



## **ANALISA PENGARUH DIAMETER SUDU, DEBIT AIR DAN SUDUT PIPA PESAT (*PENSTOCK*) TERHADAP PERFORMA TURBIN AIR KAPLAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)**

**Maulana Rizky Firdaus, Muhamad Syahrul Rifaldhy, Ir Supardi M,Sc**  
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya  
Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia  
email: [maulanaarizky222@gmail.com](mailto:maulanaarizky222@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Wilayah Indonesia mempunyai banyak sekali potensi pemanfaatan energi terbarukan yang bisa digunakan untuk mencukupi kebutuhan terutama listrik. Sumber daya listrik biasanya digunakan adalah pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Dalam memperoleh potensi energi listrik berskala besar adalah dengan pembuatan pembangkit listrik dengan sumber tenaga air. Indonesia sendiri adalah negara yang memiliki potensi sumber daya air yang melimpah namun pemanfaatannya belum maksimal penemu telah berhasil mengembangkan sumber energi alternatif yang sumber energinya tidak menggunakan bahan bakar fosil dan sumber energi ini bisa dibuat sebagai energi baru terbarukan berupa Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Pada air terjun Hening Sukmo yang terletak di Pacet terdapat air terjun setinggi kurang lebih 4 meter yang dapat digunakan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, maka peneliti melakukan analisis terhadap pengaruh diameter sudu, debit air, dan sudut kemiringan pipa pesat (penstock) terhadap perubahan turbin air kaplan untuk mencapai variasi optimal. Metode penelitian ini meliputi pembuatan alat, pengumpulan data, dan analisis. Variasi yang digunakan adalah mengubah diameter sudu dengan ukuran 22 cm, 24 cm, dan 26 cm. kemudian debit air menggunakan bukaan katup 1/2, 2/3, dan bukaan full. Dan sudut kemiringan pipa pesat menggunakan kemiringan 30°, 45°, dan 60°. Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa performa alat mikrohidro dengan turbin variasi diameter sudu 26 cm pada debit air dengan bukaan katup full menghasilkan daya output listrik terbesar yaitu menghasilkan 94,7 watt, menghasilkan efisiensi turbin terbaik adalah 32,6% dan menghasilkan efisiensi PLTM sebesar 36,3%. Dan variasi sudut pipa pesat 60° pada debit air dengan bukaan katup full menghasilkan daya output listrik terbesar yaitu menghasilkan 70,4 watt, dengan efisiensi turbin terbaik adalah 29,9% sedangkan efisiensi PLTMH sebesar 33,2%.

**Kata kunci:** *PLTMH, Air Terjun, Turbin Kaplan, Pengaruh Diameter Sudu, Debit Air, Sudut Pipa Pesat, Ketinggian Air Terjun.*

### **ABSTRACT**

Indonesia has abundant potential for utilizing renewable energy sources to meet its energy needs, particularly in the realm of electricity generation. Hydroelectric power plants (PLTA) are commonly employed for electricity generation. To tap into large-scale electric energy potential, the construction of hydropower plants utilizing water resources is essential. Indonesia, endowed with abundant water resources, has yet to fully optimize their utilization. Researchers have successfully developed an alternative energy source, known as Micro Hydro Power Plants (PLTMH), which does not rely on fossil fuels. This energy source can be harnessed as a new form of renewable energy. In the context of the Hening Sukmo waterfall

located in Pacet, which boasts a height of approximately 4 meters, researchers conducted an analysis on the influence of blade diameter, water flow rate, and the inclination angle of the penstock on the Kaplan water turbine to achieve optimal variations. The research methodology encompasses the construction of equipment, data collection, and analysis. Variations involved altering the blade diameter to sizes of 22 cm, 24 cm, and 26 cm, adjusting the water flow rate using valve openings of 1/2, 2/3, and full, and modifying the inclination angle of the penstock to 30°, 45°, and 60°. Based on the analysis results, it can be concluded that the microhydro device's performance with a turbine featuring a 26 cm blade diameter and a full valve opening for water flow resulted in the highest electrical output of 94.7 watts. The turbine achieved its optimal efficiency at 32.6%, contributing to an overall PLTM efficiency of 36.3%. Furthermore, the variation with a 60° penstock inclination angle and a full valve opening for water flow yielded the highest electrical output of 70.4 watts, with the turbine achieving its best efficiency at 29.9%, resulting in an overall PLTMH efficiency of 33.2%.

**Keywords :** *PLTMH, Waterfall, Kaplan Turbine, Influence Of Blade Diameter, water discharge, Pipe Angle, Waterfall Height*

## PENDAHULUAN

Salah satu sumber energi yang paling mudah diperoleh untuk pembangkit listrik alternatif adalah air. Air merupakan energi ramah lingkungan dan terbarukan dengan demikian air merupakan pengganti sumber daya dari fosil yang tidak terbarukan.

Pembangkit listrik tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah solusi pemanfaatan sumber energi baru terbarukan yang ramah lingkungan dan efektif yang dirancang untuk mencakup wilayah yang kurang dari penyebaran listrik PLN. Pembangkit Listrik Mikrohidro (PLTMH) yaitu sistem pembangkit dengan menggunakan energi dari perubahan tinggi (head) dan aliran air (debit) untuk menggerakkan turbin, yang kemudian dihubungkan dengan generator menjadi tenaga listrik, dua faktor ini adalah yang memengaruhi seberapa besar daya listrik yang dihasilkan oleh generator PLTMH. Dalam pemanfaatan mikrohidro, elemen-elemen utamanya adalah air, turbin, dan generator. Dengan menerapkan faktor-faktor tersebut, semakin cepat aliran airnya, semakin tinggi Rotasi Per Menit (RPM) yang diperoleh, maka semakin meningkat dan semakin besar jumlah listrik yang dihasilkan. Oleh karena itu, Pada Tugas Akhir ini Penelitian ini bertujuan untuk mengamati pengaruh diameter sudu, debit air dan sudut pipa pesat (penstock) pada performa turbin air yang

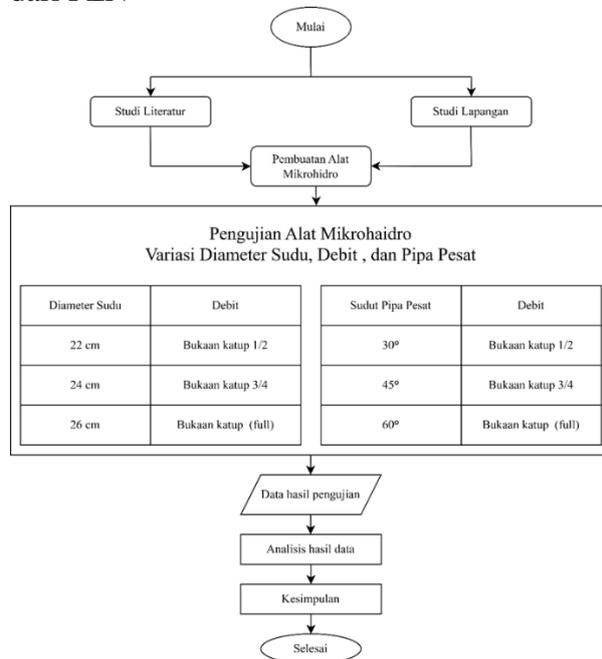
terletak dikawasan air terjun Hening Sukmo Pacet karena ada air terjun dengan ketinggian 4 meter yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik mikrohidro. yang dapat menjadi solusi dalam pengembangan pembangkit listrik bersekala kecil karena daya listrik dan volume air yang relative kecil dalam membantu masyarakat pedesaan yang belum terjangkau aliran listrik dari PLN.

## METODE PENELITIAN

Penggunaan energi listrik dalam kehidupan sehari-hari sangat dibutuhkan, adapun listrik diperoleh dengan berbagai cara yaitu memanfaatkan pembangkit tenaga seperti gas, angin, uap, surya dan lain-lain. Sumber tenaga listrik yang baru terbarukan biasanya adalah pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Air adalah sumber energi untuk pembangkit listrik yang mudah diakses, ramah lingkungan, dan dapat diperbarui. Dengan demikian, air dapat menggantikan sumber energi fosil yang akan habis di masa mendatang.

Pembangkit Listrik Mikro Hidro merupakan suatu sistem pembangkit yang pemanfaatannya didasarkan pada konversi energi dari air dengan potensi jatuh air (head) dan aliran air (debit), yang kemudian digunakan untuk menggerakkan atau memutar turbin dengan menghubungkannya ke generator menjadi tenaga listrik, dua faktor ini adalah yang bisa memengaruhi jumlah energi

listrik yang diperoleh generator PLTMH. Dalam pemanfaatan mikrohidro, komponen yang digunakan adalah generator, air, dan turbin dengan penerapan faktor diatas semakin cepat laju aliran, semakin cepat laju Rotasi Per Menit (RPM) yang dihasilkan sehingga semakin meningkat dan semakin besar jumlah listrik yang dihasilkan oleh generator. Karena itu, pada Tugas Akhir Penelitian ini bertujuan untuk mengamati pengaruh diameter sudu, debit air dan sudut pipa pesat (penstock) pada performa turbin air kaplan pada pemanfaatan potensi energi air ini yang terdapat pada Kawasan Air Terjun Hening Sukmo karena terdapat aliran air yang mengalir dari sungai dan air terjun dengan ketinggian 4 meter untuk digunakan tenaga Mikrohidro yang dapat menjadi solusi dalam pengembangan pembangkit listrik bersekala kecil karena daya listrik dan air yang masuk tergolong kecil dalam membantu masyarakat pedesaan yang belum terjangkau aliran listrik dari PLN



**Gambar 1. Diagram Alir Penelitian**

Telah ditemukannya gagasan untuk melanjutkan penelitian terdahulu yang perlu disempurnakan berdasarkan latar belakang tersebut, terdapat masalah kurangnya penggunaan potensi yang tersedia di aliran sungai, yang berdampak variasi mengenai

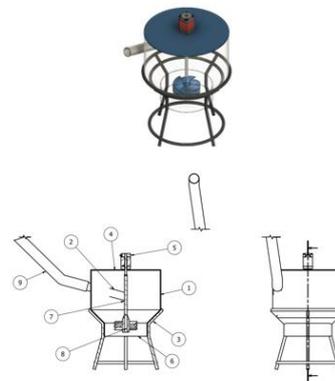
pengaruh diameter sudu, debit air dan sudut kemiringan pipa pesat dapat diciptakan.

#### A. Pembuatan Alat Mikrohidro

Pada tahap ini direncanakan semua desain dan perhitungan yang diperlukan untuk membangun perangkat mikrohidro ini. Kemudian melanjutkan perancangan yang dibuat sampai hasil alat yang telah siap untuk melakukan pengujian.



**Gambar 2. Hasil Jadi Alat**



**Gambar 3. Instalasi Alat**

Keterangan:

1. Tempat Menampung Air
2. Saluran Masuk Air
3. Penyangga Wadah
4. Penutup Penampung Air
5. Generator AC
6. Saluran Keluar Air
7. Poros
8. Turbin
9. Pipa Pesat (penstock)

Beberapa bagian yang dipasang dalam instalasi perangkat mikrohidro meliputi :

**Gambar 4. Generator**



Generator AC Permanen Magnet 200V 500W  
1500 Rpm



**Gambar 5. Selang Spiral**

Selang pipa spiral ukuran 2 inch

Alat pengukur yang digunakan untuk mengumpulkan data dari hasil pengujian antara lain yaitu :

- a. Tachometer dipakai untuk mengukur kecepatan putaran (RPM)



**Gambar 6. Tachometer**

- b. Avometer berfungsi untuk mengetahui volt dan ampere



**Gambar 7. Multimeter**

- B. Variabel Penelitian Mengenai Alat Mikrohidro

Perangkat mikrohidro yang digunakan memiliki variabel yang dipakai untuk mendapatkan penelitian guna memperoleh data yang akurat. Berikut adalah jenis komponen yang digunakan untuk meneliti turbin pada alat mikrohidro:

- A. Variabel dengan ukuran diameter sudu : 22 cm, 24 cm, dan 26 cm.



**Gambar 8. Variasi Diameter Sudu**

- B. Cara kerja alat uji mikrohidro

Berikut adalah cara kerja pada alat uji mikrohidro Mekanisme cara pengoprasian pada perangkat uji mikrohidro yaitu antara lain :

1. Dengan dimulai memasang pipa pesat di aliran sungai untuk mengarahkan aliran air ke saluran masuk alat uji mikrohidro.
2. Kemudian air dari sungai dapat masuk ke tangki silinder setelah pipa pesat disambungkan ke saluran masuk alat uji mikrohidro.
3. Air yang keluar dari saluran masuk akan memasuki tangki silinder, di mana aliran tersebut akan menciptakan pusaran saat melaluinya.

4. Pusaran yang dihasilkan oleh tangki fluida akan mengalir ke bagian bawah tangki di mana turbin Kaplan dipasang. Ketika air mengalir melalui saluran keluar, air akan mendorong sudu-sudu turbin, menyebabkan turbin berputar, dan aliran dari saluran keluar akan dialirkan kembali ke sungai.
5. Rotasi dari sudu turbin akan disalurkan melalui poros ke generator.
6. Rotasi akan disalurkan melalui poros mengakibatkan generator berputar, yang kemudian generator akan mengubah energy kinetic menjadi energy listrik.
7. Tahapan proses diatas terjadi secara berulang-ulang.

#### Dampak dari Variabel Penelitian

Performa PLTMH merupakan hasil kinerja pembangkit listrik berkaitan sangat erat dengan daya yang dihasilkan. Tenaga yang dihasilkan oleh pembangkit listrik ini dapat diukur melalui berbagai parameter, termasuk torsi, daya, dan efisiensi.

Daya hidrolik air merupakan energi yang berasal dari aliran. Energi terkandung dalam air dapat dimanfaatkan dalam bentuk energi gerak maupun energi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) menggunakan energi dari aliran air dengan beda tiap tingginya, menggunakan energi potensial jatuhnya air (head). Energi air yang dapat digunakan menjadi listrik meningkat seiring dengan perbedaan ketinggian air. Energi potensial air dihitung dengan rumus berikut :

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

Dalam perhitungan head losses ini butuh dicermati sebagian aspek, sebab pengaruh energi yang hendak dihasilkan oleh turbin. Menggunakan persamaan untuk mencari head turbin adalah sebagai berikut.

$$HT = \text{Headstatic} - \text{Headlosses (m)}$$

Dimana :

Head statis adalah tinggi jatuh air dalam satuan meter (m), diukur dari permukaan

teratas dari air sampai dengan permukaan air terbawah.

Head losses adalah rugi-rugi energi yang disebabkan dari sistem pipa yang terpasang, diukur dalam satuan meter (m).

Dalam head losses, ada dua jenis, yaitu head losses mayor dan head losses minor. Head losses secara keseluruhan adalah hasil pertambahan dari head losses mayor dan head losses minor, dengan persamaan dibawah ini:

$$H_t = HL \text{ Major} + HL \text{ Minor}$$

Head Losses Major adalah rugi- rugi energi yang timbul akibat gesekan fluida dengan permukaan kasar bahan pipa. Dengan rumus mencari Head Losses Major adalah :

$$HL. \text{major} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Head Losses Minor, adalah rugi energi yang disebabkan oleh sambungan maupun belokan dalam system perpipaan. Koefisien gesekan belokan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan rumus Fuller. Untuk menghitung head losses minor, gunakan persamaan berikut:

$$HL. \text{Minor} = K \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Pada turbin kaplan, kecepatan aliran fluida yang bergerak searah gaya gravitasi, maka kecepatan dihitung berdasarkan tinggi jatuh air dengan rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pengujian dengan teknik sampel berurutan. Selanjutnya didapat rata-rata dari setiap variabel. Berikut ini adalah hasil data pengujian yang telah dilakukan:

**Table 1. Hasil Rata-Rata dari Diameter Sudu 22 cm, 24 cm, 26 cm dan Rata- Rata**

**Debit Air Dengan Bukaan Katup 1/2, Bukaan Katup 3/4, dan Bukaan Katup Full**

Debit Air	Diameter Sudu (cm)	Pengujian	Putaran (RPM)	Tegangan (V)	Arus (Amper)
Bukaan Katup 1/2	22	1	319	31,7	0,27
		2	320	32,3	0,28
		3	322	32,5	0,32
		<b>Rata-rata</b>	<b>320</b>	<b>32,2</b>	<b>0,29</b>
	24	1	347	41,9	0,48
		2	343	42,6	0,51
		3	351	42,3	0,4
		<b>Rata-rata</b>	<b>347</b>	<b>42,3</b>	<b>0,46</b>
	26	1	373	47,5	0,66
		2	375	47,6	0,68
		3	379	47,8	0,7
		<b>Rata-rata</b>	<b>376</b>	<b>47,6</b>	<b>0,68</b>
Bukaan Katup 3/4	22	1	338	34,6	0,58
		2	340	35,6	0,55
		3	341	34,8	0,6
		<b>Rata-rata</b>	<b>340</b>	<b>35,0</b>	<b>0,58</b>
	24	1	364	46	0,73
		2	368	46,5	0,76
		3	366	45,9	0,81
		<b>Rata-rata</b>	<b>366</b>	<b>46</b>	<b>0,77</b>
	26	1	392	59,7	1,02
		2	398	60,8	0,98
		3	395	60,7	0,95
		<b>Rata-rata</b>	<b>395</b>	<b>60,4</b>	<b>0,98</b>
Bukaan Katup Full	22	1	356	48,5	0,77
		2	359	48,7	0,76
		3	357	50,1	0,74
		<b>Rata-rata</b>	<b>357</b>	<b>49,1</b>	<b>0,76</b>
	24	1	378	55,1	1,21
		2	385	51,1	1,01
		3	388	51,3	1,24
		<b>Rata-rata</b>	<b>383,7</b>	<b>52,50</b>	<b>1,15</b>
	26	1	409	58,9	1,54
		2	411	59,7	1,52
		3	417	65,9	1,56
		<b>Rata-rata</b>	<b>412,3</b>	<b>61,5</b>	<b>1,54</b>

**Table 2. Hasil Rata-Rata dari Sudut Pipa Pesat dan Rata-Rata Debit Air Dengan Bukaan Katup 1/2, Bukaan Katup 3/4, dan Bukaan Katup Full**

Debit Air	Sudut Pipa Pesat (°)	Pengujian	Putaran (RPM)	Tegangan (V)	Arus (Amper)
Bukaan Katup 1/2	30	1	310	31,7	0,3
		2	320	32,1	0,29
		3	322	32,5	0,27
		<b>Rata-rata</b>	<b>317</b>	<b>32,1</b>	<b>0,29</b>
	45	1	344	41,9	0,4
		2	340	42,3	0,42
		3	351	42,5	0,41
		<b>Rata-rata</b>	<b>345</b>	<b>42,2</b>	<b>0,41</b>
	60	1	371	47,5	0,5
		2	374	47,6	0,48
		3	368	47,8	0,44
		<b>Rata-rata</b>	<b>371</b>	<b>47,6</b>	<b>0,47</b>
Bukaan Katup 3/4	30	1	338	34,6	0,45
		2	340	35	0,47
		3	320	34,8	0,5
		<b>Rata-rata</b>	<b>333</b>	<b>34,8</b>	<b>0,47</b>
	45	1	364	45,9	0,72
		2	368	46,3	0,69
		3	357	45,7	0,7
		<b>Rata-rata</b>	<b>363</b>	<b>46</b>	<b>0,70</b>
	60	1	400	59,7	0,7
		2	404	60,8	0,79
		3	396	60,7	0,68
		<b>Rata-rata</b>	<b>400</b>	<b>60,4</b>	<b>0,72</b>
Bukaan Katup Full	30	1	356	48,3	0,55
		2	359	48,7	0,58
		3	366	50	0,6
		<b>Rata-rata</b>	<b>360</b>	<b>49,0</b>	<b>0,58</b>
	45	1	386	55	1,1
		2	385	51,1	0,92
		3	388	51,3	1
		<b>Rata-rata</b>	<b>386,3</b>	<b>52,47</b>	<b>1</b>
	60	1	406	58,9	1,1

Dari data tersebut, analisis perhitungan akan dilakukan untuk mendapatkan nilai performa yang optimal.

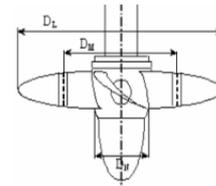
**A. Perhitungan Debit**

Debit air merupakan besarnya volume air yang mengalir pada saluran dengan satuan waktu tertentu. Besarnya debit air dipengaruhi pada luas penampang aliran dan kecepatan aliran. Besar kecepatan akan memengaruhi volume fluida yang mengalir dalam pipa. Kecepatan aliran dapat dihitung ketika air melewati pipa dengan rumus berikut :

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot HT}$$

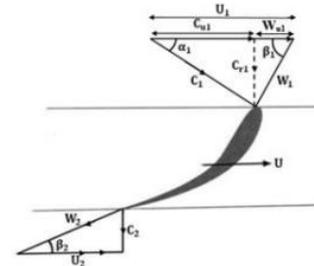
**B. Profil Turbin**

Profil sudu Kaplan yang dirancang persamaan yang berkaitan dengan pengaruh variasi diameter



**Gambar 9. Sketsa Gambar Diameter Turbin Kaplan**

**C. Segitiga Kecepatan**



**Gambar 10. Gambar Skema Segitiga Kecepatan**

**Perhitungan Kecepatan Aliran Turbin**

Untuk menghitung kecepatan aliran air yang melewati sudu turbin, digunakan rumus sebagai berikut :

$$C_{r1} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \cdot (D_L^2 - D_N^2)}$$

**Perhitungan Kecepatan Keliling**

Sebelum melakukan perhitungan pada kecepatan relatif, maka terlebih dahulu melakukan perhitungan kecepatan keliling dengan rumus sebagai berikut :

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

**Perhitungan Kecepatan Relative**

Setelah ditemukan nilai dari kecepatan keliling maka dapat dihitung kecepatan relative dengan rumus sebagai berikut :

$$W_1 = W_2 = C_1 - U$$

**Perhitungan Kecepatan Pusaran**

Perhitungan kecepatan pusaran air menggunakan rumus berikut:

$$W_{u1} = \frac{C_{r1}}{\tan \beta_1}$$

**Perhitungan Kecepatan Tangensial**

Perhitungan kecepatan tangensial sisi masuk menggunakan rumus berikut:

$$C_{u1} = U - W_{u1}$$

Perhitungan kecepatan tangensial sisi keluar menggunakan rumus berikut:

$$C_{u2} = 0$$

**Perhitungan Gaya**

Perhitungan Gaya (F) dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$F = \rho \cdot Q \cdot (C_{u1} - C_{u2})$$

**Perhitungan Torsi Perhitungan Torsi (T)**

Dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$T = F \cdot r$$

**Perhitungan Kecepatan Sudut**

Dengan cara menghitung kecepatan sudut ( $\omega$ ) menggunakan rumus :

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

**Perhitungan Daya Turbin**

Perhitungan daya turbin (Pt) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_t = \rho \cdot Q \cdot U \cdot (C_{u1} - C_{u2}) = T \cdot \omega$$

**Perhitungan Daya Generator**

Perhitungan daya generator (Pg) menggunakan rumus :

$$P_g = V \cdot I$$

**Perhitungan Daya Air**

Perhitungan daya air (Pa) dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P_a = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_T$$

**Perhitungan Efisiensi Turbin**

Perhitungan efisiensi turbin ( $\eta$ ) dihitung dengan rumus sebagai berikut:

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

**Perhitungan Efisiensi PLTMH**

Perhitungan efisiensi PLTMH ( $\eta$ ) dihitung dengan rumus sebagai berikut:  $\eta$

$$\eta = \frac{P_g}{P_t} \times 100\%$$

**Table 3. Hasil Perhitungan Segitiga Kecepatan variasi Diameter Sudu dengan Debit Air**

No	Perhitungan	Diameter sudu								
		22			24			26		
		0,012 m <sup>3</sup> /s	0,018 m <sup>3</sup> /s	0,023 m <sup>3</sup> /s	0,012 m <sup>3</sup> /s	0,018 m <sup>3</sup> /s	0,023 m <sup>3</sup> /s	0,012 m <sup>3</sup> /s	0,018 m <sup>3</sup> /s	0,023 m <sup>3</sup> /s
1	Kecepatan aliran turbin ( $C_{r1}$ )	0,33 m/s	0,49 m/s	0,6 m/s	0,27 m/s	0,41 m/s	0,55 m/s	0,23 m/s	0,34 m/s	0,46 m/s
2	Kecepatan keliling (U)	2,35 m/s	2,49 m/s	2,62 m/s	2,72 m/s	2,87 m/s	3,01 m/s	3,15 m/s	3,31 m/s	3,45 m/s
3	Kecepatan Relatif ( $W_1$ )	5,93 m/s	5,79 m/s	5,66 m/s	5,55 m/s	5,40 m/s	5,26 m/s	5,13 m/s	4,97 m/s	4,82 m/s
4	Kecepatan relative terhadap kecepatan keliling ( $W_{u1}$ )	0,155 m/s	0,233 m/s	0,31 m/s	0,129 m/s	0,193 m/s	0,257 m/s	0,109 m/s	0,163 m/s	0,217 m/s
5	Kecepatan tangensial masuk ( $C_{u1}$ )	2,19 m/s	2,26 m/s	2,31 m/s	2,6 m/s	2,68 m/s	2,75 m/s	3,04 m/s	3,14 m/s	3,24 m/s
6	Gaya (F)	25,6 N	39,6 N	54 N	30,3 N	47 N	64,4 N	35,5 N	55,2 N	75,7 N

**Table 4. Hasil Perhitungan Segitiga Kecepatan variasi Sudut Pipa Pesat dengan Debit Air**

No	Perhitungan	Sudut Pipa Pesat (penstock)								
		30°			45°			60°		
		Debit Air								
	0,012 m <sup>3</sup> /s	0,018 m <sup>3</sup> /s	0,024 m <sup>3</sup> /s	0,011 m <sup>3</sup> /s	0,017 m <sup>3</sup> /s	0,023 m <sup>3</sup> /s	0,010 m <sup>3</sup> /s	0,016 m <sup>3</sup> /s	0,022 m <sup>3</sup> /s	
1	Kecepatan aliran turbin (C <sub>r1</sub> )	0,278 m/s	0,417 m/s	0,56 m/s	0,259 m/s	0,411 m/s	0,548 m/s	0,236 m/s	0,377 m/s	0,519 m/s
2	Kecepatan keliling (U)	2,49 m/s	2,61 m/s	2,83 m/s	2,71 m/s	2,85 m/s	3,03 m/s	2,91 m/s	3,14 m/s	3,23 m/s
3	Kecepatan Relatif (W <sub>1</sub> )	5,85 m/s	5,73 m/s	5,52 m/s	5,51 m/s	5,37 m/s	5,18 m/s	5,13 m/s	4,91 m/s	4,82 m/s
4	Kecepatan relative terhadap kecepatan keliling (W <sub>u1</sub> )	0,13 m/s	0,195 m/s	0,26 m/s	0,121 m/s	0,192 m/s	0,255 m/s	0,11 m/s	0,176 m/s	0,242 m/s
5	Kecepatan tangensial masuk (C <sub>u1</sub> )	2,36 m/s	2,42 m/s	2,57 m/s	2,59 m/s	2,66 m/s	2,78 m/s	2,80 m/s	2,96 m/s	2,99 m/s
6	Gaya (F)	27,8 N	42,8 N	60,6 N	28,5 N	46,3 N	64,5 N	28 N	64,7 N	66,7 N

**Table 5. Hasil Perhitungan Karakteristik Turbin Varasi Diameter Sudu dengan Debit Air**

No	perhitungan	Diameter sudu								
		22			24			26		
		Debit Air								
	0,012 m <sup>3</sup> /s	0,018 m <sup>3</sup> /s	0,024 m <sup>3</sup> /s	0,011 m <sup>3</sup> /s	0,017 m <sup>3</sup> /s	0,023 m <sup>3</sup> /s	0,010 m <sup>3</sup> /s	0,016 m <sup>3</sup> /s	0,022 m <sup>3</sup> /s	
1	Kecepatan sudu (ω)	33,5 rad/s	35,6 rad/s	37,4 rad/s	36,3 rad/s	38,3 rad/s	40,2 rad/s	39,3 rad/s	41,3 rad/s	43,2 rad/s
2	Torsi (T)	1,92 Nm	2,97 Nm	4,05 Nm	2,28 Nm	3,53 Nm	4,83 Nm	2,66 Nm	4,14 Nm	5,67 Nm

**Table 6. Hasil Perhitungan Karakteristik Turbin Varasi Sudut Pipa Pesat dengan Debit Air**

No	perhitungan	Sudut Pipa Pesat (penstock)								
		30			45			60		
		Debit Air								
	0,012 m <sup>3</sup> /s	0,018 m <sup>3</sup> /s	0,024 m <sup>3</sup> /s	0,011 m <sup>3</sup> /s	0,017 m <sup>3</sup> /s	0,023 m <sup>3</sup> /s	0,010 m <sup>3</sup> /s	0,016 m <sup>3</sup> /s	0,022 m <sup>3</sup> /s	
1	Kecepatan sudu (ω)	33,2 rad/s	34,8 rad/s	37,7 rad/s	36,1 rad/s	38 rad/s	40,4 rad/s	38,8 rad/s	41,9 rad/s	43,1 rad/s
2	Torsi (T)	2,09 Nm	3,21 Nm	4,54 Nm	2,13 Nm	3,47 Nm	4,84 Nm	2,1 Nm	3,56 Nm	4,93 Nm

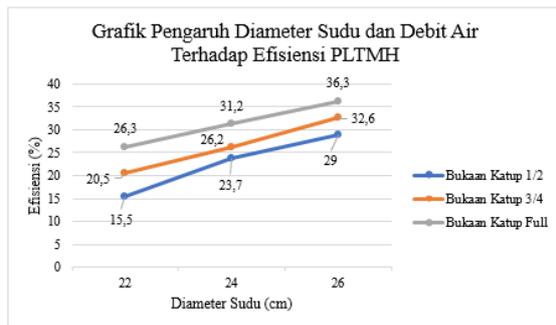
**Table 7. Hasil Perhitungan Daya dan Efisiensi PLTMH dengan Variasi Diameter Sudu dan debit Air**

Debit air	Diame ter sudu (cm)	n (Rpm)	Daya air (watt)	Daya turbin (watt)	Daya gener ator (watt)	Efisiensi turbin (%)	Efisiensi PLTMH (%)
Bukaan Katup 1/2	22	320	400,3	60,1	9,3	15	15,5
	24	347	400,3	82,7	19,6	20,6	23,7
	26	376	400,3	111,7	32,4	27,9	29
Bukaan Katup 3/4	22	340	600,5	98,5	20,2	16,4	20,5
	24	366	600,5	135,1	35,4	22,5	26,2
	26	395	600,5	182,4	59,4	30,4	32,6
Bukaan Katup full	22	357	800,6	141,3	37,2	17,6	26,3
	24	383,7	800,6	194	60,5	24,2	31,2
	26	412	800,6	261,2	94,7	32,6	36,3

**Table 8. Hasil Perhitungan Daya dan Efisiensi PLTMH dengan Variasi Sudut Pipa Pesat dan debit Air**

Debit air	Sudut Sudu (°)	n (Rpm)	Daya air (watt)	Daya turbin (watt)	Daya gener ator (watt)	Efisiensi turbin (%)	Efisiensi PLTMH(%)
Bukaan Katup 1/2	30	317	410,7	69,4	9,2	16,9	13,3
	45	345	371,2	77,1	17,3	20,8	22,5
	60	371	323,7	81,6	22,5	25,2	27,6
Bukaan Katup 3/4	30	333	616	111,6	16,47	18,1	14,8
	45	363	587,6	131,9	32,3	22,4	24,5
	60	400	518	148,9	43,7	28,7	29,3
Bukaan Katup full	30	360	821,4	171,4	28,3	20,9	16,5
	45	386,3	783,5	195,5	52,8	25	27
	60	411	712,2	212,2	70,4	29,8	33,2

**Hasi Uji Sensitivitas**



**Gambar 11. Grafik Pengaruh Diameter Sudu dan Debit Air terhadap Efisiensi PLTMH**

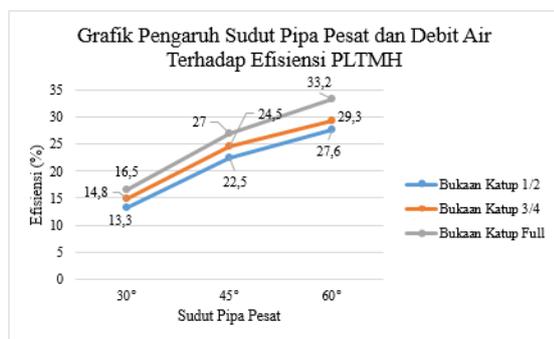
Berdasarkan yang ditunjukkan grafik 17 menunjukkan variasi diameter sudu dan debit air terhadap putaran turbin sangat berdampak. Pada garis biru untuk bukaan katup 1/2 dengan diameter sudu 22 cm menghasilkan efisiensi 15,5%, pada diameter sudu 24 cm menghasilkan efisiensi 23,7%, dan pada diameter sudu 26 cm menghasilkan efisiensi 29%.

Pada garis oranye untuk bukaan katup 3/4 dengan diameter sudu 22 cm menghasilkan

efisiensi 20,5%, pada diameter sudu 24 cm menghasilkan efisiensi 26,2%, dan pada diameter sudu 26 cm menghasilkan efisiensi 32,6%.

Pada garis abu-abu untuk bukaan katup full dengan diameter sudu 22 cm menghasilkan efisiensi 126,3%, pada diameter sudu 24 cm menghasilkan efisiensi 31,2%, dan pada diameter sudu 26 cm menghasilkan efisiensi 36,3%.

Hasil analisa dari grafik diatas yaitu bahwa bukaan katup full dan semakin besar diameter sudu turbin maka daya listrik yang dihasilkan akan meningkat. Karena air yang memasuki dapat sepenuhnya menabrak semua sudu turbin yang dapat memaksimalkan gaya dorong air pada turbin dan menghasilkan putaran lebih cepat. Jadi bertambahnya kecepatan putaran yang dihasilkan, maka daya output dari generator juga akan bertambah secara proporsional.



**Gambar 12. Grafik Pengaruh Sudut Pipa Pesat dan Debit Air terhadap Efisiensi PLTMH**

Hasil dari alat mikrohidro tersebut dapat berbeda-beda tergantung pada penggunaan sudu. Dengan diameter sudu 26 cm dan debit air dengan bukaan katup full menghasilkan daya output listrik terbesar yaitu menghasilkan 94,7 watt. Hal itu dikarenakan pada bukaan katup full air yang mengalir dapat masuk dengan sempurna mengenai sudu turbin dengan diameter 26 cm yang mengakibatkan daya dorong air terhadap sudu semakin besar aliran air, maka putaran turbin akan meningkat dan meningkatkan rpm turbin dan output daya dari generator.

Pada alat mikrohidro dengan menggunakan turbin kaplan dengan variasi

diameter sudu 26 cm dan debit air bukaan katup full menghasilkan efisiensi turbin terbaik yaitu 32,6% dan menghasilkan efisiensi PLTM sebesar 36,3%. Dengan pola grafik yang dihasilkan untuk setiap ukuran diameter sudu yang berbeda, debit air berdasarkan bukaan katup memiliki kecenderungan yang sama dimana semakin besar efisiensi maka semakin besar juga daya.

Berdasarkan pengujian pada variabel sudut pipa pesat dan debit air terhadap turbin kaplan pada hasil rancang bangun Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, diperoleh kesimpulan pada dampak dari penelitian dengan variasi tersebut memiliki pengaruhnya terhadap daya dan performa. Hasil dari alat mikrohidro tersebut dengan menggunakan variasi sudut pipa pesat 60° pada debit air dengan bukaan katup full menghasilkan daya output listrik terbesar yaitu menghasilkan 70,4 watt. Hal itu dikarenakan pada bukaan katup full dengan sudut pipa pesat 60° aliran air yang memasuki dapat secara optimal mengenai sudu turbin yang mengakibatkan daya dorong air terhadap sudu semakin besar sehingga akan menghasilkan putaran turbin yang tinggi, semakin tinggi rpm yang dihasilkan maka semakin tinggi pula daya dari generator.

Pada alat mikrohidro dengan menggunakan turbin kaplan dengan variasi sudut pipa pesat 60° dan debit air bukaan katup full menghasilkan tingkat efisien turbin yang optimal, yakni 29,9% dan mencapai tingkat efisiensi yang optimal untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) sebesar 33,2%. Dengan pola grafik yang dihasilkan untuk setiap variasi diameter sudu dengan debit air berdasarkan bukaan katup memiliki kecenderungan yang sama, dimana semakin tinggi efisiensinya, semakin tinggi pula daya yang dihasilkan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pengujian pada variabel diameter sudu dan debit air terhadap turbin kaplan pada rancang bangun tersebut sangatlah berpengaruh terhadap daya dan performa. Variasi diameter sudu 26 cm pada debit air dengan bukaan katup full menghasilkan daya

output listrik maksimum sebesar 94,7 watt, efisiensi tertinggi mencapai 32,6% dan menghasilkan efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM) sebesar 36,3%.

Variasi sudut pipa pesat dan debit air dengan kemiringan sudut pipa pesat 60° menghasilkan daya output listrik maksimum sebesar 70,4 watt, efisiensi tertinggi mencapai 29,9% dan menghasilkan efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) sebesar 33,2%.

Dengan penelitian ini yang sudah dilakukan sangat memungkinkan untuk dikembangkan lagi untuk menyempurnakan penelitian ini. Dengan inovasi yang bisa ditambahkan antara lain:

1. Pemilihan aliran sungai lebih diperhatikan agar dapat menyesuaikan pada alat mikrohidro yang sangat berpengaruh pada performa turbin.
2. Pemilihan bahan yang digunakan untuk pembuatan turbin yang lebih baik agar meminimalisir kegagalan pada proses pengujian.
3. Diameter sudu dan bentuk turbin dapat disesuaikan lagi agar hasil dari alat mikrohidro tersebut dapat menghasilkan performa yang maksimal
4. Pemilihan jenis generator sangat wajib diperhatikan karena penggunaan generator disesuaikan dengan perencanaan agar menghasilkan peforma yang maksimal

## REFERENSI

Gibran, Syahril Gultom, Lubis, A. Z., & Pramio G. Sembiring. (2017). RANCANG BANGUN TURBIN VORTEX DENGAN CASING BERPENAMPANG LINGKARAN YANG MENGGUNAKAN SUDU DIAMETER 46 CM PADA 3 VARIASI JARAK ANTARA SUDU DAN SALURAN KELUAR. *DINAMIS*, 5(2). <https://doi.org/10.32734/dinamis.v5i2.7049>

Hartadi, B. (2015). PERANCANGAN PENSTOCK, RUNNER, DAN SPIRAL CASING PADA TURBIN AIR KAPLAN UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) DI SUNGAI SAMPANAHAN DESA MAGALAU HULU KABUPATEN KOTABARU. *AL ULUM: JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI*.

Jurnal, R. T. (2018). ANALISIS HEAD LOSSES PADA PENSTOCK UNIT III DI PERUM JASA TIRTA II UNIT JASA PEMBANGKIT PLTA IR. H. DJUANDA: Eko Sulistiyo, Utami Wahyuningsih, M. Arif Rahman Sutisna. *JURNAL POWERPLANT*, 6(1), 19–25. <https://doi.org/10.33322/powerplant.v6i1.70>

Kusnadi, K., Mulyono, A., Pakki, G., & Gunarko, G. (2018). RANCANG BANGUN DAN UJI PERFORMANSI TURBIN AIR JENIS KAPLAN SEKALA MIKROHIDRO. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 7(2). <https://doi.org/10.24127/trb.v7i2.817>

Loots, I., van Dijk, M., Barta, B., van Vuuren, S. J., & Bhagwan, J. (2015). A review of low head hydropower technologies and applications in a South African context. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 50, 1254–1268.

Maridjo, M. (2021). Studi Perencanaan Turbin Air PLTMH di Sungai Cilaki. *Jurnal Teknik Energi*, 10(1), 29–35. <https://doi.org/10.35313/energi.v10i1.2323>

Maridjo, S., Wibawa, A., Lutfy, J., Teknik, K., Energi, N., & Bandung, I. (2020). Studi Perencanaan Turbin Air PLTMH di Sungai Cilaki. 10.

Minmin, O. O. (2019). Design of 50 kW Kaplan Turbine for Micro hydro Power Plant.

Mulyono, S., Program, S., Teknik, K., Energi, J., Teknik, M., Politeknik, N., Semarang, J. H., & Sudarto, S. H. (2015). KARAKTERISTIK TURBIN KAPLAN PADA SUB UNIT PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR

- KEDUNGOMBO. Dalam EKSERGI Jurnal Teknik Energi (Vol. 11, Nomor 3). <http://www.polines.ac.id>,
- Nasir, B. A. (2014). Design considerations of micro-hydro-electric power plant. Energy Procedia, 50, 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.003>
- Paish, O. (2002). Small hydro power: technology and current status. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6(6), 537–556. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00006-0](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00006-0)
- Saputra, R., & Liichan, T. (2018). PERANCANGAN ULANG TURBIN KAPLAN POROS VERTIKAL DI PLTM PLUMBUNGAN. Bina Teknika, 14(2), 153. <https://doi.org/10.54378/bt.v14i2.354>
- Siahaan, E. W. B., Sitanggang, H., & Harianja, S. (2023). STUDI KELAYAKAN DALAM PERENCANAAN TURBIN AIR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) RAHUNING BERDAYA 70KW. Jurnal Darma Agung, 31(1), 445. <https://doi.org/10.46930/ojsuda.v31i1.3025>
- Sugiharto, A. (2018). PLTMH Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan. Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas, 8(1), 107–118. <http://ejurnal.ppsdmmigas.esdm.go.id/sp/index.php/swarapatra/article/view/21>
- Sugiyanto, D. (2016). Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Kaplan dengan Variasi Debit Air. Jurnal Kajian Teknik Mesin, 1(1), 31–42.
- Sunyoto, A., Wenehenubun, F., & Sutanto, H. (2013). The effect of number of blades on the performance of H-Darrieus type wind turbine. 2013 International Conference on QiR, 192–196. <https://doi.org/10.1109/QiR.2013.6632563>
- Thayib, R., Nalendra, S., & D. Mayasari, E. (2017). ESTIMASI SUMBERDAYA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) DALAM PEMENUHAN KEBUTUHAN LISTRIK DUSUN PULAU TIMUN, KABUPATEN LAHAT, PROVINSI SUMATERA SELATAN. Jurnal Geomine, 5(3). <https://doi.org/10.33536/jg.v5i3.145>