegangan dan arus terendah pada posisi nozzle 0° dengan sudut nozzle 20° yakni besar tegangan 0,1357V dan arus 0,54VA.

D. Perhitungan Torsi Pada Pemodelan PLTMH

Pada pengujian pemodelan PLTMH telah didapatkan beberapa data hasil pengukuran yaitu kecepatan putar kincir, kecepatan putar generator, tegangan, arus, serta daya output generator. Dari data hasil yang diperoleh tersebut maka dapat dihitung besar nilai torsi generator dan torsi kincir.

1) Pada turbin nest-lie posisi nozzle 0° menghasilkan rpm tertinggi pada saat sudut nozzle 20° dengan kecepatan putaran kincir setelah dikopel adalah 159,1 rpm dan daya output 0,074 VA, maka torsi kincir adalah

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{P}{2\pi \frac{n}{60}} \\
 &= \frac{0,074}{2 * 3,14 * \frac{159,1}{60}} \\
 &= \frac{0,074}{2 * 3,14 * 2,65} \\
 &= 0,0044 Nm
 \end{aligned}$$



- 2) Pada turbin nest-lie posisi nozzle 15<sup>0</sup> menghasilkan rpm tertinggi pada saat sudut nozzle 20<sup>0</sup> dengan kecepatan putaran kincir setelah dikopel adalah 181,4 rpm dan daya output 0,113 VA, maka torsi kincir adalah

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{n}{60}}$$

$$= \frac{0,113}{2 * 3,14 * \frac{181,4}{60}}$$

$$= \frac{0,113}{2 * 3,14 * 3,02}$$

$$= 0,0059 Nm$$

- 3) Pada turbin nest-lie posisi nozzle 30<sup>0</sup> menghasilkan rpm tertinggi pada saat sudut nozzle 10<sup>0</sup> dengan kecepatan putaran kincir setelah dikopel adalah 170,2 rpm dan daya output 0,074 VA, maka torsi kincir adalah

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{n}{60}}$$

$$= \frac{0,086}{2 * 3,14 * \frac{170,2}{60}}$$

$$= \frac{0,086}{2 * 3,14 * 2,83}$$

$$= 0,0048 Nm$$

- 4) Perhitungan torsi kincir turbin nest-lie pada pemodelan PLTMH pada sudu turbin nest-lie posisi nozzle 45<sup>0</sup> menghasilkan rpm tertinggi pada saat sudut nozzle 10<sup>0</sup> dengan kecepatan putaran kincir setelah dikopel adalah 193,1 rpm dan daya output 0,154 VA, maka torsi kincir adalah

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{n}{60}}$$

$$= \frac{0,154}{2 * 3,14 * \frac{193,1}{60}}$$

$$= \frac{0,154}{2 * 3,14 * 3,21}$$

$$= 0,0076 Nm$$

## 5. KESIMPULAN

Kesimpulan dari peneitian ini adalah sebagai berikut

1. Pada sudu turbin nest-lie menghasilkan rpm yang semakin besar, seperti pada saat posisi nozzle 45<sup>0</sup> dan sudut nozzle

10<sup>0</sup> dengan 193 rpm pada putaran kincir dan 1762 rpm pada putaran generator. Pada pengujian perubahan posisi nozzle dan sudut nozzle, tegangan dan arus yang di keluarkan generator yang paling besar didapatkan pada sudu turbin nest-lie dengan posisi nozzle 45<sup>0</sup> dan sudut nozzle 10<sup>0</sup> yaitu sebesar 0,1824 Volt dan 0,84 Ampere. Nilai torsi yang dihasilkan yaitu sebesar 0,0076 Nm pada posisi nozzle 45<sup>0</sup> dan sudut nozzle 10<sup>0</sup>.

2. Karakteristik kinerja turbin nest-lie menghasilkan nilai torsi paling tinggi. Turbin nest-lie menghasilkan nilai torsi 0,0076 Nm pada posisi nozzle 45<sup>0</sup> dan sudut nozzle 10<sup>0</sup>,

## REFERENSI

- [1] Hendarto, P.A., 2012. *Pemanfaatan pemandian umum untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) menggunakan kincir tipe overshoot*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [2] Jasa,L. 2015. *Investigasi sudut Nozzel dan sudut kelengkungan sudu turbin air untuk peningkatan efisiensi mikro hidro*. (Disertasi). Surabaya : ITS.
- [3] Jasa, L., Ardana., Priyadi, A., Purnomo, M.H. 2016., *Investigate Curvature Angle of the Blade of Banki's Water Turbine Model for Improving Efficiency by Means Particle Swarm Optimization*. International Journal Of Renewable Energy Research Vol.7, No.1, 2017.
- [4] Mafruddin. 2016., *"Studi Eksperimental Sudut Nosel dan Sudut Sudu Terhadap Kinerja Turbin Cross-Flow Sebagai PLTMH di Desa Bumi Nabung Timur"*

(*tugas akhir*). Bandar  
Lampung: Universitas  
Lampung.

- [5] Putro, Y.S.S., Juwono, P.T., Wicaksono, P.H. 2014., "*Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Di Sungai Atei Desa Tumbang Atei Kecamatan Sanamang Mantikai Kabupaten Katingan Provinsi Kalimantan Tengah*". Malang: Universitas Brawijaya.
- [6] Riung, G.R. (2019) "*Analisi dan Perbandingan Segitiga Kerja: Turbin Sudu Setengah Lingkaran, Sudu Segitiga, Sudu Sirip, untuk menghasilkan RPM Tertinggi*" (*tugas akhir*). Denpasar: Universitas Udayana.
- [7] Saputra, B. 2016 "*Rancang Bangun Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan Kincir Overshot Wheel*" (*tugas akhir*). Denpasar: Universitas Udayana.
- [8] Weking, *et al*, 2015. *Modul Simulasi Kontrol Hidro Power Untuk Praktikum Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Udayana*.