

# PENGARUH JUMLAH SUDU PADA *PROTOTYPE* PLTMH DENGAN MENGGUNAKAN TURBIN PELTON TERHADAP EFISIENSI YANG DIHASILKAN

I Gusti Ngurah Saputra<sup>1</sup>, Lie Jasa<sup>2</sup>, I Wayan Arta Wijaya<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

<sup>2,3</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jalan Raya Kampus Unud, Jimbaran, Bali

Email\_igstngurahsaputra@gmail.com<sup>1</sup>, Email\_liejasa@unud.ac.id<sup>2</sup>,

Email\_artawijaya@ee.unud.ac.id<sup>3</sup>

## ABSTRAK

Turbin merupakan komponen yang berperan penting sebagai pengkonversi energi untuk bisa membangkitkan energi listrik dalam Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Turbin yang digunakan dalam *prototype* ini adalah turbin Pelton. Turbin Pelton adalah jenis turbin impuls yang terdiri dari sudu berbentuk dua buah mangkok sebagai awal penerima pancaran air dari nozel dengan memanfaatkan jatuh air (*head*) yang tinggi walaupun debit airnya kecil. Pada penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh jumlah sudu terhadap putaran yang dihasilkan oleh turbin Pelton dan generator sehingga dapat dilihat tegangan, arus, daya yang dihasilkan yang mempengaruhi nilai torsi dan efisiensi yang didapat pada *prototype* PLTMH. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh *runner* turbin dengan jumlah sudu yang dapat menghasilkan efisiensi tertinggi, maka dibuat variasi *runner* turbin pelton dengan parameter jumlah sudu yang berbeda dari *runner* dengan jumlah sudu sesuai perhitungan yang didapat dari rujukan. Variasi jumlah sudu yang digunakan yaitu 14 sudu, 16 sudu, 18 sudu, 20 sudu, dan 22 sudu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan jumlah sudu mulai dari yang terkecil menyebabkan kinerja PLTMH semakin meningkat, *output* tertinggi yang diperoleh yaitu menggunakan *runner* turbin dengan jumlah sudu 22 yang menghasilkan Putaran Turbin sebesar 852,2 rpm sebelum dikopel generator dan 497,2 rpm setelah dikopel generator, Putaran Generator sebesar 2133,8 rpm, Tegangan Generator sebesar 15,72 Volt, Daya Generator sebesar 33,7 Watt, dan Torsi sebesar 0,6 Nm. Nilai Efisiensi menggunakan *runner* dengan jumlah sudu 22 yaitu sebesar 4,54%. Nilai efisiensi yang dihasilkan sangat rendah karena *prototype* PLTMH dalam pembangkitannya kurang efektif dan menggunakan generator DC kapasitas pembangkitan yang kecil, sehingga tidak bisa membangkitkan daya sebesar daya hidrolis.

**Kata Kunci** : *Prototype* PLTMH, Turbin Pelton, Jumlah Sudu, Efisiensi

## ABSTRACT

*Turbine is a component that plays an important role as an energy converter to be able to generate electricity in the Micro Hydro Power Plant (MHP). The turbine used in this prototype is a Pelton turbine. The Pelton turbine is a type of impulse turbine consisting of two blades as a prelude receiver for water jets from the nozzles by utilizing high water heads even though the water discharge is small. This research will discuss the effect of the number of blades on the rotation produced by the Pelton turbine and generator so that it can be seen the voltage, current, power produced that affects the torque value and efficiency obtained on the prototype MHP. This study aims to obtain a turbine runner with the number of blades that can produce the highest efficiency, then a variation of the pelton turbine runner is made with different number of blade parameters from the runner with the number of blades according to the calculation obtained from the reference. Variations in the number of blades used are 14 blades, 16 blades, 18 blades, 20 blades, and 22 blades. The results showed that the addition of the number of blades starting from the smallest caused the performance of MHP to increase, the highest output obtained was using a turbine runner with a number of 22 blades which resulted in a turbine rotation of 852.2 rpm before the generator coupled and 497.2 rpm after coupling the generator. Generator rotation is 2133.8 rpm, Generator Voltage is 15.72 volts, Generator power is 33.7 Watts and Torque is 0.6 Nm. The efficiency value using a runner with a number of blades 22 is 4.54%. The resulting efficiency value is very low because the MHP prototype in*

*generation is less effective and uses a small generation capacity DC generator, so it cannot generate power as much as hydraulic power.*

**Key Words :** MHP Prototype, Pelton Turbine, Number of Blades, Efficiency

## 1. PENDAHULUAN

Bali pulau kecil dengan lahan seluas 5.600 km<sup>2</sup> dan jumlah penduduk hampir empat juta jiwa memiliki berbagai sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik, salah satunya adalah mikrohidro dengan besar pembangkitan yang sudah beroperasi sekitar 45 kW [1]. Keadaan geografis di Bali khususnya yang banyak memiliki potensi air dengan *head* yang memadai untuk pembangkitan berskala kecil, maka penerapan PLTMH sangat cocok diterapkan.

PLTMH merupakan salah satu dari berbagai jenis pengkonversi energi terbarukan yang menghasilkan energi bersih dan ramah lingkungan. Selama lima tahun kedepan direncanakan dikembangkan dua mikrohidro di Bali masing-masing berkapasitas 25 kW [2]. Kapasitas PLTMH tidak melebihi dari 100 kW yang memanfaatkan aliran air untuk menghasilkan energi listrik dan dikembangkan di daerah yang sebagian penduduknya masih belum memiliki akses listrik [3].

PLTMH memiliki tiga komponen utama yaitu air sebagai sumber energi kinetik, turbin, dan generator. Dari komponen itu, yang berperan penting sebagai pengkonversi energi untuk bisa membangkitkan energi listrik salah satunya yaitu turbin. Turbin berfungsi untuk mengubah energi kinetik dari air menjadi energi mekanik untuk dapat memutar generator. Ada beberapa jenis turbin yang bisa diaplikasikan pada PLTMH, salah satunya adalah turbin pelton.

Turbin pelton adalah jenis turbin impuls yang memanfaatkan jatuh air (*head*) yang tinggi walaupun dengan debit air yang kecil, karena jenis turbin ini menggunakan nozel dalam bentuk pancaran air dan diterima oleh sudu-sudu turbin sehingga dapat berputar yang nantinya akan memutar poros generator sehingga menghasilkan energi listrik. Sudu berbentuk dua buah mangkok sebagai awal penerima pancaran air dari nozel. Pengaplikasian dengan turbin pelton menghasilkan daya yang besar dari pembangkitan dan menggunakan konstruksi yang sederhana. Selain itu, mudah dalam perawatannya dan

teknologi yang digunakan sederhana sehingga mudah untuk diterapkan didaerah terisolir [4].

Parameter - parameter yang berpengaruh pada kinerja turbin pelton yaitu seperti ketinggian jatuh air (*head*), kecepatan aliran, jumlah nozel, jarak semprot nozel dan jumlah sudu. Penelitian ini membahas salah satu pengaruh kinerja dari turbin pelton tersebut yaitu pengaruh jumlah sudu. Sudu merupakan komponen pada *runner* turbin pelton yang berfungsi untuk penerima gaya potensial dari air. Gaya pada sudu berasal dari pancaran air yang keluar dari nozel yang dibalikkan setelah membentur sudu agar mendapatkan gaya yang maksimum. Arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum dimana gaya ini disebut gaya impuls sehingga turbin pelton disebut juga dengan turbin impuls. Semakin banyak sudu pada *runner* turbin pelton maka, semakin banyak momentum gaya yang diterima sudu, sehingga menyebabkan putaran turbin semakin cepat yang dapat menghasilkan nilai efisiensi sistem *prototype* PLTMH semakin meningkat.

Adapun penelitian *prototype* sebelumnya mengenai pengaruh variasi jumlah sudu turbin Pelton, dimana variasi jumlah sudu yang digunakan hanya tiga yaitu 16 sudu, 18 sudu dan 20 sudu. Pada penelitian ini akan membahas *prototype* dengan menggunakan turbin Pelton, dimana menggunakan lima variasi jumlah sudu yaitu dari 14 sudu, 16 sudu, 18 sudu, 20 sudu, dan 22 sudu dengan *head* yang digunakan 15 meter, sehingga turbin menerima momentum gaya impuls semakin banyak dari pancaran air yang keluar dari nozel yang membentur sudu dan dapat meningkatkan nilai efisiensi sistem *prototype* PLTMH yang dihasilkan.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh *runner* turbin dengan jumlah sudu yang dapat menghasilkan efisiensi tertinggi. Dalam perancangan *prototype* ini, dari referensi yang dirujuk didapatkan rumus untuk menentukan jumlah sudu optimal pada *runner* turbin pelton. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan *runner* turbin, dengan jumlah sudu yang berbeda dari *runner*

jumlah sudu yang didapat dari rujukan tersebut. Variasi *runner* turbin ditentukan dengan menaikkan dua step dan menurunkan dua step dari jumlah sudu yang didapat dari rujukan, sehingga dirancang lima buah *runner* turbin pelton dengan selisih jumlah sudu masing – masing *runner* turbin yaitu dua buah sudu. Jumlah sudu pada masing – masing *runner* turbin pelton yang akan diuji berjumlah 14 sudu, 16 sudu, 18 sudu, 20 sudu, dan 22 sudu, sehingga dapat dianalisa tentang *runner* turbin dengan jumlah sudu yang menghasilkan karakteristik *output* paling tinggi yang nantinya akan mempengaruhi efisiensi sistem *prototype* PLTMH.

Pada penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh jumlah sudu terhadap putaran turbin, putaran generator, tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh generator, sehingga didapatkan *runner* dengan jumlah sudu yang dapat menghasilkan efisiensi tertinggi pada *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dengan menggunakan turbin pelton yang nantinya akan berguna sebagai acuan dalam membangun sebuah PLTMH menggunakan turbin pelton dengan potensi yang ada.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) atau disebut juga dengan mikrohidro adalah suatu instalasi pembangkit listrik tenaga air skala kecil dengan kapasitas pembangkitan rendah yang menggunakan tenaga air sebagai penggerakannya seperti sungai, saluran irigasi, air terjun dengan memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) [5].

Prinsip PLTMH memanfaatkan energi potensial jatuh air (*head*) dan jumlah debit air yang disalurkan pada pipa pesat (*penstock*), dimana semakin tinggi jatuh air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Air yang mengalir selanjutnya menggerakkan turbin sehingga menghasilkan energi mekanik dimana turbin dihubungkan dengan generator dengan tujuan agar generator dapat menghasilkan listrik.

*Prototype* PLTMH merupakan suatu pemodelan pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang dibuat untuk memudahkan meneliti suatu objek penelitian seperti variasi jumlah sudu pada turbin Pelton.

### 2.2 Turbin Air

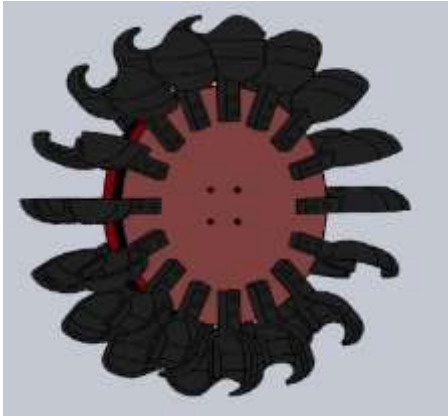
Turbin air dapat didefinisikan sebagai turbin dengan media kerja air. Secara umum turbin adalah alat mekanik yang terdiri dari poros dan sudu-sudu. Sudu tetap (*stationary blade*), tidak ikut berputar bersama poros dan berfungsi mengarahkan aliran fluida. Sedangkan sudu putar (*rotary blade*), mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga timbul gaya yang memutar poros. Putaran poros ini dapat dimanfaatkan untuk memutar generator sebagai pembangkit tenaga listrik [6]. Klasifikasi turbin air yang digunakan dalam PLTMH dibedakan menjadi dua kelompok yaitu : [7]

1) Turbin reaksi adalah turbin air yang cara kerjanya dengan merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi putar dengan *runner* turbin sepenuhnya tercelup didalam air dan berada dalam rumah turbin. Turbin jenis ini digunakan untuk aplikasi turbin dengan *head* rendah dan medium. Jenis turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini yaitu turbin Francis dan turbin Kaplan.

2) Turbin impuls adalah turbin air yang cara kerjanya dengan merubah seluruh energi air (yang terdiri dari energi potensial, tekanan, kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin. Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nozel. Air keluar nozel yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu, arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (*impuls*) yang mengakibatkan roda turbin akan berputar. Jenis turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini yaitu turbin Pelton, turbin Turgo, turbin *Cross Flow*.

### 2.3 Turbin Pelton

Turbin Pelton merupakan jenis turbin impuls yang dipakai *head* yang besar. Terdiri dari satu set *runner* yang berisi sudu dipasang secara sejajar pada *disk* seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Turbin Pelton

Turbin ini diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih nozel. Aliran fluida dalam pipa yang dihasilkan dari *head* akan keluar dengan kecepatan tinggi melalui nozel. Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Tekanan air diubah menjadi kecepatan, pancaran air akan mengenai bagian tengah-tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik [8].

Prinsip kerja turbin Pelton ini yaitu merubah gaya potensial air menjadi gaya mekanis yang terjadi akibat reaksi impuls pada *runner* turbin yang menyebabkan *runner* turbin dapat berputar selama ada pancaran air yang menyemprot sudu. Air disemprotkan dari nozel mengenai sudu-sudu turbin, maka *runner* dapat berputar untuk memutar *pulley* turbin yang terhubung ke *pulley* generator menggunakan *belt* sehingga generator dapat berputar.

#### 2.4 Kelebihan Turbin Pelton

Adapun kelebihan yang dimiliki oleh turbin Pelton dibandingkan dengan jenis turbin lain yaitu : [9]

- 1) Baik dikembangkan pada daerah yang memiliki sumber daya air dengan debit yang kecil, namun hanya memiliki *head* yang tinggi.
- 2) Pengembangan PLTMH dengan turbin pelton, daya yang dihasilkan besar dari pembangkitan.
- 3) Kontruksi yang digunakan dalam pengembangan pembangkit ini sederhana.
- 4) Mudah dalam perawatannya.

- 5) Teknologi yang digunakan sederhana dan mudah diterapkan di daerah terisolir.

#### 2.5 Dimensi Nozel dan Sudu Turbin Pelton

Nozel berfungsi untuk mengubah tekanan air menjadi energi kinetik, mengarahkan pancaran air ke sudu dan mengatur kapasitas air yang akan masuk ke *runner* turbin. Untuk menentukan ukuran diameter ujung nozel dapat dihitung dengan persamaan berikut : [10]

$$d = 0.54 \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{H}}} \quad (1)$$

Keterangan :

Q = debit air ( $m^3/s$ )

H = tinggi air jatuh (m)

Sudu merupakan komponen dari *runner* turbin Pelton yang berbentuk dua buah mangkok. Berfungsi membagi pancaran air menjadi dua bagian agar mendapatkan gaya potensial air yang maksimum.

- 1) Untuk menentukan ukuran sudu dapat dihitung dengan persamaan berikut : [5]

$$\text{Lebar sudu} = 2,5 \times d$$

$$\text{Tinggi sudu} = \frac{12 \times \text{Lebar Sudu}}{38}$$

$$\text{Panjang sudu} = \frac{34 \times \text{Lebar Sudu}}{38}$$

$$\text{Tebal sudu} = \frac{2 \times \text{Lebar Sudu}}{38}$$

Keterangan :

d = diameter nozel

- 2) Untuk menentukan jumlah sudu (Z) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Z = 5,4 \sqrt{\frac{D}{d}}$$

Keterangan :

D = diameter piringan (*disk*)

d = diameter nozel

#### 2.6 Debit, Daya Hidrolis, Torsi, dan Efisiensi

Debit air (Q) dihitung untuk mengetahui seberapa banyak air yang mengalir dalam satuan volume per satuan waktu. Besarnya nilai dari debit air dapat dihitung dengan persamaan : [11]

$$\text{Debit } (Q) = \frac{V}{t} \quad (7)$$

Keterangan :

Q = debit aliran ( $m^3/s$ )

V = volume fluida ( $m^3$ )

t = waktu (s)

Daya hidrolis merupakan daya yang dihasilkan oleh air yang mengalir dari suatu ketinggian. Dalam hal ini daya hidrolis diperoleh dari daya air yang dihasilkan oleh pompa, untuk menghitung daya hidrolis digunakan persamaan : [12]

$$P_H = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \quad (8)$$

Keterangan :

- P = daya hidrolis (watt)
- $\rho$  = massa jenis fluida/air ( $kg/m^3$ )
- g = gaya gravitasi ( $m/s^2$ )
- Q = debit air ( $m^3/s$ )
- h = tinggi jatuh air (m)

Turbin terhubung dengan generator melalui tali *belt* yang berputar membutuhkan nilai torsi yang optimum. Torsi atau momen gaya merupakan sebuah besaran yang menyatakan besarnya gaya yang bekerja pada sebuah benda sehingga mengakibatkan benda tersebut berotasi [13]. Torsi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan : [14]

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{n}{60}} \quad (9)$$

Keterangan :

- T = torsi ( $N_m$ )
- P = daya (watt)
- n = putaran turbin (rpm)

Efisiensi sistem ( $\eta_{PLTMH}$ ) merupakan kemampuan peralatan pembangkit untuk mengubah energi kinetik dari air yang mengalir menjadi energi listrik. Untuk menghitung efisiensi sistem dapat digunakan persamaan : [15]

$$\eta_{PLTMH} = \frac{P_G}{P_H} \cdot 100\% \quad (10)$$

Keterangan :

- $P_G$  = daya generator (watt)
- $P_H$  = daya hidrolis (watt)
- $\eta_{PLTMH}$  = efisiensi sistem PLTMH (%)

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Material Pembuatan Rancangan *Prototype* PLTMH

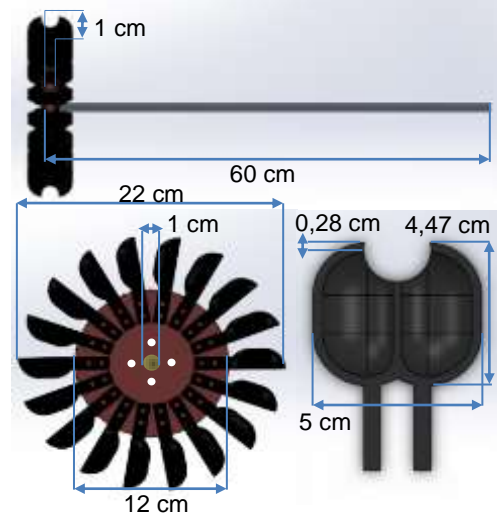
Perencanaan sistem *prototype* PLTMH, spesifikasi turbin Pelton, dan parameter jumlah sudu yang akan digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3. Sedangkan untuk rancangan desain turbin Pelton dapat dilihat pada Gambar 2 dan desain *runner* turbin Pelton yang akan diuji dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 1. Perencanaan Sistem *Prototype* PLTMH

Parameter	Value
Volume <i>Box</i>	45 liter
<i>Head</i>	Setara 15 m atau setara dengan tekanan 21,32 psi
Debit	5 liter/s
Diameter Pipa	$\frac{3}{4}$ dan 1 dim
Tinggi Rangka	50 cm
Lebar Rangka	20 cm
Diameter Nozel	2 cm

Tabel 2. Spesifikasi Turbin Pelton

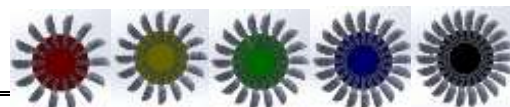
Parameter	Value
Tebal <i>Disk</i>	1 cm
Panjang Poros	60 cm
Diameter <i>Runner</i>	22 cm
Diameter <i>Disk</i>	12 cm
Diameter Poros	1 cm
Tebal Sudu	0,28 cm
Panjang Sudu	4,47 cm
Lebar Sudu	5 cm
Tinggi Sudu	1,6 cm
Jumlah Sudu Optimal pada <i>Runner</i> Turbin	18 sudu



Gambar 2. Rancangan Desain Turbin Pelton

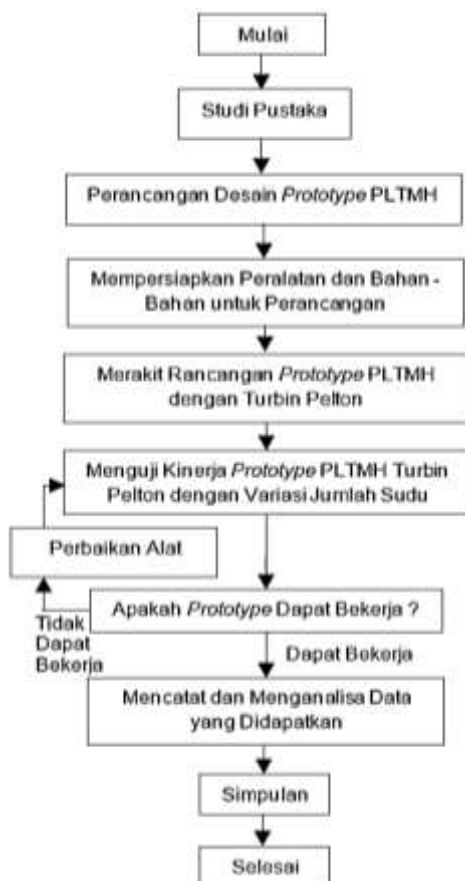
Tabel 3. Parameter Jumlah Sudu Turbin Pelton yang Akan Diuji

Parameter	Value
<i>Runner</i> Turbin Merah	14 sudu
<i>Runner</i> Turbin Kuning	16 sudu
<i>Runner</i> Turbin Hijau	18 sudu
<i>Runner</i> Turbin Biru	20 sudu
<i>Runner</i> Turbin Hitam	22 sudu



**Gambar 3.** Desain *Runner* Turbin Pelton yang Akan Diuji

Gambar 4 menunjukkan alur tahapan yang dilakukan dalam penelitian yaitu mulai dari merancang desain *prototype* PLTMH di *software Solidwork*, menyiapkan peralatan serta bahan, merakit rancangan *prototype* PLTMH, melakukan pengujian *prototype* PLTMH dengan variasi jumlah sudu pada *runner* turbin, mencatat dan menganalisa data yang didapat dari hasil pengujian.



**Gambar 4.** Alur Tahapan Penelitian *Prototype* PLTMH

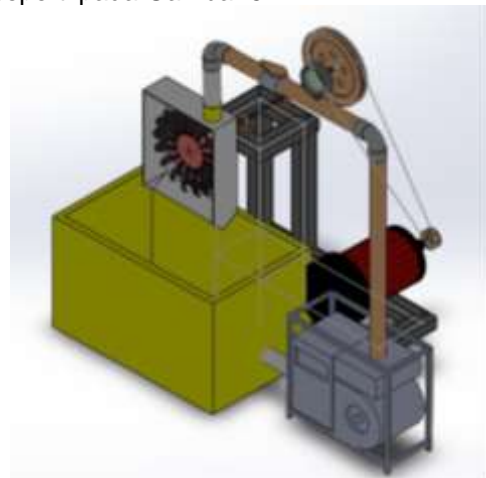
### 3.2 Menyiapkan Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam perancangan *prototype*

PLTMH dengan menggunakan turbin Pelton ini seperti : mesin gerinda, mesin las, pompa air, tachometer, manometer, AVO meter, mesin 3D *printing*, plat besi, *box* air, selang air, pipa, *pulley* turbin dan generator, *pillow*, dll.

### 3.3 Merakit Rancangan *Prototype* PLTMH

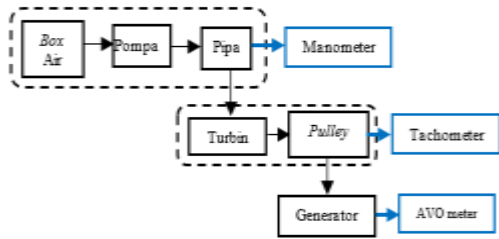
Perakitan rancangan *prototype* PLTMH ini terdiri dari beberapa komponen yaitu turbin Pelton, rangka *prototype*, *pillow*, rumah turbin, poros turbin, generator, *pulley*, *box* air, pompa, pipa dan selang air seperti pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Rancangan Desain *Prototype* PLTMH

### 3.4 Melakukan Pengujian *Prototype* PLTMH

Pengujian dari masing-masing *runner* dengan jumlah sudu yang berbeda dilakukan mulai dari *runner* dengan jumlah sudu paling kecil yaitu *runner* warna merah dengan jumlah sudu 14, begitu seterusnya sampai ke *runner* warna hitam dengan jumlah sudu 22. Saat mengganti *runner* pada rumah turbin dilakukan dengan melepas baut pada *runner* yang terhubung dengan poros turbin dan memasang *runner* turbin dengan parameter selanjutnya, dilanjutkan dengan mengencangkan kembali baut pada *runner* yang terhubung ke poros turbin. Alur diagram sistem kerja *prototype* PLTMH dapat dilihat seperti Gambar 6.



Gambar 6. Sistem Kerja *Prototype* PLTMH

Cara kerja pada pengujian *prototype* PLTMH yaitu air yang tertampung didalam *box* disedot dengan menggunakan pompa, kemudian air dialirkan melalui selang dan pipa menuju nozel untuk disemprotkan ke sudu turbin pelton dari atas dengan tekanan tinggi. Air semprotan dari ujung nozel mengenai bagian tengah sudu turbin, sehingga menimbulkan gaya berat air untuk mendorong sudu turbin sehingga dapat memutar poros turbin pada sumbunya. *Pulley* yang terdapat pada ujung belakang poros turbin memutar generator listrik yang dihubungkan dengan *pulley* pada generator menggunakan *belt*. Pada generator dipasang kabel yang dihubungkan ke rangkaian beban lampu dan dipasang AVO meter yang digunakan untuk melihat dan mengukur tegangan serta arus yang dihasilkan generator. Pada pipa dipasang alat manometer yang digunakan untuk melihat dan mengukur tekanan air sedangkan alat tachometer digunakan untuk mengukur putaran yang dihasilkan dari turbin dan generator.

### 3.5 Mencatat dan Menganalisa Data

Setelah dilakukan pengujian pada *prototype*, maka didapatkan data-data hasil pengujian yang meliputi kecepatan putaran turbin, kecepatan putaran generator, tegangan, dan arus. Data tersebut kemudian akan dianalisis dan digunakan untuk menjelaskan pengaruh jumlah sudu terhadap karakteristik *output* seperti tegangan, arus, daya, putaran turbin, putaran generator yang dihasilkan dan pengaruh jumlah sudu terhadap nilai efisiensi yang dihasilkan dari sistem *prototype* PLTMH. Analisis data dalam penelitian ini menggunakan data kuantitatif. Data kuantitatif ini diperoleh dari hasil setiap pengujian dimana dilakukan pengujian sebanyak 5 kali pengukuran. Pengukuran dilakukan dengan parameter jumlah sudu pada *runner* turbin Pelton yang berbeda – beda yaitu dari jumlah sudu 14,

sudu 16, sudu 18, sudu 20, dan sudu 22 untuk mendapatkan *runner* dengan jumlah sudu yang menghasilkan tegangan, arus, dan daya paling besar sehingga dapat menghasilkan efisiensi dari sistem *prototype* PLTMH yang paling tinggi.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Realisasi *Prototype* PLTMH dengan Menggunakan Turbin Pelton

#### 1) Realisasi *Runner* Turbin Pelton dengan Variasi Jumlah Sudu

Realisasi *runner* turbin Pelton dapat dilihat pada Gambar 7, dimana pada *runner* terdapat beberapa komponen diantaranya yaitu : *disk* dengan warna yang telah ditentukan sesuai dengan jumlah sudu yang akan digunakan, sudu turbin, baut dan mur untuk mengunci sudu pada *disk* turbin.



Gambar 7. Realisasi *Runner* Turbin Pelton

#### 2) Realisasi *Prototype* PLTMH

Realisasi *prototype* PLTMH dapat dilihat pada Gambar 8, dimana pada *prototype* ini terdapat beberapa komponen diantaranya : turbin Pelton, rumah turbin, generator, manometer, *pillow* yang berfungsi sebagai penopang poros turbin, *pulley* yang berfungsi sebagai penghubung turbin Pelton dengan generator yang dihubungkan menggunakan *belt*, *box* yang berfungsi sebagai tempat penampungan air, pompa yang berfungsi sebagai pengatur keluar masuknya air, selang dan pipa berfungsi untuk mengalirkan air dari pompa, rangka *prototype* yang berfungsi menopang rumah turbin, poros turbin dan sebagai tempat generator.



Gambar 8. Realisasi *Prototype* PLTMH

#### 4.2 Pengukuran Debit Air

Pengukuran debit air dilakukan dengan metode penampungan air, menggunakan *box* penampungan air dengan melakukan penyesuaian terhadap tekanan air yang diberikan. Tekanan air pada pompa berpengaruh pada debit air yang berpengaruh juga terhadap karakteristik *output* dari PLTMH nanti pada saat dioperasikan. Tekanan air yang digunakan dalam pengujian variasi jumlah sudu pada *prototype* ini dapat dihitung sebagai berikut :

$$H = \frac{P}{\rho \cdot g}, \text{ jadi untuk } H = 15 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } 15 &= \frac{P}{1000 \cdot 9,8} \\ P &= 15 \cdot 1000 \cdot 9,8 \\ &= 14700 \text{ N/m}^2 \\ &= 21,32 \text{ psi} \approx 21 \end{aligned}$$

psi

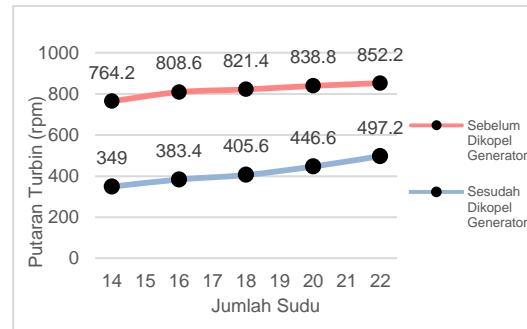
Nilai tekanan air yang digunakan dalam pengujian *prototype* PLTMH dengan turbin Pelton yaitu sebesar 21 psi (setara dengan *head* 15 meter jika dilihat potensi dari alam). Volume *box* yang digunakan yaitu 45 liter dan waktu yang diperlukan untuk memenuhi *box* dengan tekanan 21 psi yaitu 9 detik. Debit air yang digunakan dalam pengujian variasi jumlah sudu pada *prototype* ini dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q &= \frac{V}{t} = \frac{45}{9} = 5 \text{ liter/s} \\ &\approx 0,005 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Debit air yang didapat digunakan untuk memperoleh daya hidrolis yang dihasilkan oleh *prototype* PLTMH dengan menggunakan turbin Pelton.

#### 4.3 Pengukuran Putaran Turbin

Grafik hasil pengukuran perubahan jumlah sudu terhadap putaran turbin dapat dilihat pada Gambar 9 :

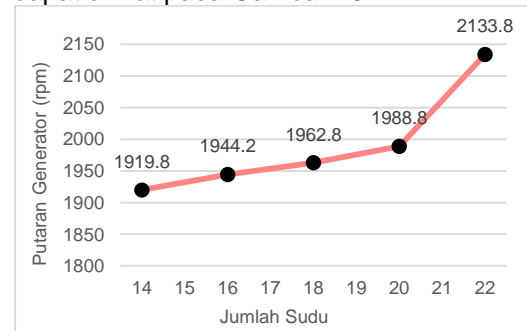


Gambar 9. Grafik Perubahan Jumlah Sudu Terhadap Putaran Turbin

Berdasarkan Gambar 9 perubahan jumlah sudu menjadi lebih banyak pada *runner* turbin akan menyebabkan turbin semakin cepat berputar, hal ini disebabkan semakin banyak gaya impuls semprotan air dari nozel yang diterima sudu-sudu *runner* turbin. Saat turbin dikopel dengan generator kecepatan turbin menjadi menurun, hal ini disebabkan karena turbin mendapatkan beban kerja untuk memutar generator. Kecepatan putaran turbin tertinggi sebelum dikopel maupun sesudah dikopel dengan generator terjadi pada *runner* dengan jumlah sudu 22 yaitu sebesar 852,2 rpm sebelum dikopel dan sebesar 497,2 rpm setelah dikopel dengan generator.

#### 4.4 Pengukuran Putaran Generator

Grafik hasil pengukuran perubahan jumlah sudu terhadap putaran generator dapat dilihat pada Gambar 10 :



Gambar 10. Grafik Perubahan Jumlah Sudu Terhadap Putaran Generator

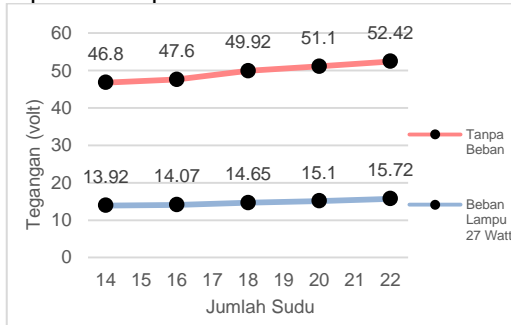
Berdasarkan Gambar 10 dapat dilihat bahwa penambahan jumlah sudu pada *runner* turbin akan menyebabkan turbin semakin cepat berputar. Semakin cepatnya perputaran turbin maka putaran generator juga akan semakin cepat. Kecepatan putaran generator tertinggi



terjadi pada *runner* dengan jumlah sudu 22 yaitu sebesar 2133,8 rpm.

#### 4.5 Pengukuran Tegangan Generator

Grafik hasil pengukuran perubahan jumlah sudu terhadap tegangan generator dapat dilihat pada Gambar 11:

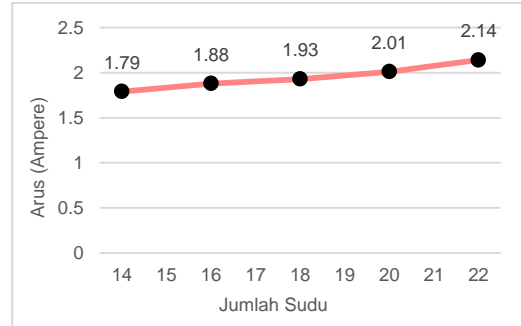


Gambar 11. Grafik Perubahan Jumlah Sudu Terhadap Tegangan Generator

Berdasarkan Gambar 11 dapat dilihat bahwa tegangan generator tertinggi ketika tidak berbeban maupun berbeban terjadi pada *runner* dengan jumlah sudu 22 yaitu sebesar 52,42 volt sebelum berbeban dan 15,72 volt setelah berbeban lampu 27 Watt. Tegangan saat keadaan berbeban 27 watt mengalami penurunan, hal ini terjadi karena adanya beban yang diberikan pada generator sehingga tegangannya menjadi menurun.

#### 4.6 Pengukuran Arus Generator

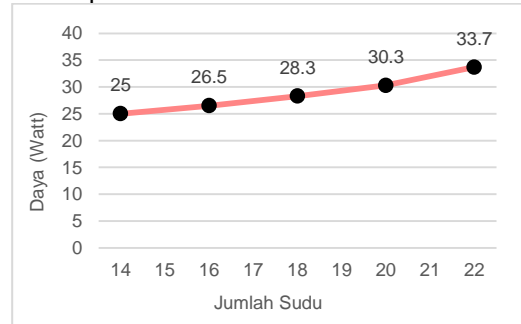
Grafik hasil pengukuran perubahan jumlah sudu terhadap arus generator dapat dilihat pada Gambar 12. Berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa penambahan jumlah sudu pada *runner* turbin dan menggunakan beban lampu 27 Watt yang dirangkai secara paralel akan menyebabkan terjadinya peningkatan arus pada generator. Semakin cepatnya perputaran turbin, maka putaran generator juga akan semakin cepat, sehingga arus yang dihasilkan generator saat berbeban lampu 27 Watt akan semakin besar. Arus generator tertinggi terjadi pada *runner* dengan jumlah sudu 22 yaitu sebesar 2,14 A.



Gambar 12. Grafik Perubahan Jumlah Sudu Terhadap Arus Generator

#### 4.7 Pengukuran Daya Generator

Grafik hasil pengukuran perubahan jumlah sudu terhadap daya generator dapat dilihat pada Gambar 13:



Gambar 13. Grafik Perubahan Jumlah Sudu Terhadap Daya Generator

Berdasarkan Gambar 13 dapat dilihat bahwa penambahan jumlah sudu pada *runner* turbin yang digunakan akan menyebabkan daya yang dihasilkan oleh generator semakin meningkat. Semakin cepatnya perputaran turbin maka putaran generator juga akan semakin cepat, sehingga tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator ketika berbeban akan semakin besar yang mempengaruhi daya *output* menjadi besar. Daya tertinggi yang dihasilkan generator terjadi pada *runner* dengan jumlah sudu 22 yaitu sebesar 33,7 Watt.

#### 4.8 Perhitungan Torsi Prototype PLTMH

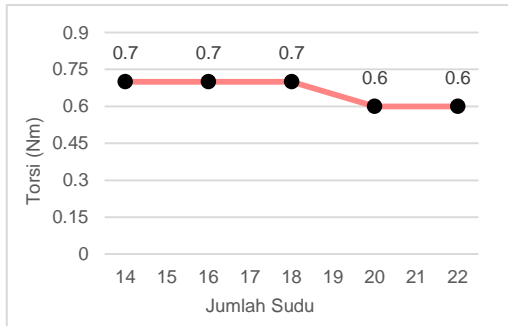
Daya yang dihasilkan generator dalam pengujian diperoleh sesuai pada Gambar 13 dan nilai kecepatan putaran turbin setelah dikopel dengan generator diperoleh sesuai pada Gambar 9, maka torsi dapat dihitung :

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{n}{60}} = \frac{25}{2 \times 3,14 \times \frac{349}{60}}$$

$$= \frac{25}{36,5} = 0,684 \text{ Nm}$$

$$\approx 0,7 \text{ Nm}$$

Grafik hasil perhitungan torsi pada *prototype* PLTMH dengan menggunakan turbin Pelton dapat dilihat pada Gambar 14 :



Gambar 14. Grafik Perubahan Jumlah Sudu Terhadap Torsi

Berdasarkan Gambar 14 dapat dilihat bahwa penambahan jumlah sudu pada *runner* turbin yang digunakan akan menyebabkan torsi yang dihasilkan semakin menurun. Besar torsi yang didapatkan rata-rata 0,7 Nm yang disebabkan pengaruh kecepatan putaran turbin. Semakin cepatnya perputaran turbin maka putaran generator juga akan semakin cepat sehingga torsi yang dihasilkan untuk memutar generator semakin kecil seiring dengan bertambahnya jumlah sudu pada *runner* turbin Pelton.

#### 4.9 Perhitungan Daya Hidrolis

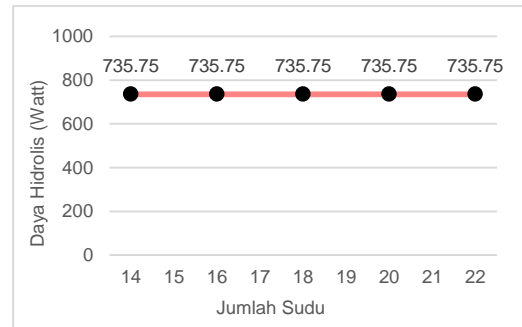
Saat pengujian menggunakan tekanan air sebesar 21 psi yang setara dengan *head* 15 meter, maka didapatkan debit air sebesar 0,005 m<sup>3</sup>/s. Daya hidrolis yang dihasilkan dari semua jenis *runner* dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h$$

$$= 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,005 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 15 \text{ m}$$

$$= 735,75 \text{ Watt}$$

Grafik hasil perhitungan daya hidrolis dari semua *runner* dengan jumlah sudu yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 15 :



Gambar 15. Grafik Perubahan Jumlah Sudu Terhadap Daya Hidrolis

Berdasarkan Gambar 15, penambahan jumlah sudu pada *runner* turbin yang digunakan tidak mempengaruhi meningkatnya daya hidrolis. Hal ini terjadi karena, daya hidrolis dipengaruhi oleh tekanan air yang digunakan, dimana dalam pengujian hanya menggunakan satu parameter tekanan air yaitu sebesar 21 psi dengan debit air 0,005 m<sup>3</sup>/s yang menyebabkan nilai daya hidrolis menjadi konstan.

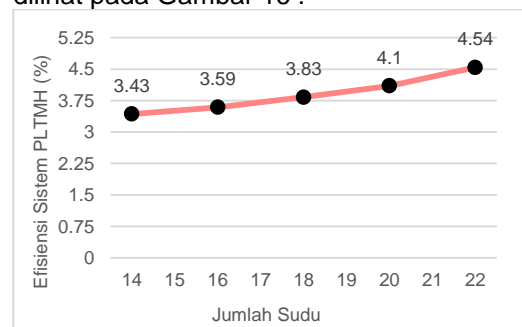
#### 4.10 Perhitungan Efisiensi Sistem *Prototype* PLTMH

Perhitungan efisiensi sistem *prototype* PLTMH diperoleh dari daya *output* pada generator dibagi dengan daya hidrolis, maka dapat dihitung sebagai berikut :

$$\eta_{\text{PLTMH}} = \frac{P_G}{P_H} \cdot 100\% = \frac{25,2}{735,75} \cdot 100\%$$

$$= 3,43 \%$$

Grafik hasil perhitungan efisiensi sistem *prototype* PLTMH dari semua *runner* dengan jumlah sudu yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 16 :



Gambar 16. Grafik Perubahan Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Sistem *Prototype* PLTMH

Berdasarkan grafik pada Gambar 16 dapat dilihat bahwa efisiensi sistem PLTMH yang dihasilkan dari semua variasi *runner* turbin yaitu sangat rendah, hal ini

terjadi karena kurang efektifnya *prototype* PLTMH dalam pembangkitan dan menggunakan generator DC kapasitas pembangkitan yang kecil, sehingga tidak bisa membangkitkan daya sebesar daya hidrolis.

Penambahan jumlah sudu pada *runner* turbin menyebabkan efisiensi pada sistem PLTMH meningkat. Efisiensi tertinggi terjadi pada *runner* dengan jumlah sudu 22 yaitu sebesar 4,54%. Penambahan jumlah sudu pada *runner* turbin Pelton dari jumlah sudu 14 ke jumlah sudu 22 tidak terjadi peningkatan efisiensi secara signifikan, hal ini dikarenakan selisih tiap variasi *runner* yang digunakan yaitu 2 sudu dan peningkatan yang terjadi dari *runner* jumlah sudu 14 ke *runner* jumlah sudu 22 yaitu sebesar 32,4 %.

## 5. SIMPULAN

Simpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil dari pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

Pengujian jumlah sudu pada *prototype* PLTMH dengan menggunakan turbin Pelton didapatkan nilai pengukuran terbaik pada *runner* dengan jumlah sudu 22, dimana tegangan, arus, dan daya *output* yang dihasilkan generator yaitu sebesar 15,72 Volt, 2,14 Ampere dan 33,7 Watt. Untuk kecepatan putaran turbin yang dihasilkan yaitu sebesar 852,2 rpm sebelum dikopel dan 497,2 rpm setelah dikopel dengan generator, sedangkan kecepatan putaran generator yang dihasilkan sebesar 2133,8 rpm. Torsi yang mampu memutar generator agar generator dapat menghasilkan tegangan, arus, dan daya tertinggi adalah dengan menggunakan *runner* dengan jumlah sudu 22 dengan torsi yang dihasilkan 0,6 Nm.

Efisiensi sistem PLTMH yang dihasilkan dari semua variasi *runner* turbin sangat rendah, karena kurang efektifnya *prototype* PLTMH dalam pembangkitan dan menggunakan generator DC kapasitas pembangkitan yang kecil, sehingga tidak bisa membangkitkan daya sebesar daya hidrolis. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan generator dengan kapasitas pembangkitan yang lebih besar. Efisiensi tertinggi diperoleh dengan menggunakan *runner* jumlah sudu 22 yaitu sebesar 4,54%. Penambahan jumlah sudu pada *runner* turbin Pelton dari jumlah sudu 14 ke jumlah sudu 22 tidak terjadi

peningkatan efisiensi secara signifikan, hal ini dikarenakan selisih tiap variasi *runner* yang digunakan yaitu 2 sudu dan peningkatan yang terjadi dari *runner* jumlah sudu 14 ke *runner* jumlah sudu 22 yaitu sebesar 32,4 %. Efisiensi sistem PLTMH dipengaruhi oleh daya generator dan daya hidrolis. Semakin banyak jumlah sudu yang digunakan, gaya impuls pada turbin yang terjadi akibat semprotan air dari nozel akan semakin besar, sehingga putaran turbin semakin cepat yang mempengaruhi daya generator yang dihasilkan semakin meningkat dan mengakibatkan efisiensi pada sistem PLTMH dari *runner* jumlah sudu 14 ke *runner* jumlah sudu 22 terjadi peningkatan.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kumara I. N. S., Ariastina W. G., Sukerayasa I. W. and Giriantari I. A. D.. 2014. "On the potential and progress of renewable electricity generation in Bali." 2014 6<sup>th</sup> International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), Yogyakarta, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICITEED.2014.7007944.
- [2] Kumara, Suparyawan D. P. D., Ariastina W. G., Sukerayasa W. and Giriantari I. A. D. 2014. "Microhydro powerplant for rural area in Bali to generate green and sustainable electricity." International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS), Kuta, 2014, pp. 113-117, doi: 10.1109/ICSGTEIS.2014.7038741.
- [3] Suparyawan D. P. D., Kumara I. N. S., Ariastina W. G. "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Mikrohidro Di Desa Sambangan Kabupaten Buleleng Bali". Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, [S.l.], v. 12, n. 2, dec. 2013. ISSN 2503-2372.
- [4] Irawan, D. 2018. "Prototype Turbin Pelton Sebagai Energi Alternatif Mikrohidro di Lampung". Metro, Lampung: Universitas Muhammadiyah.
- [5] Apriansyah D, Rusdinar F., Darlis A. 2016. "Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Mikrohidro (PLTMH) pada Pipa Saluran Pembuangan Air Hujan Vertikal". e-Proceeding of Engineering : Vol.3, No.1.
- [6] Jasa, L. 2015. "Peningkatan Efisiensi Turbin dengan Pembaruan Desain Turbin Banki untuk Mikro Hidro di Daerah Tropis". Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [7] Sitompul, R. 2011. "Teknologi Energi Terbarukan yang Tepat untuk Aplikasi di Masyarakat Perdesaan". Jakarta : PNPM Mandiri.
- [8] Supratmanto, D. 2016. "Kajian Eksperimental Pengaruh Jumlah Sudu

- Terhadap Unjuk Kerja Turbin Helik untuk Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)". (Skripsi). Bandar Lampung : Universitas Lampung.
- [9] Saleh, M. 2018. "Perancangan Alat Uji Prestasi Turbin Pelton". Pengaraian, Riau : Universitas Pasir Pengaraian.
- [10] Putra, A. D. G. 2009. "Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro menggunakan Turbin Pelton". (Skripsi). Yogyakarta : Universitas Sanata Dharma.
- [11] Ridwan, M. 2019. "Analisa Pengaruh Variasi Tekanan dan Jarak Semprot Nozzle Terhadap Daya Output pada Instalasi Turbin Pelton". Kendari : Universitas Halu Oleo.
- [12] Tohari M. 2015. "Pengujian Unjuk Kerja Turbin Crossflow Skala Laboratorium dengan Jumlah Sudu 20". Sekolah Tinggi Teknik Harapan.
- [13] Yulistiyanto, Hizhar B., Lisdiyanti Y. 2012. "Pengaruh Debit Aliran dan Kemiringan Poros Turbin Ulir Pada Pembangkit Listrik Tenaga MikroHidro". Dinamika TEKNIK SIPIL/Vol. 12/No. 1.
- [14] Christiawan, D. 2017. "Studi Analisis Pengaruh Model Sudu Turbin Terhadap Putaran pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)". Teknologi Elektro, Vol. 16, No. 02, ISSN 1693–2951.
- [15] Sihaloho, D. L. 2017. "Rancang Bangun Alat Uji Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan Turbin Aliran Silang". Bandar Lampung : Universitas Lampung.