

PENGARUH TEKANAN AIR DAN SUDUT NOZZLE TERHADAP KARAKTERISTIK OUTPUT PADA PROTOTYPE PLTMH DENGAN TURBIN PELTON

I Made Ardika Tommy Saputra¹, Lie Jasa², I Wayan Arta Wijaya³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

²Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

³Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Jalan Raya Kampus Unud, Jimbaran, Bali

Email_imadeardikatommysaputra@gmail.com¹, Email_liejasa@unud.ac.id²,
Email_artawijaya@ee.unud.ac.id³

ABSTRAK

Turbin pelton merupakan turbin impuls yang berbeda dengan turbin lainnya dimana turbin pelton memanfaatkan tinggi jatuh air (head) yang besar walaupun dengan debit air yang kecil. Permasalahan yang ada pada turbin pelton yaitu head-nya masih sulit dikendalikan karena turbin jenis ini menggunakan head yang tinggi untuk memutar runner turbin dan belum ada rumus/persamaan untuk menetapkan sudut nozzle yang menghasilkan output maksimum. Berdasarkan permasalahan yang diuraikan perlu dibuatkan sebuah prototype PLTMH menggunakan turbin pelton dengan skala laboratorium agar dapat melakukan pengujian pengaruh tekanan air dan sudut nozzle untuk memperoleh hasil output yang maksimum pada PLTMH menggunakan turbin pelton. Pengujian prototype pada penelitian ini menggunakan tekanan air yang bervariasi yaitu 5 psi, 9 psi, 13 psi, 17 psi, 21 psi, dan 25 psi dengan sudut nozzle yaitu 60°, 75°, dan 90°. Berdasarkan hasil penelitian, peningkatan nilai tekanan air yang diberikan dengan sudut nozzle yang optimal akan menyebabkan kinerja PLTMH semakin meningkat. Output maksimum yang diperoleh yaitu saat tekanan air 25 psi dengan sudut nozzle 90° yang menghasilkan Putaran Turbin sebesar 917 rpm sebelum dikopel generator dan 326 rpm sesudah dikopel generator, Putaran Generator sebesar 1321 rpm, Tegangan Generator sebesar 12,9 Volt, Daya Generator sebesar 30,96 Watt, Torsi sebesar 0,98 Nm, dan Efisiensi tertinggi terjadi saat tekanan air 21 psi dengan sudut nozzle 90° yaitu sebesar 3,91 %.

Kata kunci : *Prototype PLTMH, Turbin Pelton, Tekanan Air, Sudut Nozzle, Daya Output*

ABSTRACT

Pelton turbine is an impulse turbine that is different from other turbines where the pelton turbine utilizes a large high water fall (head), even with a small water discharge. The problem with Pelton turbine is that the head is still difficult to control because this type of turbine uses a high head to rotate the turbine runner and there is no formula / equation to determine the angle of the nozzle which produces maximum output. Based on the problems described, it is necessary to make a micro hidro power plant prototype using a pelton turbine with a laboratory scale so that it can do the testing of the influence of water and the nozzle angle to obtain maximum output results on a micro hidro power plant using a pelton turbine. The prototype testing in this study used various water pressures, namely 5 psi, 9 psi, 13 psi, 17 psi, 21 psi, and 25 psi with nozzle angles, namely 60°, 75°, and 90°. Based on the results of the study, an increase in the value of water pressure provided with an optimal nozzle angle will cause the micro hidro power plant performance to increase. The maximum output obtained is when the water pressure is 25 psi with a nozzle angle of 90° which produces a turbine rotation of 917 rpm before the generator is coupled and 326 rpm after the generator is coupled, the generator rotation is 1321 rpm, the generator voltage is 12.9 Volts, generator power is 30.96 Watt, torque

is 0.98 Nm, and the highest efficiency occurs when the water pressure is 21 psi with a nozzle angle of 90° which is 3.91%.

Key Words : Micro Hydro Power Plant Prototype, Pelton Turbine, Water Pressure, Nozzle Angle, Output Power

1. PENDAHULUAN

Turbin Pelton merupakan turbin impuls yang berbeda dengan turbin lainnya dimana turbin pelton memanfaatkan jatuh air (*head*)/tekanan yang tinggi walaupun dengan debit air yang kecil. Turbin pelton dioperasikan oleh satu atau lebih jet (*nozzle*) air yang masuk ke *center bucket* pada sekeliling parameter dari *runner* sehingga turbin dapat berputar. Tenaga berasal dari gaya potensial dan kinetik air dari tekanan tinggi yang menembak *bucket* sehingga dinamai turbin impuls [1].

Kinerja dari suatu turbin pelton dipengaruhi oleh beberapa variabel yaitu ketinggian jatuh air (*head*), debit aliran, jumlah *nozzle*, sudut *nozzle*, jumlah sudu, dan jarak semprot *nozzle*. Selain ketinggian air jatuh dan debit aliran yang paling mempengaruhi, tekanan fluida menjadi variabel yang sangat penting dalam mempengaruhi kecepatan putaran dari *runner* turbin pelton. [2].

Tekanan air yang tinggi akan meningkatkan kecepatan dorongan air yang keluar dari *nozzle* untuk mendorong *bucket* turbin agar berputar. Hal tersebut terjadi karena tekanan air berbanding lurus dengan kecepatan air yang keluar dari *nozzle*. Sehingga dapat dikatakan bahwa semakin meningkatnya tekanan air maka akan menyebabkan putaran turbin dan putaran generator semakin cepat yang akan menghasilkan *output* daya listrik pada generator akan semakin besar [3].

Permasalahan yang ada pada turbin pelton yaitu *head*-nya sulit dikendalikan karena turbin jenis ini menggunakan *head* yang tinggi untuk memutar *runner* turbin dan belum ada rumus/persamaan untuk menetapkan sudut *nozzle* yang menghasilkan *output* maksimum pada turbin pelton. Perlu dilakukan pengujian terhadap parameter *head* dan sudut *nozzle* pada turbin pelton, namun di lapangan pengujian parameter tersebut sulit dilakukan. Oleh karena itu perlu dibuatkan sebuah *prototype* PLTMH menggunakan turbin pelton dengan skala laboratorium agar dapat melakukan pengujian pengaruh tekanan air (mewakili *head* di lapangan) dan sudut *nozzle* untuk

memperoleh hasil *output* yang maksimum pada turbin pelton.

Pada penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh tekanan air dan sudut *nozzle* terhadap karakteristik *output* yang dihasilkan oleh turbin sehingga dapat dilihat kecepatan putaran turbin, putaran generator, tegangan, arus, daya, dan efisiensi yang dihasilkan pada pemodelan pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan menggunakan turbin pelton yang nantinya akan berguna untuk membangun sebuah PLTMH menggunakan turbin pelton dengan potensi yang ada.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Pelton

Turbin pelton merupakan turbin impuls yang dipakai untuk tinggi jatuh air (*head*) yang besar. Turbin Pelton terdiri dari satu set sudu (*bucket*) jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut *nozzle*. Turbin pelton pada prinsipnya merubah gaya potensial air menjadi gaya mekanis dimana air digunakan berfungsi untuk menggerakkan sudu-sudu turbin yang terhubung dengan poros turbin, sehingga poros turbin menghasilkan gaya putar.

2.2 Perhitungan Desain Turbin Pelton

Berikut merupakan perhitungan desain turbin Pelton [4] :

a. Kecepatan Pancar Air (c_1) :

$$c_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (1)$$

Keterangan :

c_1 = Kecepatan Pancar Air (m/s)

g = Percepatan Gravitasi (9,8 m/s²)

H = *Head* (m)

b. Kecepatan Tangensial (u) :

$$u = \frac{c_1}{2} \quad (2)$$

Keterangan :

u_1 = Kecepatan Tangensial (m/s)

c. Diameter Pancar Air (d):

$$d = 0.54 \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{H}}} \quad (3)$$

Keterangan :

d = Diameter Ujung *Nozzle* (m)

Q = Debit Air (m³/s)

H = *Head* (m)

d. Diameter Roda (D):

$$D = \frac{60 \cdot u}{\pi \cdot n} \quad (4)$$

Keterangan :

D = Diameter Roda (m)

u = Kecepatan Tangensial (m/s)

n = Putaran Turbin (rpm)

e. Ukuran *Bucket*

1. Lebar *Bucket* = 2,5 x d (5)

2. Tinggi *Bucket* = $\frac{12 \times \text{Lebar } \textit{Bucket}}{38}$ (6)

3. Panjang *Bucket* = $\frac{34 \times \text{Lebar } \textit{Bucket}}{38}$ (7)

4. Tebal *Bucket* = $\frac{2 \times \text{Lebar } \textit{Bucket}}{38}$ (8)

2.3 Perhitungan Daya, Torsi, dan Efisiensi

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 [5] :

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \quad (9)$$

Keterangan :

P = Daya Hidrolis (Watt)

ρ = Massa Jenis Air (kg/m³)

g = Percepatan Gravitasi (9,8m/s²)

Q = Debit Air (m³/s)

h = Tinggi Jatuh Air (m)

Daya Listrik yang dihasilkan oleh generator dinyatakan dengan persamaan berikut [1] :

$$P_{out} = I \times V \quad (10)$$

Keterangan :

P_{out} = Daya Listrik (Watt)

I = Arus (Ampere)

V = Tegangan (Volt)

Torsi turbin (T) yang dimiliki turbin pelton dapat dihitung dengan persamaan [7] :

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{n}{60}} \quad (11)$$

Keterangan :

T = Torsi (Nm)

P = Daya (W)

n = Kecepatan Putaran (rpm)

Efisiensi sistem (η PLTMH) adalah kemampuan peralatan pembangkit untuk mengubah energi kinetik dari air yang mengalir menjadi energi listrik [6]. Untuk menghitung efisiensi dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{PLTMH} = \frac{P_G}{P_H} \cdot 100\% \quad (12)$$

Keterangan :

η_{PLTMH} = Efisiensi sistem PLTMH

P_G = Daya Generator

P_H = Daya Hidrolis

2.4 Fluida dan Tekanan

Fluida merupakan suatu zat yang dapat mengalir.

Tekanan merupakan gaya yang bekerja tegak lurus pada suatu permukaan bidang dan dibagi luas permukaan bidang tersebut. Adapun hubungan tekanan dengan tinggi jatuh air (*head*) dimana *head* turbin dapat ditentukan berdasarkan persamaan yaitu [3] :

$$h = \frac{P}{\rho \cdot g} \quad (13)$$

Keterangan :

h = Tinggi Air Jatuh (m)

P = Tekanan Fluida (N/m²)

ρ = Massa Jenis Fluida (1000 Kg/m³)

g = Kecepatan Gravitasi (9,8 m/ s²)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian mengenai *prototype* PLTMH dengan menggunakan turbin pelton ini dimulai pada bulan Oktober 2019 sampai bulan April 2020 yang dilakukan di Laboratorium Konversi Energi dan Workshop, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana.

3.1 Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Data perencanaan sistem *prototype* PLTMH dapat dilihat pada tabel 1.

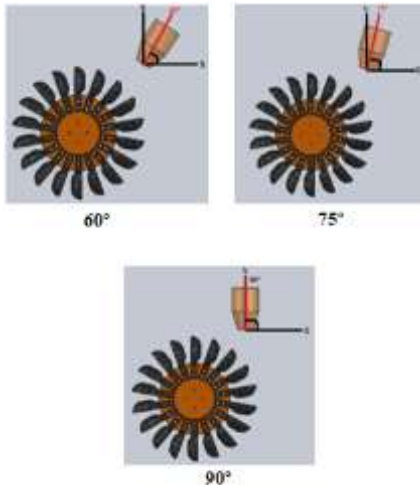
Tabel 1. Data Perencanaan Sistem PLTMH

Parameter	Nilai
<i>Head</i>	Setara 15 meter
Volume <i>Box</i>	0,2 m ³
Diameter Pipa	¾ atau 1 dim
Tinggi Rangka	0,5 meter
Lebar Rangka	0,2 meter

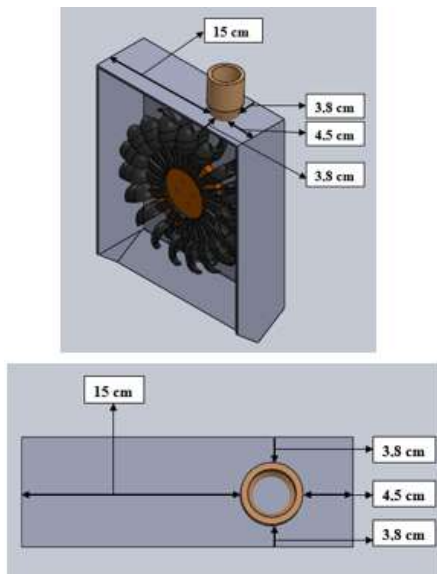
Parameter pemodelan turbin pelton untuk *prototype* pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Data Pemodelan Turbin Pelton

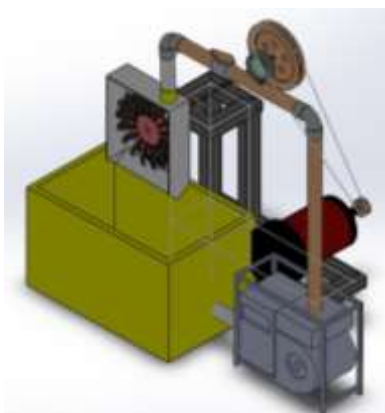
Parameter	Nilai
Diameter <i>Runner</i>	0,22 meter
Lebar Sudu	0,05 meter
Panjang Sudu	0,0447 meter
Tinggi Sudu	0,016 meter
Tebal Sudu	0,0028 meter
Jumlah Sudu	18 buah
Diameter <i>Disk</i>	0,12 meter
Panjang Poros	0,3 meter
Diameter Ujung <i>Nozzle</i>	0,02 meter
Panjang <i>Nozzle</i>	0,07 meter
Panjang Rumah Turbin	0,3 meter
Lebar Rumah Turbin	0,34 meter



Gambar 1. Rancangan Desain Sudut Nozzle 60°, 75°, dan 90°



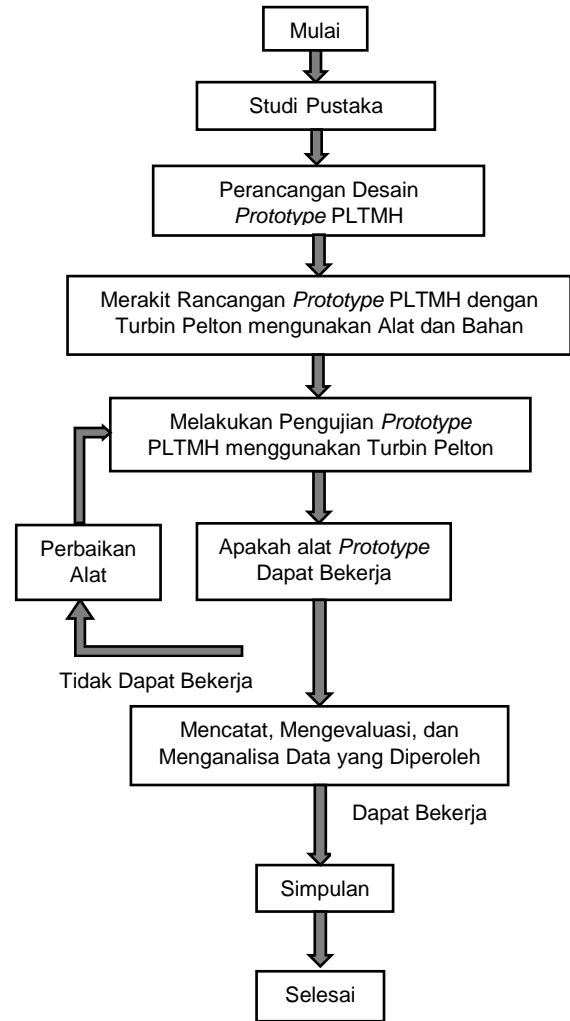
Gambar 2. Desain Titik Pemasangan Nozzle Tampak Samping dan Tampak Atas



Gambar 3. Rancangan Desain PrTOTYPE PLTMH

Berikut merupakan tahapan atau langkah-langkah yang dilakukan dalam

penelitian ini, yang dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.1 Realisasi Prototype PLTMH Menggunakan Turbin Pelton

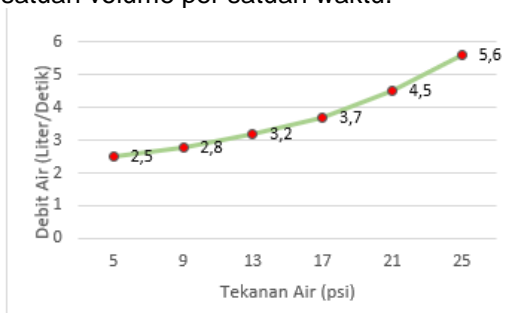
Berikut merupakan realisasi dari prototype PLTMH dengan menggunakan turbin pelton yang dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Realisasi PrTOTYPE PLTMH Menggunakan Turbin Pelton

4.2 Pengukuran Debit Air

Pengukuran debit air pada penelitian ini menggunakan metode penampungan air dalam bak air yang berkapasitas 45 liter. Pengukuran ini dilakukan dengan cara mencatat hasil waktu yang diperoleh untuk memenuhi bak dengan variasi tekanan air yang nantinya akan digunakan sebagai pembagi dari hasil perhitungan debit, dimana pengukuran debit air menggunakan persamaan yaitu seberapa banyak air yang mengalir dalam satuan volume per satuan waktu.

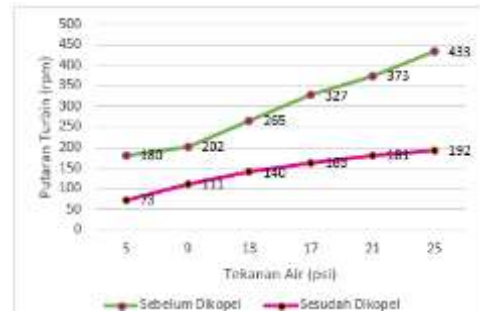


Gambar 6. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Debit Air

Berdasarkan gambar 6 dapat diketahui bahwa debit air akan semakin meningkat seiring dengan peningkatan tekanan air. Hal tersebut disebabkan oleh semakin besarnya tekanan yang diberikan maka gaya dorong dari aliran air akan semakin besar dan kecepatan air untuk memenuhi box penampungan semakin meningkat sehingga menyebabkan debit air semakin besar. Debit air tertinggi saat tekanan air 25 psi yaitu sebesar 5,6 liter/detik, sedangkan debit air yang terendah terjadi saat tekanan air 5 psi yaitu sebesar 2,5 liter/detik.

4.3 Pengukuran Putaran Turbin

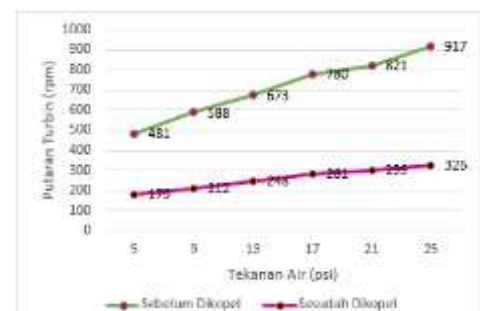
Pengukuran putaran turbin bertujuan untuk mengetahui berapa putaran turbin pelton sebelum dikopel dan sesudah dikopel dengan generator. Pengukuran ini dilakukan dengan cara yaitu menempelkan alat tachometer terhadap rotor turbin yang sedang berputar, sehingga dapat diamati hasil dari putaran turbin. Berikut merupakan grafik hasil pegujian tekanan air dan sudut nozzle terhadap putaran turbin yang dapat dilihat pada gambar 7, 8, dan 9.



Gambar 7. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Putaran Turbin pada Sudut Nozzle 60°



Gambar 8. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Putaran Turbin pada Sudut Nozzle 75°



Gambar 9. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Putaran Turbin pada Sudut Nozzle 90°

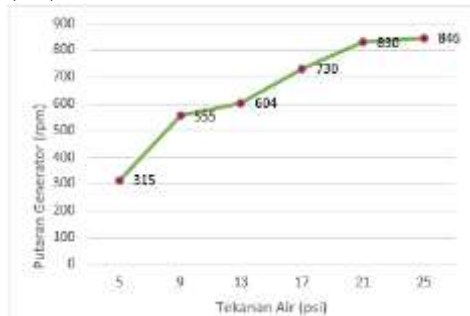
Berdasarkan gambar 7, 8, dan 9 dapat dilihat bahwa seiring dengan peningkatan nilai tekanan air maka putaran turbin akan semakin cepat, hal ini disebabkan oleh semakin besar gaya dorong aliran air pada pipa pesat yang menembak turbin sehingga akan menyebabkan turbin semakin cepat berputar. Saat turbin dikopel dengan generator kecepatan turbin menjadi menurun, hal ini disebabkan karena turbin mendapatkan beban kerja untuk memutar generator.

Kecepatan putaran turbin tertinggi sebelum dikopel dengan generator terjadi saat tekanan air 25 psi dengan sudut nozzle 90° yaitu sebesar 917 rpm. Sedangkan kecepatan putaran turbin terendah sebelum dikopel dengan generator terjadi saat tekanan air 5 psi dengan sudut nozzle 60° yaitu sebesar 180

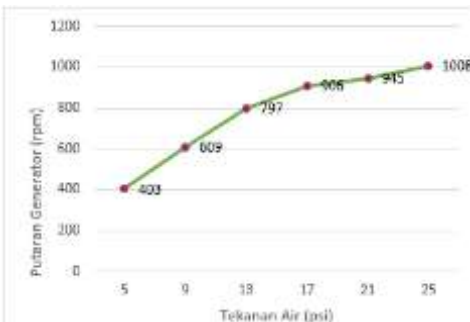
rpm. Kecepatan putaran turbin tertinggi setelah dikopel dengan generator terjadi saat tekanan air 25 psi dengan sudut *nozzle* 90° yaitu sebesar 326 rpm. Sedangkan kecepatan putaran turbin terendah setelah dikopel dengan generator terjadi saat tekanan air 5 psi dengan sudut *nozzle* 60° yaitu sebesar 73 rpm.

4.4 Pengukuran Putaran Geneator

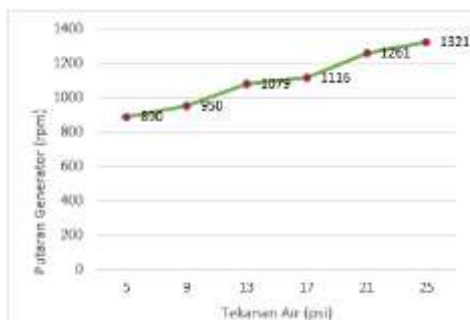
Pengukuran putaran generator bertujuan untuk mengetahui berapa putaran generator sesudah dikopel dengan turbin. Pengukuran putaran generator menggunakan alat yang bernama tachometer dengan cara pengukuran yaitu ditempelkan pada rotor generator. Berikut merupakan grafik hasil pegujian tekanan air dan sudut *nozzle* terhadap putaran generator yang dapat dilihat pada gambar 10,11, dan 12.



Gambar 10. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Putaran Generator pada Sudut *Nozzle* 60°



Gambar 11. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Putaran Generator pada Sudut *Nozzle* 75°



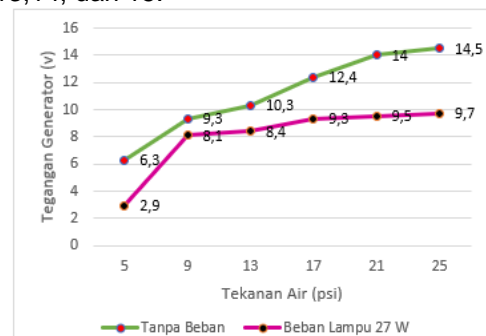
Gambar 12. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Putaran Generator pada Sudut *Nozzle* 90°

Berdasarkan gambar 10, 11, dan 12 dapat dilihat bahwa seiring dengan peningkatan nilai tekanan air maka putaran generator juga akan semakin cepat, hal ini disebabkan oleh semakin besar gaya dorong aliran air pada pipa pesat yang menembak turbin sehingga akan menyebabkan turbin semakin cepat berputar. Semakin cepatnya perputaran turbin menyebabkan putaran generator juga semakin cepat.

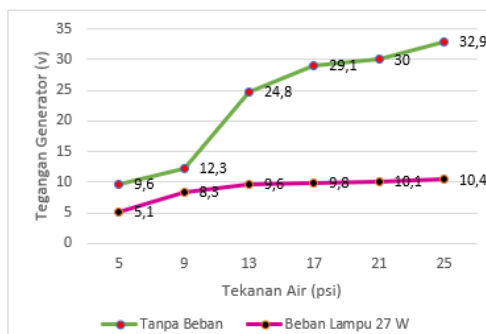
Kecepatan putaran generator tertinggi terjadi saat tekanan air 25 psi dengan sudut *nozzle* 90° yaitu sebesar 1321 rpm. Sedangkan kecepatan putaran generator terendah terjadi saat tekanan air 5 psi dengan sudut *nozzle* 60° yaitu sebesar 315 rpm.

4.5 Pengukuran Tegangan Geneator

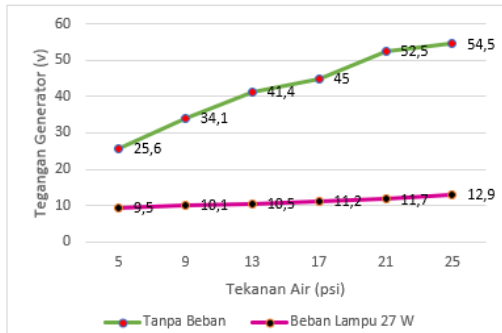
Pengukuran tegangan generator bertujuan untuk mengetahui berapa tegangan yang dihasilkan oleh generator setelah dikopel dengan turbin. Berikut merupakan grafik hasil pegujian tekanan air dan sudut *nozzle* terhadap tegangan generator yang dapat dilihat pada gambar 13,14, dan 15.



Gambar 13. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Tegangan Generator pada Sudut *Nozzle* 60°



Gambar 14. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Tegangan Generator pada Sudut *Nozzle* 75°



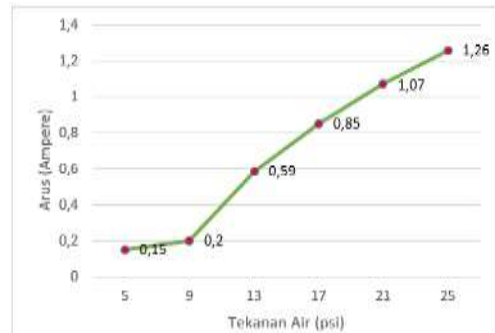
Gambar 15. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Tegangan Generator pada Sudut Nozzle 90°

Berdasarkan gambar 13, 14, dan 15 dapat dilihat bahwa seiring dengan peningkatan nilai tekanan air maka tegangan generator juga akan semakin meningkat, hal ini disebabkan oleh semakin besar gaya dorong aliran air pada pipa pesat yang menembak turbin sehingga akan menyebabkan turbin semakin cepat berputar. Semakin cepatnya perputaran turbin menyebabkan putaran generator juga semakin cepat sehingga tegangan yang dihasilkan generator akan semakin besar.

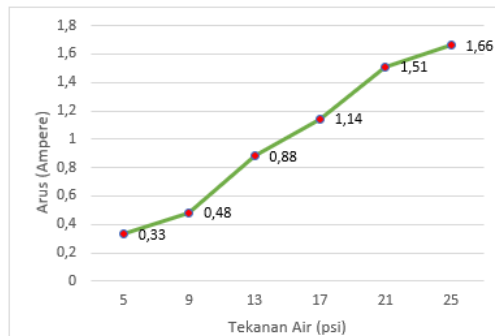
Tegangan generator tertinggi saat tidak berbeban terjadi pada tekanan air 25 psi dengan sudut *nozzle* 90° yaitu sebesar 54,5 Volt, sedangkan tegangan generator terendah terjadi pada tekanan air 5 psi dengan sudut *nozzle* 60° yaitu sebesar 6,3 Volt. Ketika diberi beban sebesar 27 Watt tegangan generator tertinggi terjadi pada tekanan air 25 psi dengan sudut *nozzle* 90° yaitu sebesar 12,9 Volt, sedangkan tegangan generator terendah terjadi saat tekanan air 5 psi dengan sudut *nozzle* 60° yaitu sebesar 2,9 Volt. Tegangan dalam keadaan berbeban hasilnya lebih rendah dibandingkan dengan tegangan tidak berbeban, hal ini disebabkan karena adanya beban lampu 27 Watt yang diberikan pada generator sehingga memperlambat putaran generator yang menyebabkan tegangannya menjadi menurun.

4.6 Pengukuran Arus Geneator

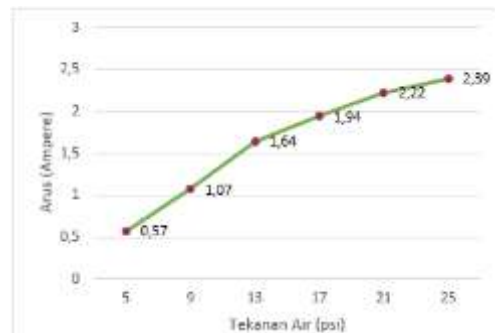
Pengukuran arus generator bertujuan untuk mengetahui berapa arus yang dihasilkan oleh generator setelah dikopel dengan turbin. Berikut merupakan grafik hasil pegujian tekanan air dan sudut *nozzle* terhadap tegangan generator yang dapat dilihat pada gambar 16,17, dan 18.



Gambar 16. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Arus Generator pada Sudut Nozzle 90°



Gambar 17. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Arus Generator pada Sudut Nozzle 75°



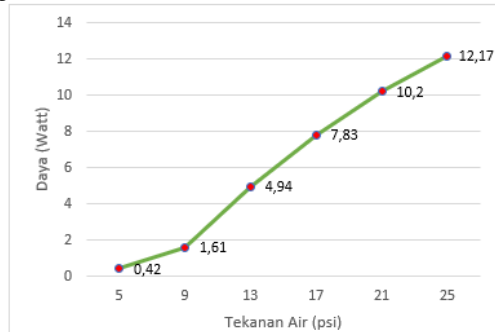
Gambar 18. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Arus Generator pada Sudut Nozzle 90°

Berdasarkan gambar 16,17, dan 18 dapat dilihat bahwa seiring dengan peningkatan nilai tekanan air maka arus generator juga akan semakin meningkat, hal ini disebabkan oleh semakin besar gaya dorong aliran air pada pipa pesat yang menembak turbin sehingga akan menyebabkan turbin semakin cepat berputar. Semakin cepatnya perputaran turbin menyebabkan putaran generator juga semakin cepat sehingga arus yang dihasilkan generator akan semakin besar.

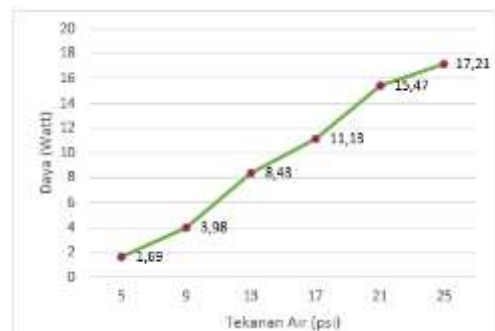
Arus generator tertinggi terjadi saat tekanan air 25 psi dengan sudut *nozzle* 90° yaitu sebesar 2,39 Ampere, sementara arus generator terendah terjadi saat tekanan air 5 psi dengan sudut *nozzle* 60° yaitu sebesar 0,15 Ampere.

4.7 Perhitungan Daya Geneator

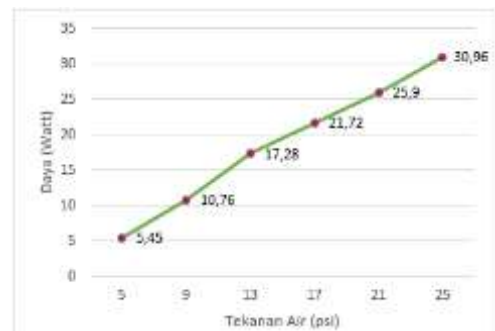
Daya generator ini diperoleh dari pengukuran arus dan tegangan dimana daya *output* generator adalah hasil kali dari tegangan generator dengan arus generator. Berikut merupakan grafik hasil peugujian tekanan air dan sudut *nozzle* terhadap tegangan generator yang dapat dilihat pada gambar 19,20, dan 21.



Gambar 19. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Daya Generator pada Sudut Nozzle 60°



Gambar 20. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Daya Generator pada Sudut Nozzle 75°



Gambar 21. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Daya Generator pada Sudut Nozzle 90°

Berdasarkan gambar 19, 20 dan 21 dapat dilihat bahwa seiring dengan peningkatan nilai tekanan air maka daya generator juga akan semakin meningkat, hal ini disebabkan oleh semakin besar gaya dorong aliran air pada pipa pesat yang menembak turbin sehingga akan menyebabkan turbin semakin cepat berputar. Semakin cepatnya perputaran

turbin menyebabkan putaran generator juga semakin cepat sehingga daya yang dihasilkan generator akan semakin besar.

Daya generator tertinggi terjadi saat tekanan air 25 psi dengan sudut *nozzle* 90° yaitu sebesar 30,96 Watt, sementara daya generator terendah terjadi saat tekanan air 5 psi dengan sudut *nozzle* 60° yaitu sebesar 0,42 Watt.

4.8 Perhitungan Daya Hidrolis

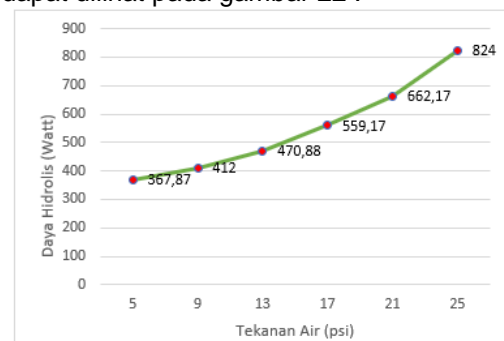
Berdasarkan debit air yang diperoleh sesuai dengan gambar 5, maka perhitungan daya hidrolis yaitu sebagai berikut :

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

$$= 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,0025 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 15 \text{ m}$$

$$= 367,87 \text{ Watt}$$

Grafik hasil perhitungan daya hidrolis dari semua tekanan air yang berbeda-beda dapat dilihat pada gambar 22 :



Gambar 22. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Daya Hidrolis

Berdasarkan gambar 4.22 dapat dilihat bahwa peningkatan tekanan air yang diberikan akan menyebabkan daya hidrolis semakin meningkat. Daya hidrolis tertinggi terjadi saat tekanan air 25 psi yaitu sebesar 941,77 Watt, sedangkan daya hidrolis terendah terjadi saat tekanan air 5 psi yaitu sebesar 267,87 Watt.

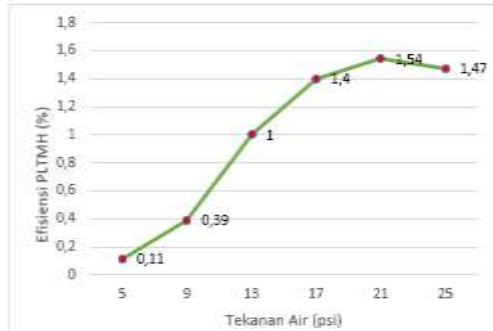
4.9 Perhitungan Efisiensi Pada Prototype PLTMH Menggunakan Turbin Pelton

Perhitungan efisiensi diperoleh dari daya *output* (daya generator) dibagi daya *input* (daya hidrolis), yaitu sebagai berikut :

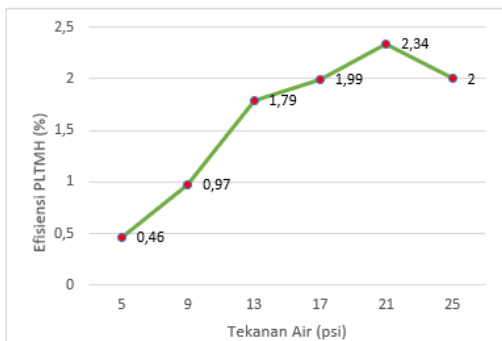
$$\eta_{\text{PLTMH}} = \frac{P_G}{P_H} \cdot 100\% = \frac{5,45}{367,87} \cdot 100\%$$

$$= 1,49 \%$$

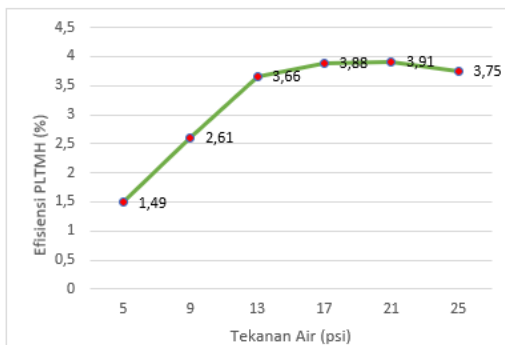
Grafik hasil perhitungan efisiensi sistem *prototype* PLTMH dari semua tekanan air dan sudut *nozzle* yang berbeda dapat dilihat pada gambar 23, 24, 25 :



Gambar 23. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Efisiensi PLTMH pada Sudut Nozzle 60°



Gambar 24. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Efisiensi PLTMH pada Sudut Nozzle 75°



Gambar 25. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Efisiensi PLTMH pada Sudut Nozzle 90°

Berdasarkan gambar 23, 24, dan 25 dapat dilihat bahwa seiring dengan peningkatan nilai tekanan air maka efisiensi PLTMH juga akan semakin meningkat walaupun diatas tekanan air 21 psi efisiensi PLTMH menurun. Penurunan ini disebabkan oleh desain ideal dari perancangan turbin pada *prototype* ini adalah menggunakan *head* 15 meter atau setara dengan tekanan 21 psi, sehingga diatas tekanan 21 psi akan menyebabkan efisiensi PLTMH menurun.

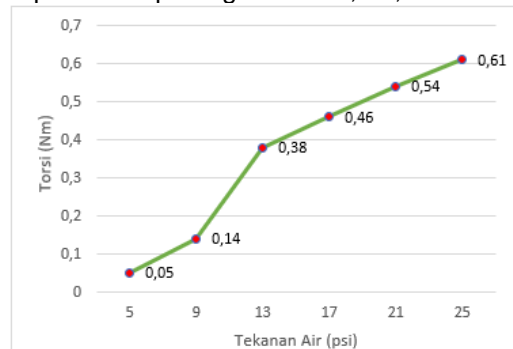
Efisiensi PLTMH tertinggi terjadi saat tekanan air 21 psi dengan sudut *nozzle* 90° yaitu 3,91 %, sedangkan efisiensi terendah terjadi saat tekanan 5 psi dengan sudut *nozzle* 60° yaitu 0,11 %.

4.10 Perhitungan Torsi Pada *Prototype* PLTMH Menggunakan Turbin Pelton

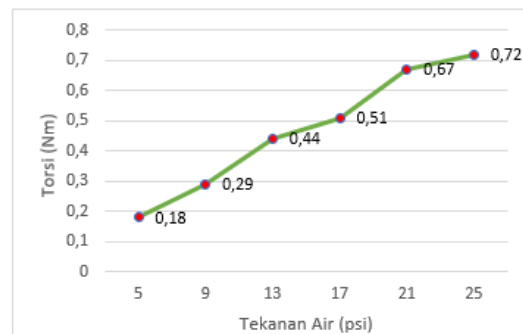
Berdasarkan pengukuran yang dilakukan pada pengujian *prototype* PLTMH dengan input tekanan air dan sudut *nozzle* yang berbeda-beda maka akan diperoleh torsi turbin saat dikopel dengan generator yaitu sebagai berikut :

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{\pi}{60}} = \frac{5,45}{2 \times 3,14 \times \frac{179}{60}} = 0,29 \text{ Nm}$$

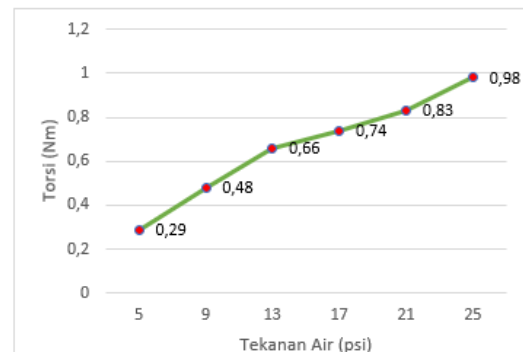
Grafik hasil perhitungan torsi dari semua tekanan air dan sudut *nozzle* yang berbeda dapat dilihat pada gambar 26, 27, 28 :



Gambar 26. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Torsi pada Sudut Nozzle 60°



Gambar 27. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Torsi pada Sudut Nozzle 75°



Gambar 28. Grafik Perubahan Tekanan Air Terhadap Torsi pada Sudut Nozzle 90°

Berdasarkan gambar 26, 27, dan 28 dapat dilihat bahwa peningkatan

tekanan air yang diberikan akan menyebabkan torsi yang dihasilkan semakin meningkat. Torsi tertinggi terjadi saat tekanan air 25 psi pada sudut *nozzle* 90° yaitu sebesar 0,98 Nm, sedangkan torsi terendah terjadi saat tekanan air 5 psi pada sudut *nozzle* 60° yaitu sebesar 0,05 Nm.

5. SIMPULAN

Simpulan yang diperoleh berdasarkan hasil dari pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Nilai *Output* maksimum yang diperoleh pada saat pengujian *prototype* PLTMH yaitu pada tekanan air 25 psi dengan sudut *nozzle* 90° yang menghasilkan putaran turbin sebesar 917 rpm sebelum dikopel generator dan 326 rpm sesudah dikopel generator, putaran generator sebesar 1321 rpm, tegangan generator sebesar 12,9 Volt, dan daya generator sebesar 30,96 Watt.
2. Efisiensi tertinggi terjadi saat tekanan air 21 psi dengan sudut *nozzle* 90° yaitu sebesar 3,91 %, hal ini disebabkan karena desain ideal dari perancangan turbin pada *prototype* PLTMH ini adalah menggunakan *head* 15 meter atau setara dengan tekanan air 21 psi, sehingga pada tekanan air 21 psi akan memperoleh efisiensi maksimum.
3. Berdasarkan hasil pengukuran, pada tekanan air 25 psi menghasilkan *output* (putaran turbin, putaran generator, tegangan, dan daya generator) maksimum. Hal ini disebabkan oleh semakin besar gaya dorong aliran air pada pipa pesat yang menyebabkan turbin sehingga akan menyebabkan turbin semakin cepat berputar. Semakin cepatnya perputaran turbin menyebabkan putaran generator, tegangan generator, dan daya generator akan semakin besar.
4. Berdasarkan hasil pengukuran, sudut *nozzle* 90° menghasilkan putaran turbin tertinggi. Hal ini terjadi karena pada sudut *nozzle* 90° air yang jatuh keluar dari ujung *nozzle* tepat mengenai sisi tengah/titik berat sudu (*bucket*) turbin dimana air akan dibelah menjadi dua bagian yang tepat mengenai mangkok sudu turbin

sehingga turbin mendapatkan gaya dorong air yang maksimum.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mulyadi, M., Margianto, M., Marlina, E. 2017. Pengaruh Jarak Semprot *Nozzle* Terhadap Putaran Poros Turbin dan Daya Listrik yang dihasilkan pada *Prototype* Turbin Pelton. Malang : Universitas Islam Malang.
- [2] Irawan, D. 2018. *Prototype* Turbin Pelton Sebagai Energi Alternatif Mikrohidro di Lampung. Lampung : Universitas Muhammadiyah Metro.
- [3] Yusuf, M. R., Hasbi, M., Samhuddin. 2019. Analisa Pengaruh Variasi Tekanan dan Jarak Semprot *Nozzle* terhadap Daya *Output* pada Instalasi Turbin Pelton. ENTHALPY-Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin Vol. 4, No. 1, ISSN: 2502-8944.
- [4] Putra, G. A. A. 2009. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan Turbin Pelton. Yogyakarta : Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
- [5] Putra, I G. W. , Weking A. I. , Jasa L. 2018. Analisa Pengaruh Tekanan Air Terhadap Kinerja PLTMH dengan Menggunakan Turbin *Archimedes Screw*. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 17 (3) : 385-392.
- [6] Sihaloho, D.L. 2017. Rancang Bangun Alat Uji Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan Turbin Aliran Silang. Bandar Lampung : Universitas Lampung.
- [7] Saputra, I.W.B. Weking, A.I, Jasa, L. 2017. Rancang Bangun Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan Kincir *Overshot Wheel*. *Teknologi Elektro*, Vol. 16, No. 02, Mei-Agustus 2017.