

## Pengaruh Variasi Ukuran Sudu Setengah Lingkaran Terhadap Kecepatan Putaran Turbin Air Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

**Revando Ardi Saputra**

D4 Teknik Listrik, Fakultas, Vokasi Universitas Negeri Surabaya  
revando.19014@mhs.unesa.ac.id

**Reza Rahmadian, Aditya Chandra Hermawan, dan Mahendra Widayartono**

D4 Teknik Listrik, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya  
rezarahmadian@unesa.ac.id, adityahermawan@unesa.ac.id, mahendrawidayartono@unesa.ac.id

### Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) sebagian besar dibangun pada daerah yang memiliki potensi debit yang besar. Dalam penelitian ini dilakukan investigasi terhadap sudu turbin bentuk setengah lingkaran dengan volume yang sama tetapi memiliki ukuran yang berbeda untuk mendapatkan hasil yang efektif dengan rpm, torsi serta tegangan keluaran yang besar. Untuk mendapatkan hasil yang efektif, dibuatkannya perbandingan sudu dengan 3 variasi ukuran yang berbeda. Ukuran sudu yang digunakan yaitu ukuran 82x100x35mm, 102x120x25mm, dan 122x140x18mm untuk membandingkan besaran rpm. Hasil rpm yang didapat akan mendapatkan hasil torsi melalui perhitungan rumus torsi. Rpm generator dipengaruhi oleh turbin yang menggunakan pulley dengan perbandingan 1:3. Data luasan untuk menampung air pada setiap sudu menggunakan rumus LAM 3. Hasil pengukuran yang dilakukan diperoleh nilai tertinggi ukuran sudu 82x100x35mm pada saat turbin sebelum dikopel generator nilai rpm sebesar 218,56 rpm, setelah dikopel generator 207,32 rpm, berbeban 10W 193 rpm, dan berbeban 15W 203,4 rpm serta tegangan 26,14V dan arus 0,33A pada saat dibebani 10W. Begitu juga dengan torsi yang paling ringan adalah turbin dengan sudu 82x100x35mm yang menghasilkan torsi sebelum dikopel generator 4,2 Nm, setelah dikopel generator 4,5 Nm, berbeban 10W 4,85 Nm, dan berbeban 15W 4,6 Nm.

**Kata Kunci:** Turbin *overshot*, rpm, torsi, tegangan, arus

### Abstract

This study focuses on Micro Hydro Power Plants, which are typically built in areas with significant discharge potential. An investigation was conducted on semi-circular turbine blades with the same volume but different sizes to achieve effective results in terms of large rpm, torque, and output voltage. A comparison was made using three different blade sizes: 82x100x35mm, 102x120x25mm, and 122x140x18mm, with the main focus on rpm. The obtained rpm results were used to calculate torque using the appropriate formula. The generator rpm is influenced by a turbine that uses a pulley with a ratio of 1:3. The water holding area data for each blade was calculated using the LAM 3 formula. The study found that the 82x100x35mm blade size yielded the highest rpm values of 218.56 rpm before coupling to the generator and 207.32 rpm after coupling. With a 10W load, the rpm was 193 rpm, and with a 15W load, it reached 203.4 rpm. Additionally, the turbine with the 82x100x35mm blades produced the lowest torque, measuring 4.2 Nm before coupling to the generator and 4.5 Nm after coupling. With a 10W load, the torque reached 4,85 Nm, and with a 15W load, it measured 4,6 Nm.

**Keywords:** Turbine *overshot*, rpm, torque, voltage, current

### PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia. Proses pembangkitan tenaga listrik dibagi menjadi dua yaitu pembangkit listrik terbarukan dan pembangkit listrik tidak terbarukan. Pembangkit listrik terbarukan meliputi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), dan Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU). Sedangkan pembangkit listrik tidak terbarukan meliputi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD),

dan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) (Yuniarti dan Aji, 2019).

Permasalahan yang dihadapi pada era sekarang yaitu menipisnya ketersediaan sumber energi untuk PLTU maupun PLTD dimana sumber energinya tidak dapat diperbarui. Terdapat beberapa efek buruk seperti pembakaran fosil yang menghasilkan polutan sehingga berpotensi merusak ozon dan dapat meningkatkan pemanasan global. Penggunaan sumber energi untuk pembangkit listrik terdiri dari BBM sebesar 24,1%, batubara 31,6%, gas 28,7%, sedangkan air hanya sebesar 10,9%, panas bumi dan energi terbaru lainnya 1,8% (ESDM, 2007). Kebutuhan akan listrik di seluruh negara meningkat secara signifikan, dengan kenaikan itu terdapat

batasan untuk menghasilkan listrik dikarenakan sumber energinya sangat mahal dan juga semakin menipis dan akan mengakibatkan krisis energi. Untuk mengatasinya, diperlukan pengembangan energi terbarukan yang sumber energinya memanfaatkan energi alam seperti air, angin, ataupun panas matahari.

Salah satu sumber daya alam yang tidak terbatas jumlahnya adalah air. Air juga mempunyai potensi yang besar untuk digunakan sebagai penghasil sumber energi karena tidak menghasilkan polutan dan pemanasan global. Untuk memanfaatkannya, diperlukan suatu alat yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah alat untuk mengonversi energi air menjadi energi listrik. Salah satu bagian dari PLTMH adalah turbin. Turbin inilah yang difungsikan untuk mengubah energi dari sumber energi primer menjadi energi gerak atau energi mekanik (Suripto, 2017). Adapun parameter desain yang dapat mempengaruhi turbin PLTMH adalah jumlah sudu, bentuk sudu, diameter turbin, rpm, lebar turbin, sudut nozzle, dan posisi nozzle (Christiawan, dkk, 2017). Terdapat salah satu bagian dari turbin yang dapat memaksimalkan putaran turbin yaitu pada bagian sudu. Oleh karena itu terdapat beberapa permasalahan yaitu bagaimana cara menentukan sudu turbin air agar dapat mendapatkan hasil rpm yang maksimal, serta apa pengaruh ukuran sudu terhadap kecepatan putaran turbin air.

## KAJIAN PUSTAKA

### A. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik yang menggunakan air sebagai media untuk menggerakkan turbin dan generator yang mempunyai skala kecil yaitu kurang dari 100 kW.

Salah satu sumber energi terbarukan yaitu PLTMH dan juga ramah lingkungan. Sumber PLTMH berupa aliran sungai atau danau yang dibendung atau dari ketinggian tertentu yang dapat menggerakkan turbin sebagai penggerak dari generator. Pembangkit ini tergantung dari jatuhnya air, semakin besar debit air yang sesuai dengan turbin, maka potensi untuk diubah ke energi listrik akan semakin besar (Solihat, 2020).

Terdapat tiga komponen utama dalam mikrohidro yaitu air, turbin, dan generator. Air dapat berupa saluran irigasi, arus sungai, dan tinggi air terjun dan debit air (Purwanto, 2017).

### B. Turbin Air

Salah satu komponen pada PLTMH adalah turbin air. Contoh paling sederhana yaitu kincir air.

Kincir air sudah digunakan sejak ribuan tahun yang lalu. Terdapat beberapa tipe kincir air salah satunya tipe *overshot*. Kincir air tipe *overshot* sudah digunakan pada abad ke-14 yang memanfaatkan ketinggian reservoir air dan mencapai efisiensi 75% atau bahkan dapat mencapai 80% (PPPPTK, 2015).

Untuk menentukan daya turbin dapat menggunakan persamaan (1) (Kurnia, dkk, 2022) :

$$P_{turbin} = Q \times \rho \times g \times h \times \eta_{turbin} \quad (1)$$

Dimana  $Q$  adalah debit air ( $m^3/s$ ),  $\rho$  adalah massa jenis air dengan nilai  $1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $g$  adalah gravitasi dengan nilai  $9,8 \text{ m/s}^2$ ,  $h$  adalah ketinggian, dan adalah kecepatan putaran turbin

Selain itu, untuk menentukan kecepatan putaran turbin menggunakan persamaan (2) (Erliza, 2012) :

$$n_{turbin} = \frac{41 \times \sqrt{h}}{D} \quad (2)$$

Dimana  $h$  adalah ketinggian dan  $D$  adalah diameter dalam *runner* turbin.

Sedangkan untuk mencari torsi turbin dapat menggunakan persamaan (3) (Kurnia, dkk, 2022) :

$$T = \frac{P_{turbin}}{2 \times \pi \times \frac{n}{60}} \quad (3)$$

Dimana  $P_{turbin}$  adalah daya yang dihasilkan turbin dan  $n$  adalah kecepatan putaran yang ditentukan.

### C. Komponen Turbin Air

#### 1. Rumah Turbin

Rumah turbin adalah tempat dimana turbin terpasang

#### 2. Disk/Runner Turbin

Pada dasarnya *runner* turbin terdiri dari beberapa sudu yang terpasang di keliling kincir. Kecepatan keliling *runner* dapat dihitung menggunakan persamaan (Eisenring, 1994) :

$$U_1 = k_u \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (4)$$

Dimana  $U_1$  adalah kecepatan keliling optimal (m/s),  $k_u$  adalah *speed ratio* dengan nilai 0.43-0.49.

Diameter *runner* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (5) (Eisenring, 1994):

$$D = \frac{60 \times U_1}{\pi \times n_g} \quad (5)$$

# Pengaruh Variasi Ukuran Sudu Setengah Lingkaran Terhadap Kecepatan Putaran Turbin Air Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Dimana :

$D$  = diameter dalam runner

$n_g$  = putaran generator (rpm)

Selain diameter dalam, diameter luar runner juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (6) (Eisenring, 1994) :

$$D_0 = D + 1.2 \cdot p \quad (6)$$

Dimana :

$D_0$  = diameter luar runner

### 3. Sudu

Sudu adalah bagian yang terpasang di disk atau runner. Jumlah sudu dapat dihitung menggunakan persamaan (7) (Eisenring, 1994) :

$$N = \frac{\pi \times D}{2 \times d_0} \quad (7)$$

Dimana :

$N$  = jumlah sudu

$d_0$  = diameter nosel

Dimensi sudu juga dapat dihitung dari persamaan (8), persamaan (9), dan persamaan (10) (Poea dan Rantung, 2013) :

$$l = (2.5 \sim 3.2) \cdot d_0 \quad (8)$$

$$p = (2.1 \sim 2.7) \cdot d_0 \quad (9)$$

$$t = (0.9) \cdot d_0 \quad (10)$$

Dimana  $l$  pada persamaan (8) adalah lebar sudu,  $p$  pada persamaan (9) adalah panjang sudu, dan  $t$  pada persamaan (10) adalah kedalaman sudu.

Volume sudu dipengaruhi dari parameter dimensi sudu dari persamaan diatas. Untuk menentukan besaran volume sudu, dapat menggunakan persamaan LAM pada persamaan (11) dan persamaan (12) (Christiawan, dkk, 2017) :

Luas alas :

$$A = \frac{p \times \bar{t}}{N} \quad (11)$$

Dimana :

$A$  = luas alas ( $cm^2$ )

$\bar{t}$  = rata-rata kedalaman sudu ( $cm$ )

Volume :

$$V_{LAM3} = A \cdot l \cdot \left\{ \frac{\pi}{N} \cdot (D_0 - D) \right\} \quad (12)$$

### 4. Nosel

Nosel adalah alat untuk mengubah tekanan yang semula rendah menjadi tekanan tinggi yang dipasang pada ujung pipa. Kecepatan mutlak dapat dihitung menggunakan persamaan (13) (Eisenring, 1994) :

$$c_1 = k_c \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (13)$$

Dimana  $c_1$  adalah kecepatan mutlak jet (m/s) dan  $k_1$  adalah koefisien nosel dengan nilai 0.96 – 0.98

Diameter pancaran nosel dapat dihitung dengan persamaan (14) (Eisenring, 1994) :

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times c_1}} \quad (14)$$

Dimana :

$d_0$  = diameter pancaran nosel (m)

Jika debit yang dihasilkan adalah debit yang keluar dari pompa air, maka dapat dihitung menggunakan persamaan (15) :

$$Q_{pompa} = \frac{P_{pompa}}{\rho \times g \times h} \quad (15)$$

Dimana  $P_{pompa}$  adalah daya pompa.

## METODE

Dalam perancangan turbin, terdapat beberapa parameter yang harus ditentukan terlebih dahulu. Parameter yang digunakan untuk pembuatan turbin ini adalah daya pompa air ( $P$ ) = 200W, ketinggian atau *head* ( $h$ ) = 2,5 m, gravitasi ( $g$ ) = 9,8 m/s<sup>2</sup>, efisiensi turbin diasumsikan 80% karena turbin yang akan dibuat adalah turbin air dengan tipe *overshot*, dan putaran generator ( $n_g$ ) diasumsikan minimal 150 rpm.

### A. Perencanaan Nosel

Dalam perencanaan nosel dapat mengikuti parameter diatas, Dari parameter tersebut didapat debit keluaran pompa dihitung menggunakan persamaan (15) dengan daya pompa 200W menghasilkan debit ( $Q_{pompa}$ ) 0,0082 m<sup>3</sup>/s.

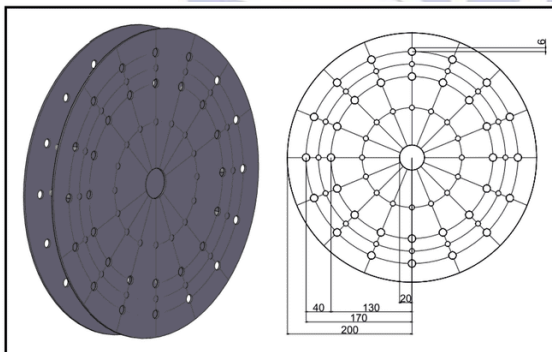
Daya yang dihasilkan turbin dipengaruhi oleh debit air, ketinggian 2,5 m, dan efisiensi turbin 80%, sehingga dapat dihitung menggunakan persamaan (1) mendapatkan hasil 160 W.

Kecepatan jatuh air ( $c_1$ ) dipengaruhi oleh ketinggian dan gravitasi  $9,8 \text{ m/s}^2$ , sehingga dapat dihitung menggunakan persamaan (13) menghasilkan  $6,86 \text{ m/s}$ . Kecepatan jatuh air ( $c_1$ ) dan debit air ( $Q$ ) akan mempengaruhi diameter pancaran nosel ( $d_0$ ), sehingga dapat dihitung menggunakan persamaan (14) menghasilkan diameter  $38,9 \text{ mm}$  atau  $40 \text{ mm}$ .

### B. Perencanaan Disk dan Kecepatan Putaran Turbin

Kecepatan keliling runner ( $U_1$ ) dipengaruhi oleh gravitasi ( $g$ ) dan ketinggian ( $h$ ), sehingga dapat menggunakan persamaan (4) dengan ketinggian ( $h$ ) =  $2,5$  meter menghasilkan  $3,01 \text{ m/s}$ .

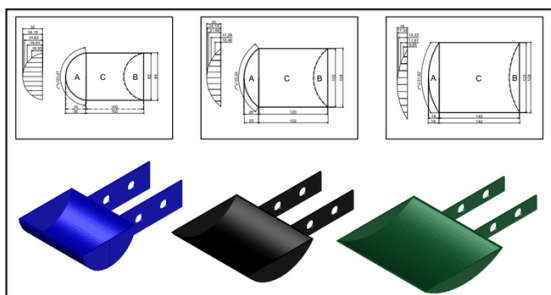
Dari hasil ( $U_1$ ) serta dipengaruhi oleh rpm generator ( $n_g$ ) dengan nilai  $150 \text{ rpm}$  dapat menghitung diameter dalam runner turbin ( $D$ ) dengan persamaan (5) menghasilkan diameter sebesar  $40 \text{ cm}$ . Sedangkan diameter luar turbin dipengaruhi oleh panjang sudu ( $p$ ) dan diameter dalam runner ( $D_0$ ) sehingga dapat dihitung menggunakan persamaan (6) menghasilkan diameter sebesar  $48 \text{ cm}$ .



Gambar 1. Ukuran Disk Turbin

Rpm turbin dipengaruhi oleh diameter dalam disk ( $D$ ) dan ketinggian ( $h$ ). Sehingga hasil rpm turbin dari persamaan (2) dengan nilai  $134,6 \text{ rpm}$ .

### C. Perencanaan Sudu Turbin



Gambar 2. Variasi Ukuran Sudu Turbin

Diameter luar dalam disk ( $D$ )  $48 \text{ cm}$  dan diameter pancaran nosel ( $d_0$ )  $40 \text{ mm}$  dapat mempengaruhi jumlah sudu dan dapat dihitung menggunakan persamaan (7) menghasilkan sudu  $16$  buah.

Dari Gambar 2. sudu warna biru diperoleh dari perhitungan meliputi lebar sudu, panjang sudu, dan kedalaman sudu yang dipengaruhi oleh diameter pancaran nosel ( $d_0$ )  $40 \text{ mm}$ , sehingga dapat dihitung menggunakan persamaan (8), (9), dan (10) lebar sudu ( $l$ )  $100 \text{ mm}$ , panjang sudu ( $p$ )  $82 \text{ mm}$ , dan kedalaman sudu ( $t$ )  $35 \text{ mm}$ .

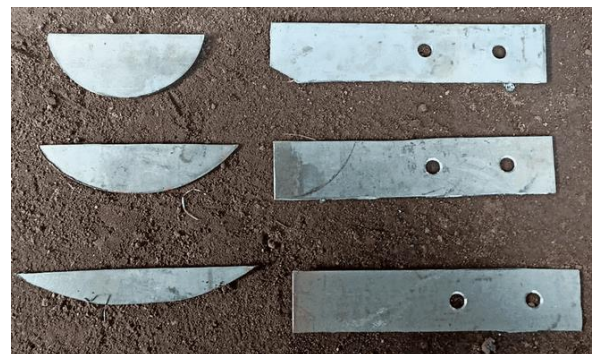
Dari hasil ukuran tersebut dapat mencari luas alas sudu ( $A$ ) menggunakan persamaan (11) mendapatkan nilai  $1,517 \text{ cm}^2$ . Sedangkan untuk mencari volume sudu dipengaruhi oleh diameter dalam ( $D_0$ ) dan diameter luar runner ( $D$ ) sehingga dapat dihitung menggunakan persamaan (12) mendapatkan nilai  $0,6351 \text{ liter}$ .

Dari perhitungan tersebut mendapatkan ukuran sudu standar yaitu  $82 \times 100 \times 35 \text{ mm}$ . Sedangkan sudu dengan warna hitam dan biru adalah variasi ukuran dari ukuran sudu warna biru dimana panjang dan lebarnya dlebihkan  $20 \text{ mm}$  dari sudu standarnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### D. Hasil Desain Alat

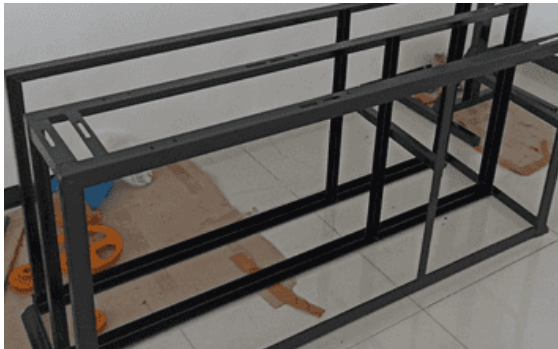
Alat ini dirancang untuk mengetahui perbedaan kecepatan putaran (rpm) dan torsi pada turbin serta kecepatan putaran (rpm) dan torsi generator yang dipengaruhi oleh variasi ukuran sudu berbentuk setengah lingkaran pada Gambar 3. Pada Gambar 4 sudu dipasang pada turbin Jika dikopel dengan generator dapat mengetahui output tegangan dan arus yang dihasilkan. Penghubung antara turbin dan generator menggunakan vanbelt dengan rasio pulley  $1:3$ . Pada Gambar 6 diameter pulley pada turbin sebesar  $12 \text{ inch}$  dan diameter pulley pada generator sebesar  $4 \text{ inch}$ . Pada gambar 5 adalah rangka alat dimana semua komponen terpasang pada saat pengujian dilakukan.



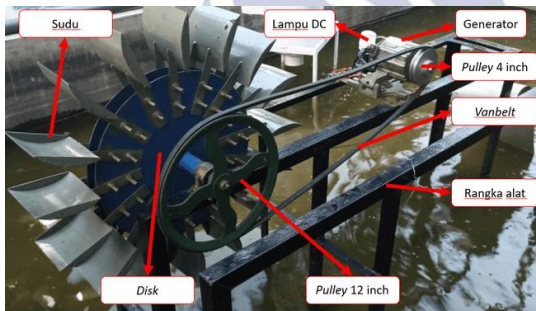
Gambar 3. Realisasi Bentuk dan Ukuran Sudu



Gambar 4. Assembly Sudu dan Disk



Gambar 5. Realisasi Rangka Alat



Gambar 6. Realisasi Turbin *Overshot* dan Generator

### E. Hasil Penelitian

Pengujian ini untuk mengetahui rpm dan torsi turbin, serta tegangan dan arus yang dihasilkan dari generator dengan debit sebesar 5 l/s dengan rasio 1:3. Pengukuran rpm menggunakan tachometer sedangkan tegangan dan arus menggunakan multimeter. Berikut tabel pengukuran sudu 82x100x35mm, 102x120x25mm, dan 122x140x18mm.

### F. Perhitungan Torsi Turbin dan Generator

Perhitungan torsi turbin dan generator dipengaruhi oleh daya turbin, dimana daya turbin dihitung dari persamaan (1) sehingga menghasilkkan daya sebesar 98 Watt dengan debit ( $Q$ ) sebesar 5 liter/detik dan ketinggian ( $h$ ) 2,5 meter.

Daya yang diperoleh tersebut dapat mempengaruhi torsi turbin jika dihitung dengan persamaan (3). Kecepatan putaran ( $n$ ) juga akan mempengaruhi hasil dari torsi. Berikut adalah hasil dari perhitungan torsi turbin dan generator pada masing-masing sudu.

#### 1. Sudu Ukuran 82x100x35mm

Torsi turbin pada saat sebelum dikopel generator mendapatkan torsi sebesar 4,2 Nm, setelah dikopel generator 4,5 Nm, berbeban 10W sebesar 4,85 Nm, dan beban 15W sebesar 4,6 Nm. Sedangkan untuk torsi generator pada saat tanpa beban sebesar 1,5 Nm, berbeban 10W sebesar 1,66 Nm, dan berbeban 15W sebesar 1,57 Nm.

#### 2. Sudu Ukuran 102x120x25mm

Torsi turbin pada saat sebelum dikopel generator mendapatkan torsi sebesar 4,77 Nm, setelah dikopel generator 5,38 Nm, berbeban 10W sebesar 5,51 Nm, dan beban 15W sebesar 5,42 Nm. Sedangkan untuk torsi generator pada saat tanpa beban sebesar 1,89 Nm, berbeban 10W sebesar 1,95 Nm, dan berbeban 15W sebesar 1,93 Nm.

#### 3. Sudu Ukuran 122x140x18mm

Torsi turbin pada saat sebelum dikopel generator mendapatkan torsi sebesar 5,34 Nm, setelah dikopel generator 5,62 Nm, berbeban 10W sebesar 5,86 Nm, dan beban 15W sebesar 5,66 Nm. Sedangkan untuk torsi generator pada saat tanpa beban sebesar 1,92 Nm, berbeban 10W sebesar 1,96 Nm, dan berbeban 15W sebesar 1,92 Nm.

Tabel 1. Pengukuran Rpm dan Torsi Pada Turbin 82x100x35mm

Percobaan	Sebelum dikopel G		Setelah dikopel G		Berbeban 10W		Berbeban 15W	
	Rpm	Torsi	Rpm	Torsi	Rpm	Torsi	Rpm	Torsi
1	218,8		204,8		191,4		204,3	
2	219,1		209,4		193,9		204,7	
3	218,5	4,2	209,6	4,5	192	4,85	200,5	4,6
4	218,3		205,3		193,4		203,3	
5	218,1		207,5		194,3		204,2	
<b>Rata-rata</b>	<b>218,56</b>		<b>207,32</b>		<b>193</b>		<b>203,4</b>	

Tabel 2. Pengukuran Rpm, Torsi, Tegangan, dan Arus Generator

<b>GENERATOR SUDU 82x100x35MM</b>											
Percobaan	Tanpa Beban			Berbeban 10W				Berbeban 15W			
	Rpm	Torsi	V	Rpm	Torsi	V	A	Rpm	Torsi	V	A
1	603		30,46	561,4		26,19	0,325	595,3		29,28	0,1
2	601,6		30,55	560,4		26,19	0,326	594,1		29,42	0,104
3	602,5	1,5	30,49	562,8	1,66	26,09	0,336	596,9	1,57	29,41	0,105
4	601,8		30,49	562,6		26,24	0,337	595,3		29,17	0,103
5	600,9		30,72	560,6		26,01	0,328	595,5		29,26	0,102
Rata-rata	<b>601,96</b>		<b>30,54</b>	<b>561,56</b>		<b>26,14</b>	<b>0,33</b>	<b>595,42</b>		<b>29,03</b>	<b>0,1028</b>

Tabel 3. Pengukuran Rpm dan Torsi Pada Turbin Sudu 102x120x25mm

<b>TURBIN SUDU 102x120x25MM</b>									
Percobaan	Sebelum dikopel G		Setelah dikopel G		Berbeban 10W		Berbeban 15W		
	Rpm	Torsi	Rpm	Torsi	Rpm	Torsi	Rpm	Torsi	
1	195,2		176,5		169,3		171,8		
2	197,4		174,1		170,2		172,7		
3	192,6	4,77	173,7	5,38	170,6	5,51	174,2	5,42	
4	198,4		173		169,5		173,5		
5	196,6		172		168,7		170,6		
Rata-rata	<b>196,04</b>		<b>173,86</b>		<b>169,66</b>		<b>172,56</b>		

Tabel 4. Pengukuran Rpm, Torsi, Tegangan, dan Arus Generator

<b>GENERATOR SUDU 102x120x25MM</b>											
Percobaan	Tanpa Beban			Berbeban 10W				Berbeban 15W			
	Rpm	Torsi	V	Rpm	Torsi	V	A	Rpm	Torsi	V	A
1	494,2		26,33	478,7		23,28	0,225	485,5		25,18	0,024
2	492,1		26,25	478,4		23,22	0,226	481,2		25,05	0,023
3	499,5	1,89	26,24	479,2	1,95	23,2	0,228	484,6	1,93	25,09	0,026
4	492,9		26,21	479,7		23,17	0,226	481,7		25,19	0,025
5	494,2		26,33	475,5		23,26	0,226	482,9		25,18	0,024
Rata-rata	<b>494,58</b>		<b>26,27</b>	<b>478,3</b>		<b>23,22</b>	<b>0,226</b>	<b>483,18</b>		<b>25,13</b>	<b>0,0244</b>

Tabel 5. Pengukuran Rpm dan Torsi Pada Turbin Sudu 122x140x18mm

<b>TURBIN SUDU 122x140x18MM</b>									
Percobaan	Sebelum dikopel G		Setelah dikopel G		Berbeban 10W		Berbeban 15W		
	Rpm	Torsi	Rpm	Torsi	Rpm	Torsi	Rpm	Torsi	
1	174,7		166,6		159		166,1		
2	174,4		165,8		158,1		164,5		
3	175,6	5,34	166	5,62	158,4	5,86	167,6	6,33	
4	176,8		167,9		161,7		164,7		
5	174,4		166,4		161,6		164		
Rata-rata	<b>175,18</b>		<b>166,54</b>		<b>159,76</b>		<b>165,38</b>		

Pengaruh Variasi Ukuran Sudu Setengah Lingkaran Terhadap Kecepatan Putaran Turbin Air Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Tabel 6. Pengukuran Rpm, Torsi, Tegangan, dan Arus Generator

GENERATOR SUDU 122x140x18MM											
Percobaan	Tanpa Beban			Berbeban 10W				Berbeban 15W			
	Rpm	Torsi	V	Rpm	Torsi	V	A	Rpm	Torsi	V	A
1	488		25,19	478,9		22,39	0,2	485,4		24,21	0,01
2	483,9		25,20	474,7		22,27	0,196	487,3		24,25	0,011
3	484,8	1,92	25,15	479,3	1,96	22,36	0,195	482,3	1,92	24,22	0,01
4	485,1		24,94	478		22,39	0,187	488		24,17	0,011
5	487		25,15	471,6		22,37	0,188	484,2		24,21	0,012
<b>Rata-rata</b>	<b>485,76</b>		<b>25,126</b>	<b>476,5</b>		<b>22,35</b>	<b>0,193</b>	<b>485,44</b>		<b>24,21</b>	<b>0,0108</b>

G. Pengujian Generator

Pada Tabel 7 dan Tabel 8 terdapat pengujian generator *open circuit* dan pengujian generator *short circuit*. Pengujian *open circuit* dilakukan untuk mengetahui tegangan keluaran dari generator dan pengujian *short circuit* dilakukan untuk mengetahui arus keluaran dari generator dengan rpm yang telah ditentukan sebagai tolak ukur.

Tabel 7. Pengujian Generator *Open Circuit*

Rpm	Tegangan (V)
2000	100
1800	91,2
1600	82,6
1400	69,6
1200	58,4
1000	49,4
800	40,79
600	30,81
400	19,4
250	13,3

Tabel 8. Pengujian Generator *Short Circuit*

Rpm	Arus (A)
400	4
350	3,62
300	3,13
250	2,54
200	2
150	1,385
100	0,88
50	0,23

H. Pembahasan

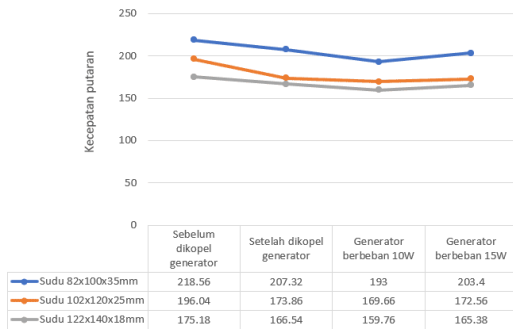
1. Rpm dan Torsi Turbin

Dari Gambar 7 dan Gambar 9, dapat dilihat bahwa dari ketiga variasi ukuran sudu tersebut, kecepatan putaran yang optimal dan torsi turbin yang ringan adalah turbin yang mempunyai sudu berbentuk setengah lingkaran ukuran 82x100x35mm yang mempunyai nilai rpm sebelum dikopel generator sebesar 218,56 rpm dengan nilai torsi sebesar 4,79 Nm, setelah dikopel generator tanpa beban sebesar 207,32 rpm dengan torsi 5,05 Nm, setelah dikopel generator berbeban 10 Watt sebesar 193 rpm dengan torsi 5,43 Nm, dan saat generator berbeban 15 Watt sebesar 203,4 rpm dengan torsi 5,35 Nm.

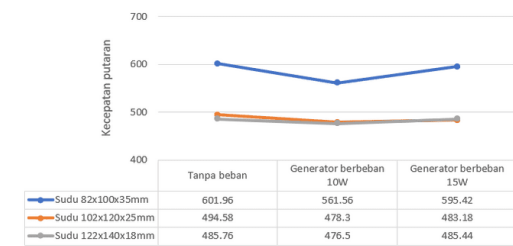
Sudu ukuran 102x120x25mm mempunyai nilai rpm sebelum dikopel generator sebesar 196,04 rpm dengan nilai torsi sebesar 5,34 Nm, setelah dikopel generator tanpa beban sebesar 173,86 rpm dengan torsi 6,03 Nm, generator berbeban 10 Watt sebesar 169,66 rpm dengan torsi 6,17 Nm, dan pada saat generator berbeban 15 Watt sebesar 172,56 rpm dengan torsi 6,07 Nm.

Sedangkan untuk sudu ukuran 122x140x18mm mempunyai nilai rpm yang pelan dan torsi yang berat diantara sudu lainnya. Pada saat sebelum dikopel generator sebesar 196,04 rpm dengan nilai torsi sebesar 5,34 Nm, setelah dikopel generator tanpa beban sebesar 173,86 rpm dengan torsi 6,03 Nm, saat generator berbeban 10 Watt sebesar 169,66 rpm dengan torsi 6,17 Nm, dan generator berbeban 15 Watt sebesar 172,56 rpm dengan torsi 6,07 Nm.

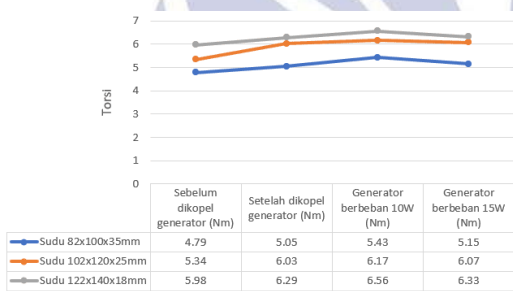
# Pengaruh Variasi Ukuran Sudu Setengah Lingkaran Terhadap Kecepatan Putaran Turbin Air Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro



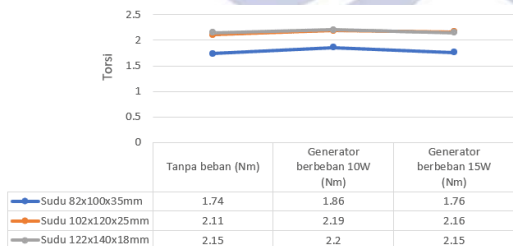
Gambar 7. Rpm Turbin Dari Ketiga Variasi Ukuran Sudu Turbin



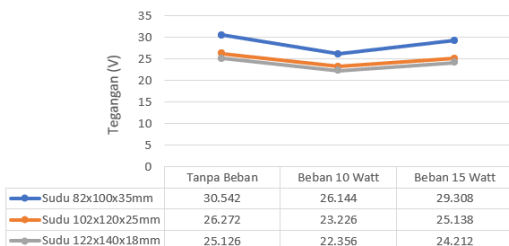
Gambar 8. Rpm Generator Dari Ketiga Variasi Ukuran Sudu



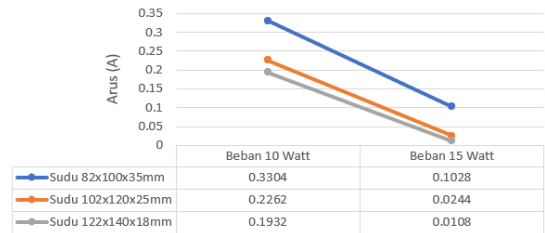
Gambar 9. Torsi Turbin Dari Ketiga Variasi Ukuran Sudu



Gambar 10. Torsi Generator Dari Ketiga Variasi Ukuran Sudu



Gambar 11. Tegangan Keluaran Generator Dari Ketiga Variasi Ukuran Sudu



Gambar 12. Arus Keluaran Generator Dari Ketiga Variasi Ukuran Sudu

## 2. Rpm dan Torsi Turbin

Dari Gambar 7 dan Gambar 9, dapat dilihat bahwa dari ketiga variasi ukuran sudu tersebut, kecepatan putaran yang optimal dan torsi turbin yang ringan adalah turbin yang mempunyai sudu berbentuk setengah lingkaran ukuran 82x100x35mm yang mempunyai nilai rpm sebelum dikopel generator sebesar 218,56 rpm dengan nilai torsi sebesar 4,79 Nm, setelah dikopel generator tanpa beban sebesar 207,32 rpm dengan torsi 5,05 Nm, setelah dikopel generator berbeban 10 Watt sebesar 193 rpm dengan torsi 5,43 Nm, dan saat generator berbeban 15 Watt sebesar 203,4 rpm dengan torsi 5,35 Nm.

Sudu ukuran 102x120x25mm mempunyai nilai rpm sebelum dikopel generator sebesar 196,04 rpm dengan nilai torsi sebesar 5,34 Nm, setelah dikopel generator tanpa beban sebesar 173,86 rpm dengan torsi 6,03 Nm, generator berbeban 10 Watt sebesar 169,66 rpm dengan torsi 6,17 Nm, dan pada saat generator berbeban 15 Watt sebesar 172,56 rpm dengan torsi 6,07 Nm.

Sedangkan untuk sudu ukuran 122x140x18mm mempunyai nilai rpm yang pelan dan torsi yang berat diantara sudu lainnya. Pada saat sebelum dikopel generator sebesar 196,04 rpm dengan nilai torsi sebesar 5,34 Nm, setelah dikopel generator tanpa beban sebesar 173,86 rpm dengan torsi 6,03 Nm, saat generator berbeban 10 Watt sebesar 169,66 rpm dengan torsi 6,17 Nm, dan generator berbeban 15 Watt sebesar 172,56 rpm dengan torsi 6,07 Nm.

## 3. Rpm, Torsi, Tegangan, dan Arus Generator

Pada Gambar 8, Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12, generator dengan kecepatan putaran optimal torsi yang ringan, tegangan dan arus yang besar adalah generator yang dikopel ke turbin menggunakan sudu ukuran 82x100x35mm yang menghasilkan nilai kecepatan putaran tanpa beban 601,96 rpm dengan torsi 1,74 Nm menghasilkan tegangan 30,542V, berbeban 10W 561,56 rpm dengan torsi 1,86 Nm menghasilkan tegangan



26,144V dan arus 0,33A, dan berbeban 15W 595 rpm dengan torsi 1,76 Nm menghasilkan tegangan 29,3V dan arus 0,1A.

Generator yang dikopel ke turbin dengan sudu 102x120x25mm menghasilkan nilai kecepatan putaran tanpa beban 494,58 rpm dengan torsi 2,11 Nm menghasilkan tegangan 26,272V, berbeban 10W 478,3 rpm dengan torsi 2,19 Nm menghasilkan tegangan 23,226V dan arus 0,22A, dan berbeban 15W 483,18 rpm dengan torsi 2,16 Nm menghasilkan tegangan 25,138V dan arus 0,0244A.

Sedangkan generator yang dikopel ke turbin dengan sudu 122x140x18mm adalah generator yang menghasilkan nilai kecepatan putaran paling lambat, torsi yang besar, tegangan, dan arus paling kecil. Pada saat tanpa beban 485,76 rpm dengan torsi 2,15 Nm menghasilkan tegangan 25,126V, berbeban 10W 476,5 rpm dengan torsi 2,2 Nm menghasilkan tegangan 22,356V dan arus 0,19A, dan berbeban 15W 485,44 rpm dengan torsi 2,15 Nm menghasilkan tegangan 24,212V dan arus 0,0108A.

#### 4. Kecepatan Putaran Turbin dan Generator 10 Watt dan 15 Watt

Rpm turbin dan generator pada saat berbeban 10W dan 15W lebih ringan berbeban 15W daripada berbeban 10W karena pada saat generator dibebani, akan terjadi fluksi yang dihasilkan oleh arus beban yang merupakan fluksi lawan terhadap fluksi medan sehingga fluksi medan berkurang. Dengan terjadinya pengurangan fluksi tersebut, maka putaran rotor akan menjadi berat sehingga putaran akan turun. Dengan adanya penurunan tersebut akan mempengaruhi frekuensi sehingga tegangan yang dihasilkan oleh generator akan mengalami penurunan (Al Amin, 2017). Semakin besar arus beban, gaya lawan akan semakin besar sehingga kecepatan putaran generator akan semakin berkurang (Perawati, 2017).

#### PENUTUP

##### Simpulan

Berdasarkan dari pengujian terkait pengaruh variasi ukuran sudu setengah lingkaran terhadap kecepatan putaran turbin overshoot dapat diambil kesimpulan yaitu untuk menentukan ukuran sudu turbin air, yang pertama harus mengetahui debit air yang akan diterima oleh turbin. Debit akan mempengaruhi ukuran pipa output dan akan mempengaruhi ukuran sudu. Untuk pengujian

ini menggunakan debit 8 liter/detik dan memperoleh pipa output 38,93mm atau 40mm, sehingga memperoleh ukuran sudu normal yaitu 82x100x35mm dengan volume 0,636 liter. Sedangkan untuk sudu lainnya yaitu 102x120x25mm dan 122x140x18mm.

Dengan melakukan pengujian terkait dengan perbedaan ukuran sudu. Terdapat pengaruh yang cukup signifikan terkait dengan rpm turbin. Sudu dengan ukuran 82x100x35mm merupakan sudu yang dapat memutar turbin dengan 218,56 rpm sebelum dikopel generator, setelah dikopel generator sebesar 207,32 rpm, generator berbeban 10 Watt sebesar 193 rpm, dan generator berbeban 15 Watt sebesar 203,4 rpm. Sedangkan untuk torsi sebelum dikopel generator adalah 4,2 Nm, setelah dikopel generator sebesar 4,5 Nm, Berbeban 10W sebesar 4,85 Nm, dan berbeban 15W sebesar 4,6 Nm. Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa sudu dengan ukuran 82x100x35mm merupakan sudu yang dapat menghasilkan rpm yang tinggi dan torsi yang kecil dibandingkan dengan ukuran sudu yang lain.

#### Saran

Diharapkan dalam pengembangan rancang bangun alat ini yaitu peneliti bisa menambahkan *voltage stabilizer* atau *buck converter* untuk menstabilkan tegangan keluaran generator yang akan masuk ke beban agar tidak terjadinya tegangan berlebihan dan mengakibatkan beban mengalami kerusakan, selain itu bisa mengganti bahan rangka alat menjadi bahan yang anti karat karena pada saat praktik sebagian rangkanya tenggelam di air.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Al Amin. M. Saleh. 2017. *Fluktuasi Beban Pada Generator Set*. Jurnal Ampere, Volume 1, Nomor 2, 50-59.
- Christiawan. Donny, Jasa. Lie, dan Sudarmojo. Yamu Prpto. 2017. *Studi Analisis Pengaruh Model Sudu Turbin Terhadap Putaran Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)*, Teknologi Elektro, Volume 16, Nomor 2, 104-111.
- Eisenring, M. 1994. *Turbin Pelton Mikro, terjemahan Sunarto, Edi. M.* Jakarta.
- ESDM. 2007. *Pertumbuhan Permintaan Tenaga Listrik 7,1% Per Tahun*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia
- Kurnia. Rizadi, Wibowo. Rianto, dan Hudaya. Akhmad Zidni. 2022. *Perancangan Turbin Air Tipe Overshot Sebagai Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Sungai Rahtawu*. Jurnal CRANKSHAFT Volume 5, Nomor 1, 36-45.
- Perawati. 2017. *Karakteristik Generator Sinkron Yang Berbeban Berat dan Tidak Konstan*. Jurnal Ampere, Volume 2, Nomor 2, 115-120.

Pengaruh Variasi Ukuran Sudu Setengah Lingkaran Terhadap Kecepatan Putaran Turbin Air Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

- Poea. Ceri Steward, Soplanit, G. D., dan Rantung. Jotje. 2013. *Perencanaan Turbin Air Mikro Hidro Jenis Pelton Untuk Pembangkit Listrik di Desa Kali Kecamatan Pineleng Dengan Head 12 Meter*. Manado:Universitas Sam Ratulangi.
- PPPPTK, T. P. 2015. *Turbin Air dan Kelengkapan Mekanik*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Purwanto. 2017. *Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Sebuah Pilihan : Belajar dari Koperasi Mekar Sari, Subang*. Jakarta: LIPI Press.
- Solihat. Ihat. 2020. *Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*.Jurnal Inovasi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, Volume 1, Nomor 2, 7-14.
- Suripto. Slamet. 2017. *Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: LP3M UMY.
- Yuniarti. Erliza. 2012. *Rancangan Parameter Turbin Crossflow Generator Sinkron Pada PLTMH Talang Lintang*. Berkala Teknik Volume 2, Nomor 4.
- Yuniarti. Nurhening, dan Aji. Ilham Wisnu. 2019. *Modul Pembelajaran Pembangkit Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

