

ANALISIS PENGARUH VARIASI DIAMETER INLET NOZZEL DAN SUDUT SUDU PADA TURBIN KAPLAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)

David Aksal Johansa¹⁾, Amelia Firsty Adey Wijaya²⁾, Ir. Gatut Priyo Utomo, M.Sc.³⁾
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya^{1,2,3}

*Email : davidaksaljohan@gmail.com¹⁾, ameliamfirsty@gmail.com²⁾, gatut_pu@untag-sby.ac.id³⁾

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro-Hidro (PLTMH) adalah sebuah sumber energi cadangan berskala kecil yang memberikan banyak keuntungan terutama bagi masyarakat di pedesaan atau di daerah yang tidak terjangkau oleh jaringan distribusi PLN. Penelitian ini mencoba untuk merancang sebuah pembangkit listrik alternatif di Kawasan Wisata Surodadu Pacet dengan memanfaatkan aliran air sungai melalui turbin jenis Kaplan vertikal. Analisis dilakukan terhadap diameter inlet nozzle dan sudut sudu untuk mengetahui performansi yang dihasilkan dengan menggunakan metode sample random. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi diameter inlet nozzle 0,5 inci dan sudut sudu 60° menghasilkan daya output terbesar, yaitu 63,1 Watt, serta efisiensi PLTMH terbesar, yaitu 55,5% dan efisiensi turbin sebesar 22,1%. Hal ini dikarenakan pada nilai sudut sudu 60°, diameter inlet nozel 0,5 inci dapat memancarkan air secara sempurna dan tepat mengenai seluruh bagian dari sudu turbin, yang berdampak pada gaya dorong air terhadap turbin. Semakin tinggi nilai rpm yang diperoleh, semakin tinggi pula hasil daya keluaran yang didapat dari generator.

Kata-kata kunci: PLTMH, Energi Air, Aliran Sungai, Turbin Kaplan, Diameter Inlet Nozzel, Sudut Sudu Turbin, Metode Sample Random.

ABSTRACT

Micro-hydro power plant (PLTMH) is an alternative energy source that has a small scale which provides many benefits, especially for people in rural or inaccessible areas by the PLN distribution network. This study attempts to design an alternative power plant in the Surodadu Pacet Tourist Area by utilizing the flow of river water through Kaplan vertical turbine type. Analysis is performed on the inlet nozzle's diameter and the blade's angle to determine the resulting performance using sample random method. The research results show that the variation of the inlet nozzle's diameter 0.5 incies and the blade angle of 60° produces the largest output power, namely 63,1 Watts, as well as the largest PLTMH efficiency, namely 55,5% and turbine efficiency is 22,1%. This is because at a blade angle of 60°, a 0.5-inci inlet nozzle can shoot water perfectly and accurately hit all the parts of turbine blade, which has an influence on the water thrust force on the turbine. The rpm value obtained is high, then the output from the generator will also be high.

Keywords: Micro-Hydro Power Plant (PLTMH), Water Energy, River Flow, Kaplan Turbine, Inlet Nozzle Diameter, Turbine Blade Angle, Sample Random Method.

Pendahuluan

Energi listrik benar-benar menjadi tempat bergantung kehidupan sehari-hari, sama vitalnya seperti makanan, perjalanan, dan pekerjaan. Pembangkit listrik tenaga air yang mengubah air mengalir menjadi energi listrik dan kemudian disalurkan ke masyarakat ialah satu dari sumber energi listrik yang sering digunakan (Pudjanarsa & Nursuhud 2012). Sementara persebaran pembangkit listrik tidak selalu mengikuti pertumbuhan penduduk, terutama di daerah pedesaan yang pasokan listriknya masih kurang, konsumsi energi listrik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk (Holland 1983). Di Indonesia, batu bara masih menempati urutan sebagai bahan alam yang paling banyak dikonsumsi untuk pembangkit listrik, namun karena proses pembentukannya yang lama, bahan bakar fosil ini dapat habis.

Pembangkit listrik mikrohidro merupakan sumber energi alternatif yang sangat membantu dalam menjawab persoalan kebutuhan energi masa depan dan juga ramah lingkungan (Dietzel 1992). Alternatif terbaik, seperti energi air, energi panas bumi, biomassa, dan lainnya, diperlukan untuk menggantikan sumber energi tak terbarukan yang tidak dapat diperbarui di alam. Mahajana yang bermukim di daerah rural dan belum tersentuh oleh jaringan distribusi listrik PLN dapat memperoleh manfaat besar dari pembangkit listrik mikrohidro skala kecil. Masyarakat di pelosok dapat memanfaatkan ketersediaan sumber energi terbarukan seperti ini dengan dibantu akses listriknya.

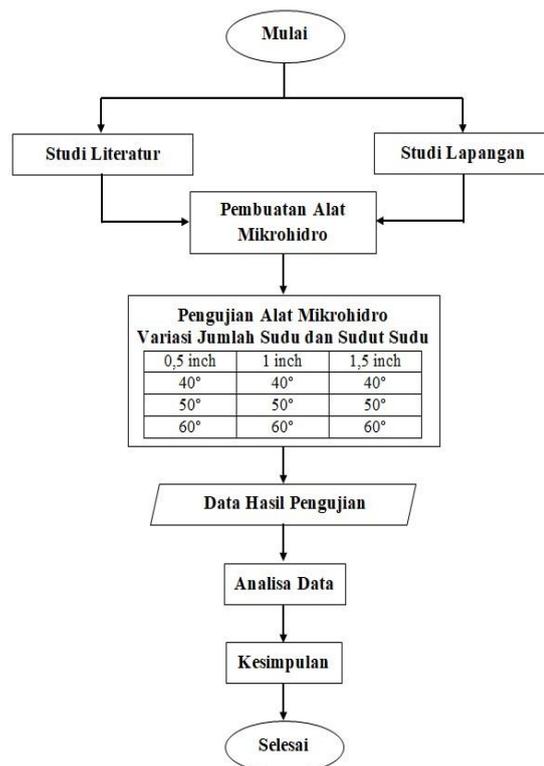
Pembangkit listrik tenaga mikrohidro ialah jenis dari sumber energi alternatif potensial dan bermanfaat di Indonesia. Namun kontribusinya dalam pembangkitan listrik masih tergolong kecil. Menurut data hingga November 2021, pembangkit listrik di Indonesia mencapai 73.736 Megawatt atau 79,74 gigawatt, dengan kontribusi terbesar dari pembangkit listrik tenaga uap yang mencapai 36,98 gigawatt atau setengah dari total pembangkitan listrik di Indonesia. Kontribusi selanjutnya muncul dari pembangkit listrik bertenaga gas dan uap yang memiliki daya 12,41 gigawatt atau 17 persen dari total pembangkitan, dan pembangkit listrik tenaga gas atau mesin gas dengan 8,54 gigawatt atau 11 persen dari total pembangkitan. Pembangkit listrik tenaga air, minihidro, dan mikrohidro menempati posisi keempat dengan 6,41 gigawatt atau 9 persen dari total pembangkitan listrik di Indonesia (Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan 2021).

Mikrohidro merupakan sebuah sistem yang memanfaatkan aliran air untuk memutar turbin yang terhubung ke generator, sehingga dapat menghasilkan energi listrik (Salamun & Radiq Prakosa n.d.). Komponen utama dalam pemanfaatan mikrohidro adalah air, turbin, dan generator (Ullah Khan, Ur Rahman & Masood Ahmad 2021). Aliran air dapat berasal dari sungai, irigasi, atau air terjun (Rahmann, Khan, ur Rehman & Ullah Khan 2019). Semakin tinggi laju aliran air, maka semakin tinggi Rotasi Per Menit (RPM) yang dihasilkan, sehingga jumlah listrik yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Daerah pegunungan memiliki potensi tinggi untuk pemanfaatan teknologi mikrohidro karena memiliki sumber mata air dan aliran yang sanggup dipakai untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) (Giri 2021). Peneliti telah melakukan kajian untuk meningkatkan kualitas sumber daya manusia dalam ilmu pengetahuan agar daerah pedalaman dapat merasakan manfaat energi listrik melalui teknologi mikrohidro.

Pada Tugas Akhir ini peneliti akan melakukan rancang bangun sebuah pembangkit listrik alternatif di Kawasan Wisata Surodadu Pacet Jawa Timur. Dengan memanfaatkan aliran air sungai sebagai sumber tenaganya, rancang bangun pembangkit listrik tenaga mikrohidro menggunakan turbin kaplan dengan analisis diameter inlet nozel dan sudut sudu. Rancang bangun sebuah pembangkit listrik alternatif ini disebut dengan mikrohidro karena luaran energi listrik dan aliran arus air yang digunakan tergolong kecil.

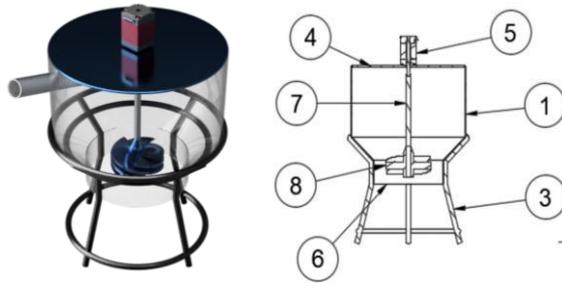
Metode



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

ANALISIS PENGARUH VARIASI DIAMETER INLET NOZZEL....

Alat Uji dan Perlengkapan



Gambar 2. Instalasi Alat

Keterangan:

- | | |
|------------------------|-------------------|
| 1. Wadah Penampung Air | 5. Generator AC |
| 2. Saluran Inlet | 6. Saluran Outlet |
| 3. Penyangga Wadah | 7. Poros |
| 4. Penutup Wadah | 8. Turbin |

Pada pembuatan alat mikrohidro akan ditunjukkan perancangan desain dan alat jadi yang digunakan dalam pengujian serta terdapat variasi dan variabel yang digunakan dalam mendukung penelitian agar didapatkan data yang tepat.

Berikut spesifikasi alat mikrohidro yang digunakan untuk pengujian. a.

Variasi diameter inlet nozzel : 0,5 inci, 1 inci, dan 1,5 inci



Gambar 3. Variasi Diameter Inlet Nozzel

b. Variasi Sudut Sudu : 40°, 50°, 60°



Gambar 4. Variasi Sudut Sudu Turbin

c. Generator AC Permanen magnet 200V 500W 1500 Rpm



Gambar 5. Generator

Alat ukur yang akan dipakai pada pengujian ini yaitu sebagai berikut : 1.
Tachometer untuk mengukur RPM



Gambar 6. Tachometer

2. Multimeter untuk mengukur tegangan dan arus listrik



Gambar 7. Multimeter

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini memakai *sampel random method* yang mana masing-masing dari variabelnya diuji sejumlah tiga kali dengan waktu 5 menit untuk tiap pengujian. Variabel yang digunakan adalah diameter inlet nozzel yaitu 0,5 inci, 1 inci, dan 1,5 inci. Serta sudut sudu turbin yaitu 40°, 50°, dan 60°. Tata cara yang dilakukan dalam pengujian antara lain : 1. Pasang Turbin dan Inlet nozzel pada alat mikrohidro

2. Alirkan air dengan pipa menuju rumah turbin.

3. Dilakukan monitoring terhadap sudu gerak stabil dan tidak menyentuh draft tube.

ANALISIS PENGARUH VARIASI DIAMETER INLET NOZZEL....

4. Apabila putaran turbin sudah konstan, maka dilakukan pengukuran tegangan dan arus yang dikeluarkan oleh Generator.
5. Mencatat data pengujian yang diambil untuk dimasukkan ke dalam tabel data pengujian.
6. Setelah pengambilan data selesai lepaskan pipa aliran air pada saluran inlet.
7. Lakukan langkah sebelumnya untuk pengambilan data percobaan selanjutnya

Hasil dan Pembahasan

Dari hasil dan pembahasan hendak ditunjukkan hasil pengambilan data saat pengujian serta pembahasan mengenai analisa jumlah sudu dan sudut sudu tubin kaplan terhadap performa pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Sistem pengujiannya dilakukan dengan menggunakan perhitungan rata-rata. Berikut hasil data pengujian yang telah dilakukan.

23	H2	1,5	50	327	38,8
----	----	-----	----	-----	------

Kode	Random	Diameter Inlet	Sudut Sudu	Putaran (RPM)	Tegangan (V)	Arus (A)
19	G1	1,5	40	301	29,4	0,24
6	B3	0,5	50	363	47,6	0,7
10	D1	1	40	313	33,1	0,27
20	G2	1,5	40	302	29,5	0,25
17	F2	1	60	370	48,2	0,99
27	I3	1,5	60	357	43,3	0,9
15	E3	1	50	343	43	0,56
18	F3	1	60	369	48	0,97
16	F1	1	60	372	48,3	1,01
14	E2	1	50	358	44,4	0,6
4	B1	0,5	50	360	47,3	0,66
11	D2	1	40	318	33,5	0,31
1	A1	0,5	40	335	37,6	0,37
25	I1	1,5	60	354	43	0,87
3	A3	0,5	40	331	37,1	0,34
9	C3	0,5	60	393	55,2	1,19
12	D3	1	40	315	33,3	0,29
26	I2	1,5	60	355	43,1	0,88
2	A2	0,5	40	330	37,1	0,33
5	B2	0,5	50	362	47,5	0,68
21	G3	1,5	40	304	29,7	0,27
7	C1	0,5	60	383	54,4	1,13
13	E1	1	50	344	43,1	0,57
24	H3	1,5	50	333	39,3	0,51
8	C2	0,5	60	385	54,5	1,14
22	H1	1,5	50	330	39,1	0,49
						0,46

Tabel 1. Data hasil pengujian metode sample random

ANALISIS PENGARUH VARIASI DIAMETER INLET NOZZEL....

Tabel 2. Data hasil rata-rata pada diameter inlet nozzel 0,5 inci dan sudut sudu 40°, 50°, 60°.

Diameter sudu (5 Menit)	Sudut	Waktu Inlet	Putaran (RPM)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
1,5 Inchi	40	Pengujian 1	301	29,4	0,24
	40	Pengujian 2	302	29,5	0,25
	40	Pengujian 3	304	29,7	0,27
	Rata-rata		302,3	29,5	0,25
	50	Pengujian 1	330	39,1	0,49
	50	Pengujian 2	327	38,8	0,46
	50	Pengujian 3	333	39,3	0,51
	Rata-rata		330	39,1	0,49
	60	Pengujian 1	354	43	0,87
60	Pengujian 2	355	43,1	0,88	
60	Pengujian 3	357	43,3	0,9	
Rata-rata		355,3	43,1	0,88	

Tabel 3. Data hasil rata-rata pada diameter inlet nozzel 1 inci dan sudut sudu 40°, 50°, 60°.

Diameter sudu (5 Menit)	Sudut	Waktu Inlet	Putaran (RPM)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
1 Inchi	40	Pengujian 1	313	33,1	0,27
	40	Pengujian 2	318	33,5	0,31
	40	Pengujian 3	315	33,3	0,29
	Rata-rata		315,3	33,3	0,29
	50	Pengujian 1	344	43,1	0,57
	50	Pengujian 2	358	44,4	0,6
	50	Pengujian 3	343	43	0,56
	Rata-rata		348,3	43,5	0,58
	60	Pengujian 1	372	48,3	1,01
	60	Pengujian 2	370	48,2	0,99
	60	Pengujian 3	369	48	0,97
	Rata-rata		370,3	48,2	0,99

Tabel 4. Data hasil rata-rata pada diameter inlet nozzel 1,5 inci dan sudut sudu 40°, 50°, 60°.

Diameter sudu (5 Menit)	Sudut	Waktu Inlet	Putaran (RPM)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
0,5 Inchi	40	Pengujian 1	335	37,6	0,37
	40	Pengujian 2	330	37,1	0,33
	40	Pengujian 3	331	37,1	0,34
	Rata-rata		332	37,27	0,35
	50	Pengujian 1	360	47,3	0,66
	50	Pengujian 2	362	47,5	0,68
	50	Pengujian 3	363	47,6	0,7
	Rata-rata		361,7	47,47	0,68
	60	Pengujian 1	383	54,4	1,13
	60	Pengujian 2	385	54,5	1,14
	60	Pengujian 3	393	55,2	1,19
	Rata-rata		387	54,7	1,15

Data hasil pengujian selanjutnya akan dilakukan analisa perhitungan agar didapatkan nilai performa terbaik. Langkah pertama dilakukan pengukuran debit aliran air menggunakan metode apung, dengan prinsip kecepatan aliran diukur dengan meletakkan pelampung diatas aliran air selanjutnya mengukur waktu yang dibutuhkan pelampung untuk bergerak setiap meternya (Putra Prabawa, Mugisidi, Yusuf D & Heriyani 2016).

Perhitungan kecepatan aliran pada saat air melewati pipa dapat dihitung menggunakan rumus :

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

Keterangan :

v = Kecepatan aliran (m/s)
g = Gravitasi (9,81 m²/s)

H = Head (m)

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 4} = 8,86 \text{ m/s}$$

Perhitungan luas penampang pipa utama (Oo 2019) :

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D_{in}^2 \quad (2)$$

Keterangan :

ANALISIS PENGARUH VARIASI DIAMETER INLET NOZZEL....

A = Luas penampang (m²)

D = Diameter (m)

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot 0,06^2 = 0,0028 \text{ m}^2$$

Perhitungan luas penampang pada aliran air menuju pipa utama ke pipa nozzel (Putra Prabawa et al. 2016) diameter 0,5 inch.

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D_{out}^2 \quad (3)$$

Keterangan :

A = Luas penampang (m²)

D = Diameter (m)

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot 0,0172^2 = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$A \text{ rata - rata} = \frac{0,0028^2 + 0,0001^2}{2} = 0,0015 \text{ m}_2$$

Perhitungan luas penampang pada aliran air menuju pipa utama ke pipa nozzel diameter 1 inch.

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D_{out}^2 \quad (4)$$

Keterangan :

A = Luas penampang (m²)

D = Diameter (m)

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot 0,0254^2 = 0,0005 \text{ m}^2$$

$$A \text{ rata - rata} = \frac{0,0028^2 + 0,0005^2}{2} = 0,0017 \text{ m}_2$$

Perhitungan luas penampang pada aliran air menuju pipa utama ke pipa nozzel diameter 1,5 inch.

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D_{out}^2 \quad (5)$$

Keterangan :

A = Luas penampang (m²)

D = Diameter (m)

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot 0,0381^2 = 0,0011 \text{ m}^2$$

$$A \text{ rata - rata} = \frac{0,0028^2 + 0,0011^2}{2} = 0,0020 \text{ m}_2$$

Setelah didapatkan data tersebut maka dapat menentukan debit aliran air (Oo 2019) dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = v \cdot A \tag{6}$$

Keterangan :

Q = Debit air (m³/s)
v = Kecepatan aliran (m/s)

A = Luas penampang (m²)

$$Q = 8,86 \text{ m/s} \cdot 0,0028 \text{ m}^2 = 0,025 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Diameter pipa Inlet Nozzel 0,5 Inch

$$Q = v \cdot A_{rata-rata} \tag{7}$$

Keterangan :

Q = Debit air (m³/s)
v = Kecepatan aliran (m/s)

A_{rata-rata} = Luas penampang rata-rata (m²)

$$Q = 8,86 \text{ m/s} \cdot 0,0015 \text{ m}^2 = 0,013 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Diameter pipa Inlet Nozzel 1 Inch

$$Q = v \cdot A_{rata-rata} \tag{8}$$

Keterangan :

Q = Debit air (m³/s)
v = Kecepatan aliran (m/s)

A_{rata-rata} = Luas penampang rata-rata (m²)

$$Q = 8,86 \text{ m/s} \cdot 0,0017 \text{ m}^2 = 0,015 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Diameter pipa Inlet Nozzel 1,5 Inch

$$Q = v \cdot A_{rata-rata} \tag{9}$$

Keterangan :

Q = Debit air (m³/s)
v = Kecepatan aliran (m/s)

A_{rata-rata} = Luas penampang rata-rata (m²)

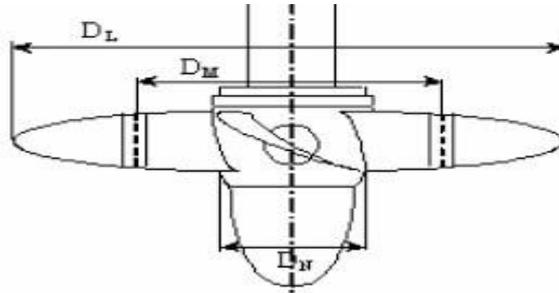
$$Q = 8,86 \text{ m/s} \cdot 0,0020 \text{ m}^2 = 0,018 \text{ m}^3/\text{s}$$

Berdasarkan profil turbin kaplan yang telah dirancang memiliki data-data sebagai berikut :

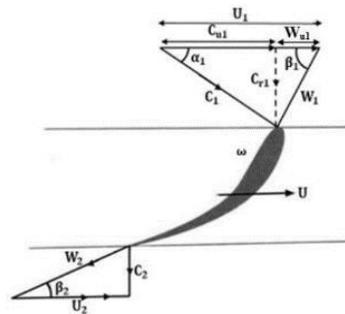
- Diameter runner (D_N) = 0,06 m
- Diameter luar (D_L) = 0,24 m • Diameter tengah (D_M) =

ANALISIS PENGARUH VARIASI DIAMETER INLET NOZZEL....

$$\frac{D_L + D_N}{2} = \frac{0,24 + 0,06}{2} = 0,15 \text{ m}$$



Gambar 8. Sketsa ukuran turbin kaplan



Gambar 9. Segitiga Kecepatan

Kecepatan aliran fluida yang melewati sudu turbin, maka kecepatan dihitung aliran air dengan menggunakan rumus sebagai berikut : 1.

Kecepatan aliran menuju turbin (Sarjono 2021)

$$C_{r1} = \frac{Q}{\pi r (D_{2L} - D_{2N})} \quad (10)$$

Keterangan :

C_{r1} = Kecepatan aliran melewati turbin(m/s)

Q = Debit air (m/s)

2. Kecepatan Keliling

$$U_1 = U_2 = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{60} \quad (11)$$

Keterangan :

U = Kecepatan keliling (m/s)

D = Diameter inlet (m)

N = Putaran turbin (rpm)

3. Kecepatan relatif

$$W_1 = W_2 = C_1 - U \quad (12)$$

Keterangan :

W_1 = Kecepatan relatif (m/s)

C_1 = Kecepatan aliran (m/s)

U = Kecepatan keliling (m/s)

4. Kecepatan relative terhadap kecepatan keliling (Sarjono 2021)

$$c \tag{13}$$

$W_{u1} = \tan \beta_1 r_1$ Keterangan :

W_{u1} = Kecepatan pusaran air (m/s)

C_{r1} = Kecepatan aliran melewati turbin(m/s) β_1

= Sudut sudu sisi masuk ($^\circ$)

5. Kecepatan tangensial

Sisi masuk

$$C_{u1} = U - W_{u1} \tag{14}$$

Keterangan :

C_{u1} = Kecepatan tangensial masuk (m/s)

U = Kecepatan keliling (m/s)

W_{u1} = Kecepatan pusaran air (m/s)

Sisi keluar (diasumsikan)

$$C_{u2} = 0 \tag{15}$$

Keterangan :

C_{u2} = Kecepatan tangensial keluar (m/s)

6. Gaya (F)

$$F = \rho \cdot Q \cdot (C_{u1} - C_{u2}) \tag{16}$$

Keterangan :

F = Gaya tangensial (N) ρ =

Berat jenis air (1000 kg/m³)

Q = Debit (m³/s)

C_{u1} = Kecepatan tangensial sisi masuk (m/s)

C_{u2} = Kecepatan tangensial sisi keluar (m/s)

Tabel 5. Hasil Perhitungan Segitiga Kecepatan

		Diameter Inlet Nozzel								
No	Perhitungan	0,5 Inchi			1 Inchi			1,5 Inchi		
		Sudut Sudu			Sudut Sudu			Sudut Sudu		
		40°	50°	60°	40°	50°	60°	40°	50°	60°
1	Luas penampang pipa nozzel	0,0015 m ²	0,0015 m ²	0,0015 m ²	0,0017 m ²	0,0017 m ²	0,0017 m ²	0,0020 m ²	0,0020 m ²	0,0020 m ²

ANALISIS PENGARUH VARIASI DIAMETER INLET NOZZEL....

2	Kecepatan Aliran turbin (C_{r1})	0,31 m/s	0,31 m/s	0,31 m/s	0,35 m/s	0,35 m/s	0,35 m/s	0,41 m/s	0,41 m/s	0,41 m/s
3	Kecepatan keliling (U)	2,61 m/s	2,84 m/s	3,04 m/s	2,48 m/s	2,73 m/s	2,91 m/s	2,37 m/s	2,59 m/s	2,79 m/s
4	Kecepatan relatif (W_1)	6,25 m/s	6,02 m/s	5,82 m/s	6,38 m/s	6,12 m/s	5,95 m/s	6,49 m/s	6,27 m/s	6,07 m/s
5	Kecepatan relatif terhadap kecepatan keliling (W_{u1})	0,37 m/s	0,26 m/s	0,18 m/s	0,42 m/s	0,29 m/s	0,20 m/s	0,49 m/s	0,35 m/s	0,24 m/s
6	Kecepatan tangensial masuk (C_{u1})	2,24 m/s	2,58 m/s	2,86 m/s	2,06 m/s	2,44 m/s	2,71 m/s	1,88 m/s	2,24 m/s	2,55 m/s
7	Gaya (F)	56 N	64,6 N	71,6 N	51,6 N	61,1 N	67,7 N	47,1 N	56,1 N	63,8 N

1. Torsi (T) (Mafruddin & Amrul 2016)

$$T = F_t \cdot r \quad (17)$$

Keterangan :

- T = Torsi (N.m)
 F_t = Gaya tangensial (N)
 r = Jari-jari runner (m)

2. Kecepatan sudut (ω)

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n^t}{60} \quad (18)$$

Keterangan :

- ω = Kecepatan putaran sudut (rad/s) n
 = Putaran turbin (rpm)
 π = Konstanta (3,14)

3. Rasio kecepatan (Φ) (Rahmann et al. 2019)

$$\Phi = \frac{N \cdot D}{84,6 \cdot \sqrt{H}} \quad (19)$$

Keterangan :

- ϕ = Rasio kecepatan N = Putaran turbin (rpm)
 D = Diameter turbin (m)
 H = Head (m)

4.

Ke
ce
pat
an
sat
ua
n
(N
u)
(R
ah
ma
nn
et
al.
20
19
)
N.D

$$N_u = \frac{N \cdot D}{\sqrt{H}} \quad (20)$$

Keterangan :

- N_u = Kecepatan satuan (rpm) n
= Putaran turbin (rpm)
- D = Diameter Turbin (m)
- H = Head (m)

5. Kecepatan spesifik (N_s) (Rahmann et al. 2019)

$$N_s = \frac{N \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (21)$$

Keterangan :

- N_s = Kecepatan spesifik (rpm) n =
Putaran turbin (rpm)
- Q = Daya output turbin (kW) H =
Head (m)

Tabel 6. Hasil perhitungan kecepatan turbin
Diameter Inlet Nozzel

No	Perhitungan	Diameter Inlet Nozzel								
		0,5 Inchi			1 Inchi			1,5 Inchi		
		Sudut	Sudu		Sudut	Sudu		Sudut	Sudu	
		40°	50°	60°	40°	50°	60°	40°	50°	60°

ANALISIS PENGARUH VARIASI DIAMETER INLET NOZZEL....

	Kecepatan sudut (ω)	rad/s	rad/s	rad/s	rad/s	36,5	38,8	31,6	34,5	37,5	rad/s	rad/s	rad/s	rad/s
1	Torsi (T)	0	Nm	7	7	Nm					5,0	3,5	4,2	4,7
2	Rasio (Φ)	0,2	0,32	0,3	0,2	0,31					0,3	0,2	0,2	0,3
3	Kecepatan Satuan (Nu)	24,9	27,1	29	23,7	26,1	rpm				27,8	22,7	24,8	26,7
4	Kecepatan Spesifik (Ns)	18,6	20,2	21,6	17,6	19,5	rpm				20,7	16,9	18,4	19,9

1. Daya turbin (P_t) (Mafruddin & Amrul 2016)

$$P_t = \rho \cdot Q \cdot U \cdot (C_{u1} - C_{u2}) = T \cdot \omega \quad (22)$$

Keterangan :

- P_t = Daya turbin (Watt)
- ρ = Densitas (1000 kg/m^3)
- Q = Debit aliran (m^3/s)
- U = Kecepatan keliling (m/s)
- C_{u1} = Kecepatan tangensial sisi masuk (m/s)
- C_{u2} = Kecepatan tangensial sisi keluar (m/s)
- T = Torsi (Nm)
- ω = Kecepatan sudut (rad/s)

2. Daya generator (P_g)

$$P_g = V \cdot I \quad (23)$$

Keterangan :

- P_g = Daya output generator (Watt)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)

3. Daya air (P_a)

$$P_a = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (24)$$

Keterangan :

- P_a = Daya potensi air (Watt)
 - ρ = Densitas (1000 kg/m^3)
 - g = Gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)
 - Q = Debit aliran (m^3/s)
 - H = Head (meter)
4. Efisiensi turbin (η_t)

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_a} \times 100\% \tag{25}$$

Keterangan :

η_t = Efisiensi turbin (%)
 P_t = Daya turbin (Watt)

P_a = Daya potensi air (Watt)

5. Efisiensi PLTMH (η)

$$\eta = \frac{P_g}{P_t} \times 100\% \tag{26}$$

Keterangan :

η = Efisiensi PLTMH (%)
 P_g = Daya generator (Watt)

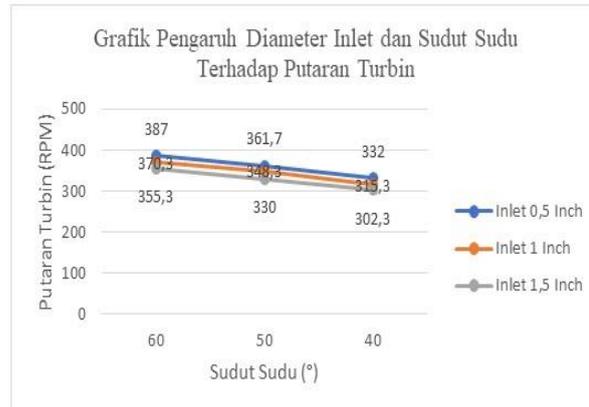
P_t = Daya turbin (Watt)

Tabel 7. Hasil Perhitungan Daya dan Efisiensi PLTMH

Diameter Inlet Nozzel	Sudut sudu	RPM	Daya air (watt)	Daya turbin (watt)	Daya generator (watt)	Efisiensi Turbin (%)	Efisiensi PLTMH (%)
0,5 Inchi	40°	332	513,2	76,3	12,9	14,9	16,9
	50°	361,7	513,2	95,8	32,3	18,7	33,7
	60°	387	513,2	113,6	63,1	22,1	55,5
1 Inchi	40°	315,3	579,2	75,3	9,7	13	12,8
	50°	348,3	579,2	98,6	25,1	17	25,5
	60°	370,3	579,2	116,1	47,7	20	41,1
1,5 Inchi	40°	302,3	689,3	78,3	7,5	11,4	9,6
	50°	330	689,3	102,1	19	14,8	18,6
	60°	355,3	689,3	124,9	38,1	18,1	30,5

Dari tabel hasil perhitungan selanjutnya akan dijadikan kedalam bentuk grafik agar memudahkan untuk memudahkan pemahaman mengenai hasil penelitian.

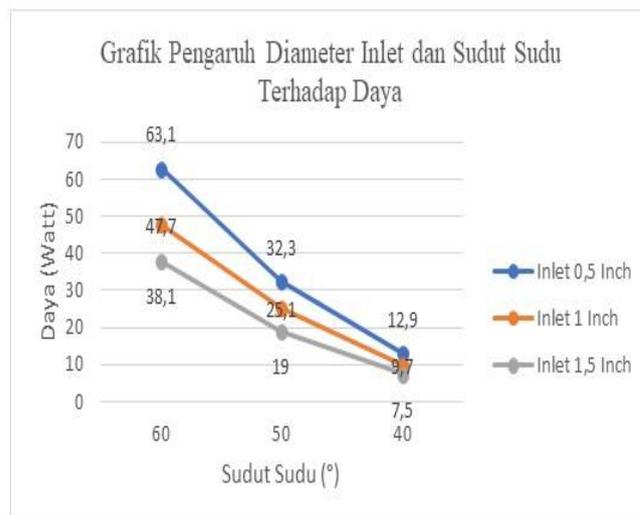
ANALISIS PENGARUH VARIASI DIAMETER INLET NOZZEL....



Gambar 1. Grafik Pengaruh Variabel Terhadap RPM

Dari gambar Grafik 1 diperoleh data bahwasannya pada garis berwarna biru yakni diameter inlet 0,5 Inchi dan sudut sudu 60° menghasilkan putaran generator 387 RPM, pada sudut sudu 50° menghasilkan putaran generator 361,7 RPM, dan pada sudut sudu 40° menghasilkan putaran generator 332 RPM. Pada garis berwarna oranye yaitu diameter inlet 1 Inchi pada sudut sudu 60° menghasilkan putaran generator 370,3 RPM, pada sudut sudu 50° menghasilkan putaran generator 348,3 RPM, dan pada sudut sudu 40° menghasilkan putaran generator 315,3 RPM. Pada garis berwarna abu-abu yaitu diameter 1,5 Inchi dan sudut sudu 60° menghasilkan putaran generator 355,3 RPM, pada sudut sudu 50° menghasilkan putaran generator 330 RPM, dan pada sudut sudu 40° menghasilkan putaran generator 302,3 RPM.

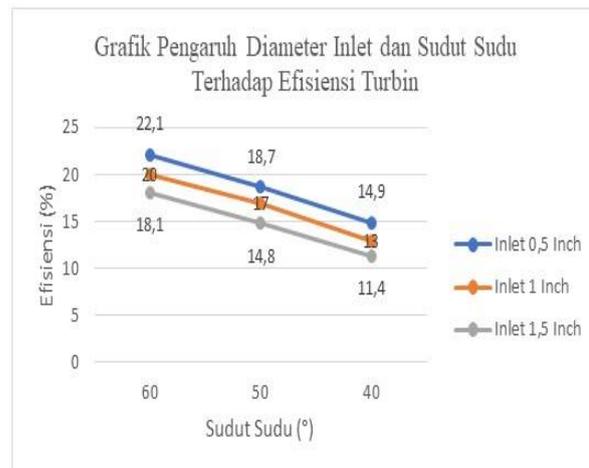
Hasil analisis dari grafik di atas adalah semakin besar diameter inlet dan semakin kecil sudut sudunya, maka menghasilkan putaran generator yang semakin kecil pula. Faktor yang mendasarinya yakni akibat adanya pengaruh dari besaran sudut sudu dan diameter inlet.



Gambar 2. Grafik Pengaruh Variabel Terhadap Daya

Dari gambar Grafik 2 diperoleh data bahwasannya pada garis berwarna biru yakni diameter inlet 0,5 Inchi dan sudut sudu 60° menghasilkan daya listrik 63,1 Watt, pada sudut sudu 50° menghasilkan daya listrik 32,3 Watt, dan pada sudut sudu 40° menghasilkan daya listrik 12,9 watt. Pada garis berwarna Oranye yaitu diameter inlet 1 Inchi pada sudut sudu 60° menghasilkan daya listrik 47,7 Watt, pada sudut sudu 50° menghasilkan daya listrik 25,1 Watt, dan pada sudut sudu 40° menghasilkan daya listrik 9,7 Watt. Pada garis berwarna Abu-abu yaitu diameter 1,5 Inchi dan sudut sudu 60° menghasilkan daya listrik 38,1 watt, pada sudut sudu 50° menghasilkan daya listrik 19 Watt, dan pada sudut sudu 40° menghasilkan daya listrik 7,5 Watt.

Hal ini dikarenakan pada nilai sudut sudu 60° air yang memancar dapat tepat mengenai seluruh bagian sudu turbin. Kondisi tersebut tentunya berdampak pada gaya dorong air berkenaan dengan turbin sehingga memproduksi nilai putaran yang optimal. Kemudian berdasarkan grafik di atas, diameter inlet 0,5 Inchi dengan sudut sudu 60° menghasilkan gaya dorong paling optimal untuk membuat turbin berputar, sehingga daya yang dihasilkan pun besar. Konklusi yang didapat yakni semakin tinggi nilai rpm yang diperoleh maka semakin tinggi pula hasil output dari generator yang didapat, dalam hal ini yakni nilai dayanya.



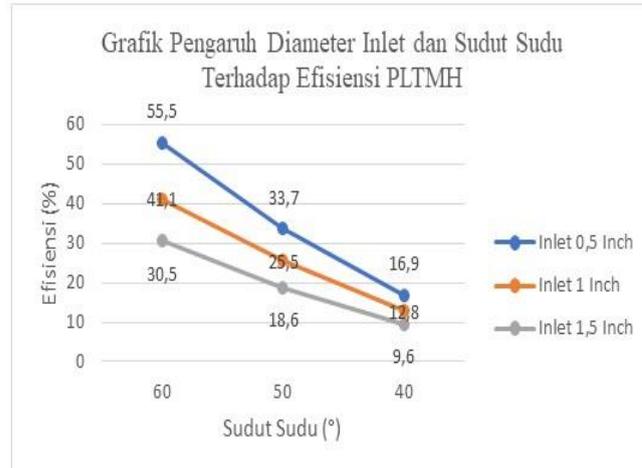
Gambar 3. Grafik Pengaruh variabel Terhadap Efisiensi Turbin

Dari gambar 3 diperoleh data bahwasannya pada garis berwarna biru yakni diameter inlet 0,5 Inchi dan sudut sudu 60° memproduksi efisiensi Turbin 22,1 %, pada sudut sudu 50° memproduksi efisiensi Turbin 18,7 %, dan pada sudut sudu 40° memproduksi efisiensi Turbin sebesar 14,9 %. Pada garis berwarna Oranye yaitu diameter inlet 1 Inchi pada sudut sudu 60° memproduksi efisiensi Turbin 20 %, pada sudut sudu 50° memproduksi efisiensi Turbin 17 %, dan pada sudut sudu 40° memproduksi efisiensi Turbin sebesar 13 %. Pada garis berwarna Abu-abu yaitu diameter 1,5 Inchi dan sudut sudu 60° memproduksi efisiensi Turbin 18,1 %,

ANALISIS PENGARUH VARIASI DIAMETER INLET NOZZEL....

pada sudut sudu 50° memproduksi efisiensi Turbin 14,8 %, dan pada sudut sudu 40° memproduksi efisiensi Turbin 11,4 %.

Hal ini dikarenakan pada diameter inlet 0,5 Inchi dan sudut sudu 60° menghasilkan putaran turbin yang optimal dan nilai rpm yang tinggi. Faktor ini sangat berdampak pada output listrik yang dihasilkan oleh generator.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Variabel Terhadap Efisiensi PLTMH

Dari gambar 4 diperoleh data bahwasannya pada garis berwarna biru yakni diameter inlet 0,5 Inchi dan sudut sudu 60° menghasilkan efisiensi PLTMH 55,5%, pada sudut sudu 50° menghasilkan efisiensi PLTMH 33,7 %, dan pada sudut sudu 40° menghasilkan efisiensi PLTMH 16,9%. Pada garis berwarna Oranye yaitu diameter inlet 1 Inchi pada sudut sudu 60° menghasilkan efisiensi PLTMH 41,1%, pada sudut sudu 50° menghasilkan efisiensi PLTMH 25,5%, dan pada sudut sudu 40° menghasilkan efisiensi PLTMH 12,8%. Pada garis berwarna Abu-abu yaitu diameter 1,5 Inchi dan sudut sudu 60° menghasilkan efisiensi PLTMH 30,5%, pada sudut sudu 50° menghasilkan efisiensi PLTMH 18,6 %, dan pada sudut sudu 40° menghasilkan efisiensi PLTMH 9,6%.

Hal ini dikarenakan pada diameter inlet 0,5 Inchi dan sudut sudu 60° menghasilkan air yang masuk dapat sempurna menghantam seluruh bagian sudu turbin sehingga akan memaksimalkan gaya dorong air berkenaan dengan turbin dan akan memproduksi putaran yang tinggi. Semakin tinggi putaran yang memproduksi akan membuat daya output dari generator juga semakin besar dan efisiensi PLTMH akan semakin meningkat.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis perhitungan data di atas maka dapat disimpulkan PLTMH dengan variasi diameter inlet nozel dan sudut sudu menghasilkan output paling besar terdapat pada variasi sudut sudu 60° dan diameter inlet nozel 0,5 inci menghasilkan daya output listrik sebesar 63,1 watt, hal ini dikarenakan pada diameter inlet 0,5 inci hal ini dikarenakan pada nilai sudut sudu 60° diameter inlet nozel 0,5 inci memancarkan air secara sempurna tepat

mengenai seluruh bagian dari sudu turbin. Kondisi tersebut tentunya akan berdampak pada gaya dorong air terhadap turbin. Konklusi yang didapat yakni semakin tinggi nilai rpm yang diperoleh maka semakin tinggi pula hasil output dari generator yang didapat.

Pada pengujian ini didapatkan efisiensi turbin dan PLTMH terbaik pada sudut sudu 60° dan diameter inlet 0,5 inci yaitu 22,1% untuk efisiensi turbin, dan 55,5% untuk efisiensi PLTMH. Berdasarkan hasil data hasil perhitungan diperoleh bahwa semakin besar nilai efisiensi, akan membuat daya yang diproduksi semakin besar pula.

Daftar Pustaka Dietzel, F. 1992. *Turbin, Pompa, dan Kompresor*. 4th ed. D. Sriyono, Ed. Erlangga.

Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan. 2021. Statistik Kelistrikan 2020. *Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan*. 13(April):1–122.

Giri, RSHP. 2021. *Pengaruh Variasi Diameter Nozzle Terhadap Efisiensi Turbin Air Pelton*.

Holland, R. 1983. *Micro Hydro Electric Power*.

Mafruddin & Amrul, A. 2016. Studi Eksperimental Sudut Nosel Dan Sudu Sudu Terhadap Kinerja Turbin Cross-flow. *Mechanical*. 8(1):24–33.

Oo, MM. 2019. *Design of 50 kW Kaplan Turbine for Micro hydro Power Plant*.

Pudjanarsa, A & Nursuhud, D. 2012. *Mesin Konversi Energi*. 3rd ed. S. Suyantoro, Ed. Surabaya: Penerbit ANDI.

Putra Prabawa, H, Mugisidi, D, Yusuf D, M & Heriyani, O. 2016. *PENGARUH VARIASI UKURAN DIAMETER NOZZLE TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI KINCIR AIR SUDU DATAR*.

Rahmann, W, Khan, F, ur Rehman, W & Ullah Khan, F. 2019. *Modeling and Simulation of Kaplan Turbine*. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/335892608>.

Salamun, O & Radiq Prakosa, A. n.d. *RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO MENGGUNAKAN RUMAH KEONG*.

Sarjono, S. 2021. Pengaruh Variasi Diameter dan Jarak Nosel Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Pelton. *Jurnal Teknologi*. 14(2):180–185. doi.org/10.34151/jurtek.v14i2.3716.

Ullah Khan, F, Ur Rahman, W & Masood Ahmad, M. 2021. Modeling, Simulation, and Fabrication of Micro Kaplan Turbine. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH*. 10(06). Available from: www.ijstr.org.

ANALISIS PENGARUH VARIASI DIAMETER INLET NOZZEL....