



## **Analisis Pengaruh Jumlah Sudu dan Head Turbin Terhadap Performa Turbin Kaplan Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)**

**Naufal Iqbal Maulana, Mochamad Firdaus Yulianto Putro, Gatut Prijo Utomo**

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia

email: [iqbal.maulana1636@gmail.com](mailto:iqbal.maulana1636@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Sumber energi terbesar saat ini didominasi oleh energi fosil. Namun lambat laun energi fosil makin lama makin menipis dan tidak dapat diperbarui. Pembangkit listrik tenaga air atau biasa disingkat PLTA adalah suatu sumber energi alternatif yang memiliki prinsip kerja mengubah energi aliran air menjadi energi listrik dengan memanfaatkan gerakan putaran turbin air lalu putaran dari turbin air disalurkan menuju poros generator sehingga putaran dari generator akan menghasilkan listrik. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis performa yang dihasilkan dari turbin kaplan ini. Pengujian ini menggunakan 3 macam variasi turbin yakni 4 sudu, 6 sudu, dan 7 sudu dan juga menggunakan 3 macam variasi head yakni 13 cm, 32 cm, 36 cm. Pengujian ini juga memanfaatkan aliran murni dari sungai tanpa bantuan pemancar air. Hasil dari penelitian ini pada efisiensi turbin yang tertinggi didapat pada variabel head 0,36 dan jumlah sudu sebanyak 7 dengan nilai 14,44%. Lalu efisiensi generator tertinggi pada variabel head 0,36 dan jumlah sudu sebanyak 7 dengan nilai 3,52%. Kesimpulan yang didapat adalah semakin banyak jumlah sudu dan semakin tinggi head maka efisiensi dari turbin dan generator semakin meningkat.

**Kata kunci:** pembangkit listrik tenaga mikrohidro, jumlah sudu, head, turbin

### **ABSTRACT**

Energy Sources are currently dominated by fossil energy. However gradually fossil energy is getting thinner and non-renewable. Hydroelectric power plant or commonly abbreviated as PLTA is an alternative energy source that has the working principle of converting water flow energy into electrical energy by utilizing the rotational motion of the water turbine and then the rotation of the water turbine is channeled to the generator shaft so that the rotation of the generator will produce electricity. The purpose of this study is to analyze the performance generated from this Kaplan turbine. This test uses 3 kinds of turbine variations, namely 4 blades, 6 blades, and 7 blades and also uses 3 kinds of head variations, namely 13 cm, 32 cm, 36 cm. This test also utilizes pure flow from the river without the aid of a water transmitter. The results of this study on the highest turbine efficiency obtained at the variable head 0.36 and the number of blades as many as 7 with a value of 14.44%. Then the highest generator efficiency at the variable head is 0.36 and the number of blades is 7 with a value of 3.52%. The conclusion obtained is that the more the number of blades and the higher the head, the efficiency of the turbine and generator increases.

**Keywords:** micro hydro power plant, number of blades, head, turbine



## PENDAHULUAN

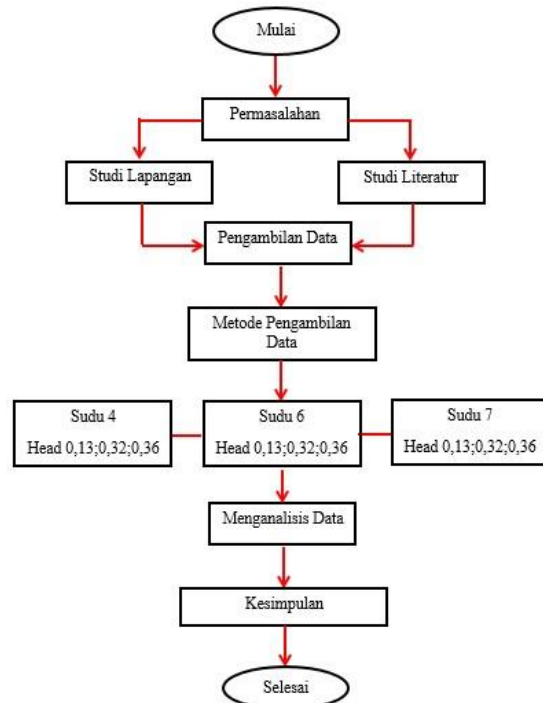
Kebutuhan energi Indonesia untuk berbagai sektor sangatlah tinggi. Dari berbagai macam energi yang ada di dunia saat ini, penggunaan energi berbasis fosil di Indonesia sangat tinggi. Menurut Kementerian Energi&Sumber Daya Mineral (2021) yang dikutip oleh liputan6.com menyebutkan penggunaan bahan bakar fosil Indonesia pada tahun 2021 masih diangka 88,8%. Penggunaan energi berbahan bakar berbasis fosil yang paling tinggi berasal dari perindustrian dan kendaraan bermotor. Penggunaan berlebih pada sumber energi berbahan bakar fosil tentunya menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Produk hasil dari pemanfaatan sumber energi fosil diantaranya minyak bumi sebesar 31,6%, batu bara 38%, dan gas alam sebesar 19,2%. Pembakaran bahan bakar fosil dapat menghasilkan karbon dioksida gas rumah kaca utama yang menyebabkan pemanasan global. Hasil dari pemanasan global akan memicu perubahan iklim, suhu bumi naik, es di kedua kutub bumi mencair sehingga muka air laut naik menyebabkan daerah-daerah tepian pantai terancam tenggelam. Melihat penggunaan kondisi energi fosil yang masih tinggi namun disisi lain kondisi ketersediaan bahan bakar fosil semakin hari semakin menipis maka dibutuhkan energi alternatif untuk mensubstitusi keperluan penggunaan energi dari bahan bakar fosil.

Indonesia merupakan salah satu negara dengan potensi pemanfaatan energi alternatif yang besar. Menurut Kementerian Energi&Sumber Daya Mineral (2021) total potensi yang dimiliki Indonesia sebesar 442 GW. Diantara potensi energi terbarukan yang besar adalah dari jenis tenaga air yakni sebesar 94,3 GW. Namun disamping besarnya potensi yang dimiliki Indonesia ternyata masih dibarengi dengan masih sedikit pemanfaatan yang dilakukan terutama pada

jenis tenaga air. Pemanfaatan jenis tenaga air untuk skala kecil dapat dilakukan melalui pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Air Mikrohidro. Pembangkit listrik tenaga air mikrohidro adalah alat yang dapat mengubah energi air menjadi energi listrik. Pembangkit ini dirancang dapat digunakan pada aliran air yang tidak deras sehingga dapat digunakan di daerah yang jauh dari sumber listrik besar dan tidak memerlukan suatu aliran air yang deras.

Penelitian ini membahas mengenai menganalisis sistem pembangkit listrik tenaga air skala mikrohidro yang dapat mengonversi energi gerak dari aliran air menjadi energi listrik dengan menggunakan variasi jumlah sudu dan variasi head turbin. Memanfaatkan aliran air sungai di daerah Dlanggu Mojokerto.

## PROSEDUR EKSPERIMEN



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dan studi lapangan. Pada studi

literatur, peneliti mengumpulkan informasi dari penelitian terdahulu baik dari jurnal maupun tugas akhir untuk dijadikan sumber referensi. Lalu juga didukung dengan studi lapangan dimana studi lapangan ini dimaksudkan untuk menghimpun dan memahami informasi wilayah aliran sungai yang cocok dengan penelitian ini. Dilanjut dengan pengambilan data dimana sebelumnya kami telah membuat prototype alat PLTMH. Berikut merupakan profil alat uji PLTMH dan juga alat ukur yang digunakan dalam pengujian ini

- a. Variasi jumlah sudu turbin 4 sudu, 6 sudu, dan 7 sudu



Gambar 2. Turbin 4 Sudu



Gambar 3. Turbin 6 Sudu



Gambar 4. Turbin 7 Sudu

- b. Variasi head 13 cm, 32 cm, 36 cm



Gambar 5. Pengaturan Head Turbin

- c. Generator mini motor DC 12V-2800RPM



Gambar 6. Generator Mini

- d. GT2 Pulley Timing 60T bore 12 mm



Gambar 7. Pulley As Turbin

e. GT2 Timing Belt 6 mm Closed Loop



Gambar 8. Timing Belt

f. GT2 Pulley Timing 16T Bore 5 mm



Gambar 9. Pulley As Generator

g. Instalasi Keseluruhan Alat Uji



Gambar 10. Alat Uji

h. Tachometer



Gambar 11. Tachometer

Sumber: ([ladengabei.blogspot.com](http://ladengabei.blogspot.com))

Tachometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan putaran pada suatu benda yang berputar dengan memiliki nilai satuan RPM. Pada penelitian ini peneliti menggunakan tachometer untuk mengukur kecepatan putar pada poros turbin.

i. Multimeter



Gambar 12. Multimeter

Sumber: ([liputan6.com](http://liputan6.com))

Multimeter ialah alat ukur yang digunakan untuk mengukur arus, tegangan, dan tahanan. Pada penelitian ini peneliti menggunakan multimeter untuk mengukur arus, tegangan, dan tahanan pada generator turbin air.

Lalu dilanjut dengan pengambilan data. Pengambilan data dalam penelitian ini menggunakan metode sampel random dengan masing-masing variabel diuji sebanyak tiga kali pengujian dimana variabel pengujiannya adalah 4 sudu, 6 sudu, dan 7 sudu dengan head 0,13 m, 0,32 m, dan 0,36 m.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

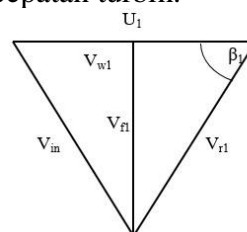
Pada bagian ini, setelah proses pengujian dan pengambilan data maka didapatkan hasil data tersebut. Penelitian ini membahas mengenai analisis pengaruh jumlah sudu dan head turbin terhadap performa turbin kaplan yang digunakan pada pembangkit listrik mikrohidro. Setelah melakukan pengujian dan pengambilan data sebagaimana yang telah dijelaskan diatas, maka didapatkan data dibawah ini.

No	Jumlah Sudu	Head (m)	Pengujian	Putaran (rpm)	
1	4	0,13 m	Pengujian 1	38 rpm	
			Pengujian 2	43 rpm	
			Pengujian 3	39 rpm	
		0,32 m	Pengujian 1	75 rpm	
			Pengujian 2	70 rpm	
			Pengujian 3	74 rpm	
		0,36 m	Pengujian 1	97 rpm	
			Pengujian 2	92 rpm	
			Pengujian 3	99 rpm	
	2	6	0,13 m	Pengujian 1	60 rpm
				Pengujian 2	61 rpm
				Pengujian 3	56 rpm
0,32 m			Pengujian 1	79 rpm	
			Pengujian 2	85 rpm	
			Pengujian 3	82 rpm	
0,36 m		Pengujian 1	98 rpm		
		Pengujian 2	106 rpm		
		Pengujian 3	108 rpm		
3		7	0,13 m	Pengujian 1	72 rpm

	0,32 m	Pengujian 2	66 rpm
		Pengujian 3	66 rpm
		Pengujian 1	95 rpm
	0,36 m	Pengujian 2	102 rpm
		Pengujian 3	97 rpm
		Pengujian 1	123 rpm
		Pengujian 2	127 rpm
		Pengujian 3	125 rpm

Tabel 1. Hasil Pengujian

Untuk menganalisis dari profil sudu turbin dapat menggunakan metode perhitungan segitiga kecepatan turbin.



Gambar 13. Segitiga Kecepatan  
Komponen-komponen kecepatan dan gaya pada gambar 13 dapat dihitung menggunakan beberapa persamaan dibawah ini

Persamaan kecepatan keliling

$$U_1 = U_2 = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{60}$$

Dimana:

$U_1$  = kecepatan sudu masuk (m/s)

$U_2$  = kecepatan sudu keluar (m/s)

$\pi$  = phi 3,14

$D$  = diameter turbin (m)

$N$  = putaran turbin (rpm)

Persamaan kecepatan relatif

$$V_r = V_1 - u_1$$

Dimana:

$V_r$  = kecepatan Relatif (m/s)

$V_1$  = kecepatan masuk aliran (m/s)

$U_1$  = kecepatan sudu masuk (m/s)

Persamaan kecepatan aliran

$$V_{f1} = \frac{Q}{\pi/4 * (D_{run}^2 - D_{hub}^2)}$$

Dimana:

$V_{f1}$  = kecepatan aliran (m/s)

Q = debit air (m<sup>3</sup>/s)  
 D<sub>run</sub> = diameter runner (m)  
 D<sub>hub</sub> = diameter hub (m)  
 Persamaan kecepatan whirl  
 $V_{1w} = U + V_f \cot(\beta_1)$

Dimana:  
 V<sub>1w</sub> = kecepatan whirl (m/s)  
 U = kecepatan sudu (m/s)  
 V<sub>f</sub> = kecepatan aliran (m/s)  
 Persamaan euler  
 $E = \frac{U(U + V_f \cot \beta_1)}{g}$

Dimana:  
 E = nilai euler  
 U = kecepatan sudu (m/s)  
 V<sub>f</sub> = kecepatan aliran (m/s)  
 g = gaya gravitasi (m<sup>3</sup>/s)  
 Persamaan gaya tangensial  
 $F_t = \rho \cdot Q(V_{in} - u)(1 - \cos\beta_1)$

Dimana:  
 F<sub>t</sub> = gaya tangensial (N)  
 ρ = massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)  
 V<sub>in</sub> = kecepatan aliran masuk (m/s)  
 U = kecepatan sudu (m/s)

Setelah melakukan perhitungan, maka didapatkan nilai-nilai sebagai berikut

No	Variabel	Jumlah Sudu								
		4			6			7		
		Head (m)			Head (m)			Head (m)		
		0,1 3	0,32	0,36	0,13	0,32	0,36	0,13	0,32	0,36
		(m/s)								
1.	Kecepatan Keliling Runner (u)	0,105	0,191	0,251	0,154	0,215	0,272	0,178	0,257	0,327
2.	Kecepatan Relatif (V <sub>r</sub> )	0,435	0,349	0,289	0,386	0,325	0,268	0,362	0,283	0,213
3.	Kecepatan Aliran (V <sub>in</sub> )	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
4.	Kecepatan Whirl (V <sub>w</sub> )	14,38	14,47	14,53	14,43	14,49	14,55	14,45	14,53	14,6
5.	Persamaan Euler	0,154	0,28	0,372	0,227	0,318	0,403	0,262	0,381	0,487
6.	Kecepatan Sudut (ω)	4,19 rad/s	7,64 rad/s	10,1 rad/s	6,18 rad/s	8,59 rad/s	10,89 rad/s	7,12 rad/s	10,26 rad/s	13,1 rad/s
7.	Gaya Tangensial (N)	38,12 N	30,59 N	25,33 N	33,83 N	28,48 N	23,49 N	31,73 N	24,8 N	18,67 N

Tabel 2. Hasil Segitiga Kecepatan

Dilanjutkan dengan mencari karakteristik dari turbin. Karakteristik turbin memiliki beberapa komponen perhitungan diantaranya yaitu rasio kecepatan, kecepatan satuan, debit satuan, dan kecepatan spesifik. Berikut persamaan-persamaan yang digunakan untuk mencari komponen diatas.

Persamaan rasio kecepatan  
 $\phi = \frac{N \cdot D}{84,6\sqrt{H}}$

Dimana:  
 φ = rasio kecepatan  
 N = putaran turbin (rpm)  
 D = diameter turbin (m)  
 H = head turbin (m)

Kecepatan satuan  
 $N_u = \frac{N \cdot D}{\sqrt{H}}$

Dimana:  
 N<sub>u</sub> = kecepatan satuan (rpm)  
 D = diameter turbin (m)  
 H = head turbin (m)  
 N = putaran turbin (rpm)

Debit satuan  
 $Q_u = \frac{Q}{D \cdot \sqrt{H}}$

Dimana:  
 Q<sub>u</sub> = debit satuan (m<sup>3</sup>/s)  
 Q = debit aliran sungai (m<sup>3</sup>/s)  
 D = diameter turbin (m)  
 H = head turbin (m)

Kecepatan spesifik  
 $N_s = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$

Dimana:  
 N<sub>s</sub> = kecepatan spesifik (rpm)  
 Q = debit aliran sungai (m<sup>3</sup>/s)  
 H = head turbin (m)

Setelah melakukan perhitungan menentukan karakteristik turbin, maka didapatkan nilai-nilai dari parameter diatas

No	Jumlah Sudu	Head (m)	Putaran (rpm)	φ	N <sub>u</sub> (rpm)	Q <sub>u</sub> (m <sup>3</sup> /s)	N <sub>s</sub> (rpm)
1	4	0,13 m	40	0,12	10	38,35	19,55
		0,32 m	73	0,14	11,6	24,44	18,16
		0,36 m	96	0,17	14,4	23,05	21,86
2	6	0,13 m	59	0,17	14,7	38,35	28,84
		0,32 m	82	0,15	13	24,44	20,39

		0,3 6 m	104	0, 18	15, 6	23 0,5	23 6,8
3	7	0,1 3 m	68	0, 2	16, 9	38 3,5	33 2,4
		0,3 2 m	98	0, 18	15, 6	24 4,4	24 3,8
		0,3 6 m	125	0, 22	18, 8	23 0,5	28 4,6

Tabel 3. Hasil Karakteristik Turbin

Pada tabel 1 telah didapat data putaran turbin, lalu dilakukan pengukuran menggunakan alat multimeter untuk mendapatkan data tegangan dan arus listrik. Maka didapatkan data dibawah ini.

No	Jumlah Sudu	Head (m)	Kode Uji	Uji	Putaran (rpm)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	
1	4	0,13 m	A01	Uji Ke-1	38 rpm	0,45 V	3,22 A	
			A02	Uji Ke-2	43 rpm	0,54 V	3,26 A	
			A03	Uji Ke-3	39 rpm	0,48 V	3,24 A	
		Rata-rata				40 rpm	0,49 V	3,24 A
		0,32 m	B01	Uji Ke-1	75 rpm	1,29 V	5,23 A	
			B02	Uji Ke-2	70 rpm	1,20 V	5,18 A	
	B03		Uji Ke-3	74 rpm	1,26 V	5,22 A		
	Rata-rata				73 rpm	1,25 V	5,21 A	
	0,36 m	C01	Uji Ke-1	97 rpm	2,52 V	12,16 A		
		C02	Uji Ke-2	92 rpm	2,46 V	12,11 A		
		C03	Uji Ke-3	99 rpm	2,55 V	12,21 A		
	Rata-rata				96 rpm	2,51 V	12,16 A	
2	6	0,13 m	D01	Uji Ke-1	60 rpm	1,08 V	4,30 A	
			D02	Uji Ke-2	61 rpm	1,09 V	4,32 A	
			D03	Uji Ke-3	56 rpm	1,04 V	4,25 A	
		Rata-rata				59 rpm	1,07 V	4,29 A
		0,32 m	E01	Uji Ke-1	79 rpm	1,27 V	11,80 A	
			E02	Uji Ke-2	85 rpm	1,30 V	11,86 A	
	E03		Uji Ke-3	82 rpm	1,33 V	11,89 A		
	Rata-rata				82 rpm	1,3 V	11,85 A	
	0,36 m	F01	Uji Ke-1	98 rpm	3,28 V	13,66 A		
		F02	Uji Ke-2	106 rpm	3,33 V	13,72 A		
		F03	Uji Ke-3	108 rpm	3,35 V	13,75 A		
	Rata-rata				104 rpm	3,32 V	13,71 A	
3	7	0,13 m	G01	Uji Ke-1	72 rpm	1,26 V	5,04 A	
			G02	Uji Ke-2	66 rpm	1,20 V	4,95 A	
			G03	Uji Ke-3	66 rpm	1,20 V	4,95 A	
		Rata-rata				68 rpm	1,22 V	4,98 A
		0,32 m	H01	Uji Ke-1	95 rpm	3,08 V	12,45 A	
			H02	Uji Ke-2	102 rpm	3,17 V	12,49 A	
	H03		Uji Ke-3	97 rpm	3,14 V	12,47 A		
	Rata-rata				98 rpm	3,13 V	12,47 A	
	0,36 m	I01	Uji Ke-1	123 rpm	4,80 V	14,37 A		
		I02	Uji Ke-2	127 rpm	4,86 V	14,44 A		
		I03	Uji Ke-3	125 rpm	4,83 V	14,42 A		
	Rata-rata				125 rpm	4,83 V	14,41 A	

Tabel 4. Tabel Rata-rata

Metode pengukuran debit air menggunakan metode pelampung. Dimana prinsipnya adalah dengan cara menghanyutkan benda yang mengapung kemudian diukur berapa waktu yang dibutuhkan benda tersebut bergerak persatuan

meternya. Untuk menghitung luas sungai sebagai berikut,

$$A = l \cdot k$$

Dimana:

A = luas sungai (m<sup>2</sup>)

l = lebar sungai (m)

k = kedalaman sungai (m)

Untuk menghitung debit aliran sungai maka menggunakan persamaan

$$Q = v \cdot A$$

Dimana:

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

A = luasan sungai (m<sup>2</sup>)

v = kecepatan aliran sungai (m/s)

Dengan mencari kecepatan aliran air menggunakan rumus

$$v = \frac{\text{jarak (m)}}{\text{waktu (s)}}$$

Selanjutnya untuk mendapatkan nilai daya listrik, maka diambil nilai rata-rata dari tabel 2. lalu dibutuhkan perhitungan dengan rumus daya listrik (generator).

$$P_g = V \cdot I$$

Dimana:

P<sub>g</sub> = daya generator (Watt)

V = tegangan (volt)

I = arus listrik (ampere)

Setelah melakukan perhitungan maka didapatkan nilai daya listrik yang dihasilkan.

No	Jumlah Sudu	Tinggi Jatuh Air (Head)	Putaran (rpm)	V (volt)	I (ampere)	(P <sub>g</sub> ) (watt)
1.	4	0,13 m	40	0,49	3,24	1,6
		0,32 m	73	1,25	5,21	6,5
		0,36 m	96	2,51	12,16	30,5
2.	6	0,13 m	59	1,07	4,29	4,59
		0,32 m	82	1,3	11,85	15,4
		0,36 m	104	3,32	13,71	45,5
3.	7	0,13 m	68	1,22	4,98	6,1
		0,32 m	98	3,13	12,47	39
		0,36 m	125	4,83	14,41	69,6

Tabel 5. Hasil Perhitungan Daya Generator

Setelah itu untuk mendapatkan nilai daya turbin maka dibutuhkan beberapa rumus hingga akhirnya mendapatkan rumus dari daya turbin itu sendiri, diantaranya yaitu:

Rumus perhitungan torsi

$$T = F_t \cdot r$$

Dimana:

T = torsi (Nm)

F<sub>t</sub> = gaya tangensial (N)

r = jari-jari turbin (m)

Rumus kecepatan sudut

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_t}{60}$$

Dimana:

- $\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)
- $n_t$  = putaran turbin (rpm)
- $\pi$  = phi (3,14)

Sehingga didapatkan rumus daya turbin

$$P_t = T \cdot \omega$$

Dimana:

- $P_t$  = daya turbin (watt)
- $T$  = torsi (Nm)
- $\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)

Setelah melakukan perhitungan maka didapatkan nilai daya turbin yang dihasilkan.

No	Jumlah Sudu	Tinggi Jatuh Air (Head)	Putaran (rpm)	T (Nm)	$\omega$ (rad/s)	( $P_t$ ) (watt)
1.	4	0,13 m	40	3,4	4,19	14,25
		0,32 m	73	2,8	7,64	21,42
		0,36 m	96	2,3	10,1	23,23
2.	6	0,13 m	59	3,1	6,18	19,16
		0,32 m	82	2,6	8,59	22,33
		0,36 m	104	2,1	10,89	22,87
3.	7	0,13 m	68	2,9	7,12	20,65
		0,32 m	98	2,2	10,26	22,57
		0,36 m	125	1,8	13,1	23,58

Tabel 6. Hasil Perhitungan Daya Turbin

Selanjutnya melakukan perhitungan daya air yang mengalir dengan menggunakan rumus

$$P_a = \rho \cdot \frac{1}{2} \cdot Q \cdot v^2$$

Dimana:

- $P_a$  = daya air yang mengalir (watt)
- $\rho$  = massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )
- $Q$  = debit air ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $v$  = kecepatan aliran (m/s)

Untuk melakukan perhitungan besarnya daya hidrolisis dengan menggunakan persamaan

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

Dimana:

- $P_h$  = daya hidrolisis (watt)
- $\rho$  = massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )
- $g$  = gaya gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )
- $Q$  = debit sungai ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $H$  = head turbin (m)

Dilanjutkan dengan mengitung efisiensi turbin dan efisiensi generator dengan menggunakan persamaan

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_a} \cdot 100\%$$

Dimana:

- $\eta_t$  = efisiensi turbin (%)
- $P_t$  = daya turbin (watt)
- $P_a$  = daya air (watt)

$$\eta_g = \frac{P_g}{P_h} \cdot 100\%$$

Dimana:

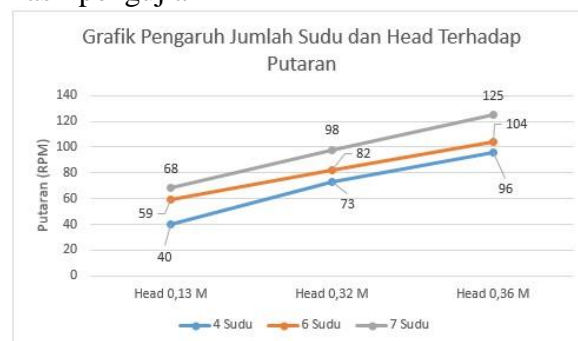
- $\eta_g$  = efisiensi generator (%)
- $P_g$  = daya generator (watt)
- $P_h$  = daya hidrolisis (watt)

Setelah melakukan perhitungan maka didapatkan nilai efisiensi turbin dan efisiensi generator yang dihasilkan

No	Jumlah Sudu	Tinggi Jatuh Air (Head)	Putaran (rpm)	( $\eta_t$ ) %	( $\eta_g$ ) %
1.	4	0,13 m	40	8,73	0,054
		0,32 m	73	13,12	0,33
		0,36 m	96	14,23	1,54
2.	6	0,13 m	59	11,73	0,23
		0,32 m	82	13,67	0,78
		0,36 m	104	14	2,3
3.	7	0,13 m	68	12,65	0,31
		0,32 m	98	13,82	1,97
		0,36 m	125	14,44	3,52

Tabel 7. Efisiensi Turbin dan Generator

Setelah melakukan perhitungan-perhitungan diatas, maka nilai-nilai diatas dimasukan kedalam grafik hasil pengujian agar dapat memudahkan dalam membaca hasil pengujian





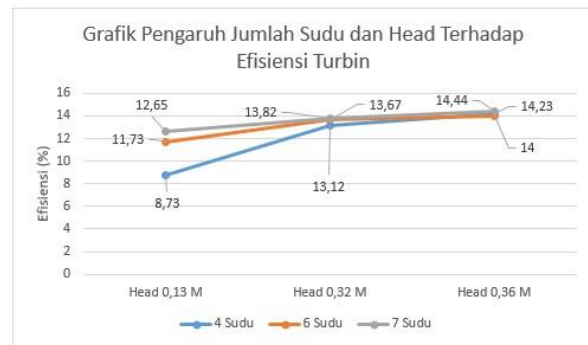
Grafik 1. Pengaruh Variabel Terhadap Putaran

Dari grafik 4.1 didapatkan data bahwasanya pada garis berwarna biru yakni 4 sudu pada head 0,13 m menghasilkan putaran sebesar 40 rpm, pada head 0,32 m menghasilkan putaran sebesar 73 rpm, dan pada head 0,36 m menghasilkan putaran sebesar 96 rpm. Pada garis berwarna oranye yakni 6 sudu pada head 0,13 m menghasilkan putaran sebesar 96 rpm, pada head 0,32 m menghasilkan putara sebesar 82 rpm, dan pada head 0,36 m menghasilkan putaran sebesar 104 rpm. Pada garis berwarna abu-abu yakni 7 sudu pada head 0,13 m menghasilkan putaran sebesar 68 rpm pada head 0,32 m menghasilkan putaran sebesar 98 rpm, dan pada head 0,36 m menghasilkan putaran sebesar 125 rpm.



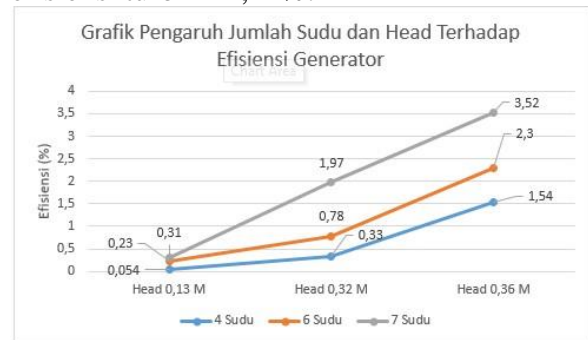
Grafik 2. Pengaruh Variabel Terhadap Daya Listrik

Dari grafik 4.2 didapatkan data bahwasanya pada garis berwarna biru yakni 4 sudu pada head 0,13 m menghasilkan daya listrik sebesar 1,6 watt, pada head 0,32 m menghasilkan daya listrik sebesar 6,5 watt, dan pada head 0,36 m menghasilkan daya listrik sebesar 30,5 watt. Pada garis berwarna oranye yakni 6 sudu pada head 0,13 m menghasilkan daya listrik sebesar 4,59 watt, pada head 0,32 m menghasilkan daya listrik sebesar 15,4 watt, dan pada head 0,36 m menghasilkan daya listrik sebesar 45,5 watt. Pada garis berwarna abu-abu yakni 7 sudu pada head 0,13 m menghasilkan daya listrik sebesar 6,1 watt, pada head 0,32 m menghasilkan daya listrik sebesar 39 watt, dan pada head 0,36 m menghasilkan daya listrik sebesar 69,6 watt.



Grafik 3. Pengaruh Variabel Terhadap Efisiensi Turbin

Dari grafik 4.3 didapatkan data bahwasanya pada garis berwarna biru yakni 4 sudu pada head 0,13 m menghasilkan efisiensi turbin 8,73%, pada head 0,32 m menghasilkan efisiensi turbin 13,12%, dan pada head 0,36 m menghasilkan efisiensi turbin 14%. Pada garis berwarna oranye yakni 6 sudu pada head 0,13 m menghasilkan efisiensi turbin 11,73%, pada head 0,32 m menghasilkan efisiensi turbin 13,67%, dan pada head 0,36 m menghasilkan efisiensi turbin 14,23%. Pada garis berwarna abu-abu yakni 7 sudu pada head 0,13 m menghasilkan efisiensi turbin 12,65%, pada head 0,32 m menghasilkan efisiensi turbin 13,82%, dan pada head 0,36 m menghasilkan efisiensi turbin 14,44%.



Grafik 4. Pengaruh Variabel Terhadap Efisiensi Generator

Dari grafik 4.4 didapatkan data bahwasanya pada garis berwarna biru yakni 4 sudu pada head 0,13 m menghasilkan efisiensi generator sebesar 0,054%, pada head 0,32 m menghasilkan efisiensi generator sebesar 0,33%, dan pada head 0,36 m menghasilkan efisiensi generator sebesar 1,54%. Pada garis berwarna oranye yakni 6 sudu pada head 0,13 m menghasilkan efisiensi generator sebesar 0,23%, pada head 0,32 m menghasilkan efisiensi generator sebesar 0,78%, dan pada

head 0,36 m menghasilkan efisiensi generator sebesar 2,3%. Pada garis berwarna abu-abu yakni 7 sudu pada head 0,13 m menghasilkan efisiensi generator sebesar 0,31%, pada head 0,32 m menghasilkan efisiensi generator sebesar 1,97%, dan pada head 0,36 m menghasilkan efisiensi generator sebesar 3,52%.

### KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini bahwa variabel-variabel tersebut memiliki pengaruh terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai *head* maka semakin tinggi daya yang dihasilkan karena mendapat pengaruh dari energi potensial air yang mengalir menuju turbin. Semakin banyak jumlah sudu yang dipasangkan pada turbin maka semakin tinggi daya yang dihasilkan dikarenakan gaya dari aliran air mengenai sudu-sudu turbin. Pada penelitian ini menghasilkan efisiensi turbin dan efisiensi generator tertinggi pada variabel jumlah 7 sudu dan *head* 0,36 masing-masing sebesar 14,44% dan 3,52%. Pada grafik efisiensi turbin dan efisiensi generator untuk setiap variabelnya memiliki tren grafik yang meningkat, yakni semakin tinggi banyak jumlah sudu dan semakin tinggi nilai *head* maka efisiensi turbin dan generator yang dihasilkan juga semakin tinggi.

Saran yang diberikan untuk kemajuan dan pengembangan topik penelitian ini kedepannya. Beberapa saran yang diberikan yakni:

1. Pemilihan alat ukur hendaknya diperhatikan. Sebab keakuratan alat ukur akan memengaruhi data hasil penelitian.
2. Pemilihan generator hendaknya diperharikan. Sebab penggunaan yang sesuai dan tepat akan menghasilkan performa yang maksimal.
3. Pemilihan aliran sungai wajib diperhatikan. Sebab besar kecilnya kecepatan aliran dan debit sungai akan berpengaruh terhadap performa turbin.
4. Pemilihan tempat untuk penelitian juga diperhatikan agar ketika

penelitian berlangsung lebih mudah mengaksesnya.

### REFERENSI

- Polak, M., Polak V., Hudouskova, M. (2016). "Verification of Model Calculations for The Kaplan Turbine Design". Prague Czech Republic: 6<sup>th</sup> International Conference on Trends in Agricultural Engineering Czech Universitas of Life Science.
- Muliawan, A., Yani, A. (2016). "Analisis Daya dan Efisiensi Turbin Air Kinetis Akibat Perubahan Putaran Runner". AMSET-IAIN Batusangkar: Journal of Sainstek, Vol. 8, No. 1, hal 1-9.
- Kusnadi, Mulyono, A., Pakki, G., Gunarko. (2018). "Rancang Bangun dan Uji Performasi Turbin Air Jenis Kaplan Skala Mikrohidro". Metro: Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Metro, Jurnal Vol. 7, No.2.
- Chan, M. Z., Aung, Z. N. (2020). "Design Calculation of Kaplan Turbine Runner Blade for 15 kW Micro Hydropower Plant". Mandalay Myanmar: International Journal of Advance Research and Development.
- Husain, Z., Abdullah Z., Alimuddin Z. (2008). Basic Fluid Mechanics and Hydraulic Machines. Hyberabad: BS Publicaton.
- Nechleba, M. (1957). Hydraulic Turbines Their Design and Equipment. Bratislava: Slovak Technical University in Bratislava.
- Arismunandar, A., Kuwahara, S. (2004). Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Hakim, L. (2019). Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala Kecil. Yogyakarta: Deepublisher.
- Himran, S., Rizky, G. (2017). Turbin Air: Teori&Dasar Perencanaan. Yogyakarta: ANDI.
- Bab II. Tinjauan Pustaka.  
<:http://http://eprints.polsri.ac.id/6630/3/BA B%20II%20TINJAUAN%20PUSTAKA. Pdf>. (Diakses 23 Desember 2021)

Kumpulan Artikel. Pelaksanaan Turbin Air.

<URL:<http://>

<http://www.alpensteel.com/article/117-104-energi-sungai-pltmh--micro-hydro-power/169--pelaksanaan-turbin-air>.

(Diakses 21 Desember 2021).

Bab II. Tinjauan Pustaka. <

URL:<http://eprints.polsri.ac.id/5142/3/FILE%203.pdf>>. (Diakses 23 Desember 2021).

Blog. Different Types of Turbine Used in Hydroelectric Power Plants. <

URL:<http://www.sorensensystems.com/2020/12/10/different-types-of-turbines-used-in-hydroelectric-power-plants> >.

(Diakses 20 Desember 2021).