



ANALISA PENGARUH KETINGGIAN ALIRAN FLUIDA, JUMLAH SUDU PENGARAH, DAN KEMIRINGAN SUDUT SUDU PENGARAH TERHADAP PERFORMA TURBIN AIR KAPLAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)

Ocean Raka Tri Sepfiyansyah Dan Yogi Maulana Yuliansyah, 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: oceanraka20@gmail.com, yogimaulanayuliansyah@gmail.com

ABSTRAK

Dalam kehidupan manusia, energi listrik sangat memiliki peranan penting sebagai energi yang dapat membantu mempermudah manusia saat melakukan aktifitas sehari-harinya. Satu dari cara dalam memperoleh potensi energi listrik berskala besar adalah dengan pembuatan pembangkit listrik dengan sumber tenaga air. Satu dari negara yang punya potensi sumber daya air yang relatif banyak tetapi pemanfaatannya yang belum maksimal adalah Indonesia. Di Indonesia sendiri sumber tenaga yang sering digunakan dalam pembangkit listrik masih menggunakan batu bara, namun proses pembentukannya bahan bakar fosil ini memerlukan waktu yang sangat lama. Para penemu telah berhasil mengembangkan sumber energi alternatif yang sumber energinya tidak menggunakan bahan bakar fosil dan sumber energi ini bisa disebut sebagai energi baru terbarukan berupa Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro atau yang biasa disingkat dengan PLTMH. Lokasi yang memungkinkan untuk dibangun pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah Kawasan Wisata Surodadu Pacet, dimana terdapat air terjun yang mengalir dengan ketinggian sekitar 5 meter. Untuk mendapatkan variasi yang optimal, peneliti akan mengkaji bagaimana pengaruh jumlah bilah kemudi, sudut kemiringan, dan tinggi kepala turbin air Kaplan terhadap kinerja. Pembuatan alat, pengumpulan data, dan analisis semuanya merupakan bagian dari metodologi dalam penelitian ini. Beberapa contoh variasinya antara lain kemiringan sudut bilah kemudi 65° , 70° , atau 75° , tinggi kepala 4 meter, 4,5 meter, atau 5 meter, dan jumlah bilah pengarah masing-masing 4, 6, atau 8.

Kata kunci: *PLTMH, Air Terjun, Turbin Kaplan, Jumlah Sudu Pengarah, Kemiringan Sudut Sudu Pengarah, Ketinggian Air Terjun.*

ABSTRACT

In human life, electrical energy has an important role as energy that can help make it easier for humans to carry out daily activities. One way to obtain large-scale electrical energy potential is to make power plants with hydropower sources. One of the countries that has quite a lot of potential water resources but its utilization is not yet maximized is Indonesia. In Indonesia itself, energy sources are often used in power plants still use coal, but the process of forming fossil fuels requires a very long time. The inventors have succeeded in developing alternative energy sources whose energy sources do not use fossil fuels and this energy source can be referred to as new renewable energy in the form of Micro Hydro Power Plants or commonly abbreviated as PLTMH. A possible location for microhydropower plants is the

Surodadu Pacet Tourism Area, where a waterfall flows at a height of about 5 meters. To get the optimum variation, researchers will examine how the number of steering blades, angle slope, and height of the Kaplan water turbine head affect performance. Making tools, collecting data, and analyzing it are all part of the methodology in this study. Some examples of variations include a steering blade angular slope of 65° , 70° , or 75° , a head height of 4 meters, 4.5 meters, or 5 meters, and a number of directional blades of 4, 6, or 8 respectively.

Keywords: *PLTMH, Waterfall, Kaplan Turbine, Number of Steering Blades, Slope Angle of the Steering Blade, Height of the Waterfall.*

PENDAHULUAN

Dalam kehidupan manusia, energi listrik sangat memiliki peranan penting sebagai energi yang dapat membantu mempermudah manusia saat melakukan aktifitas sehari-harinya. Salah satu cara dalam memperoleh potensi energi listrik berskala besar adalah dengan pembuatan pembangkit listrik dengan sumber tenaga air. Di Indonesia sendiri rata – rata sumber tenaga yang sering digunakan dalam pembangkit listrik masih menggunakan bahan bakar batu bara, namun proses pembentukannya bahan bakar fosil ini memerlukan waktu yang sangat lama. Para pencipta telah mencapai tujuan mereka untuk menciptakan sumber energi berkelanjutan yang tidak bergantung pada bahan bakar fosil; sumber baru ini berbentuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro atau disingkat PLTMH. Dalam hal pembangkit listrik tenaga air, Indonesia memiliki kapasitas sekitar 450 MW, namun baru sekitar 230 MW yang sudah dimanfaatkan. Total potensi air negara ini adalah 75,67 GW, namun baru sekitar 4,2 GW yang dimanfaatkan [1].

PLTMH yakni pembangkit listrik dengan skala kecil dengan memanfaatkan sumber tenaga dari air, yang bisa digunakan untuk masyarakat di daerah yang dekat dengan aliran air. Apalagi pada daerah dataran tinggi yang terdapat sumber mata air yang mengalir. Pada daerah Pacet Mojokerto terdapat air terjun bernama Hening Sukmo dengan ketinggian 4 – 5 meter berpotensi

dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga air.

Dengan menggunakan turbin air berjenis Kaplan, peneliti akan melakukan penelitian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dalam mengetahui performa dan daya yang diperoleh dengan analisa ketinggian aliran fluida (air), jumlah sudu pengarah, dan kemiringan sudut sudu pengarah.

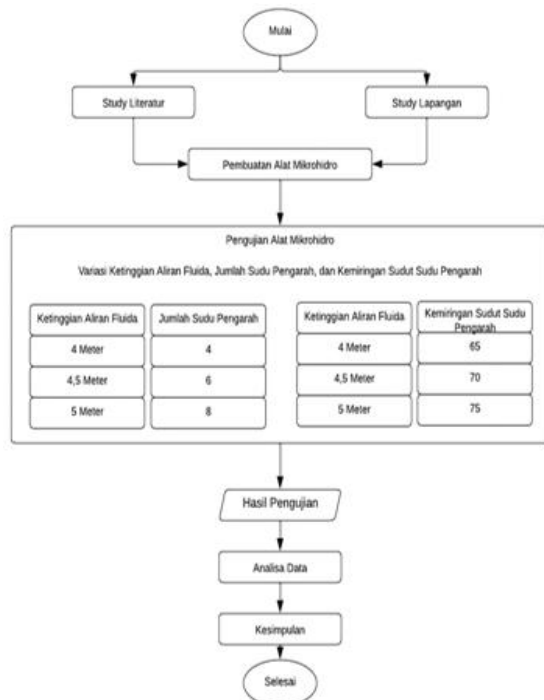
METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini merupakan produk akhir dari proses pengambilan keputusan peneliti untuk pelaksanaan penelitian, yang bertujuan untuk mengumpulkan data atau informasi untuk pengolahan dan analisis ilmiah. Tahap awal dalam penelitian dilakukannya pengambilan data yang dimulai dengan riset agar dapat menemukan sebuah permasalahan yang belum ditemukannya solusi dari penelitian terdahulu. Dalam pengumpulan data-data tersebut teori yang digunakan nantinya berupa data dari percobaan pengujian yang berhubungan dengan tugas akhir dengan dasar teori daripada berbagai studi pustaka yang diperolehnya.

Penelitian ini menggunakan jenis metode penelitian eksperimental mengenai analisa pengaruh jumlah sudu pengarah, kemiringan sudu pengarah serta ketinggian aliran fluida terhadap performa turbin air kaplan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

Langkah awal pada penelitian ini dengan pembuatan sudu pengarah dan penentuan ketinggian aliran fluida turbin yang dilanjutkan pengambilan data melalui

pengujian pada sudu pengarah dan ketinggian aliran fluida tersebut dengan menggunakan variasi jumlah sudu pengarah, kemiringan sudu pengarah dan ketinggian head turbin sebagai parameter guna mengetahui performa yang dihasilkan. Dalam penelitian ini menggunakan beberapa variasi yaitu ketinggian aliran fluida turbin dengan ketinggian 4 meter, 4,5 meter serta 5 meter serta jumlah sudu pengarah yang terdiri atas 4 sudu pengarah, 6 sudu pengarah dan 8 sudu pengarah dan sudut sudu pengarah sebesar 65° , 70° , dan 75° . Dilaksanakannya penelitian ini di Kawasan Wisata Surodudu Pacet dengan langkah-langkah penelitian meliputi persiapan, pelaksanaan penelitian, pengambilan data, serta pengolahan data. Pengambilan data air menggunakan alat flowmeter, pengambilan kecepatan putaran rotor per menit menggunakan alat tachometer, dan pengambilan data *output* daya yang dihasilkan menggunakan alat multimeter.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Telah ditemukannya gagasan untuk melanjutkan penelitian terdahulu yang perlu disempurnakan berlandaskan pada uraian latar belakang terdapat permasalahan dalam kurangnya dari pemanfaatan potensi yang sudah ada di aliran sungai, sehingga variasi

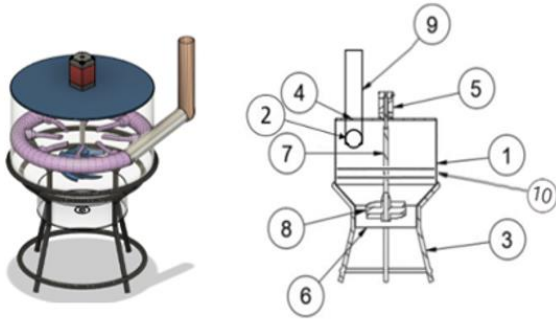
mengenai pengaruh sudu pengarah dan ketinggian aliran fluida dapat diciptakan. Dilain sisi atas saran dan konsultasi dengan dosen pembimbing mengenai variasi dan variabel yang berbeda untuk mencapai hasil performa yang terbaik.

A. Pembuatan Alat Mikrohidro

Di tahap ini dilaksanakan perencanaan untuk menentukan desain dari variabel serta perhitungan secara lengkap yang di perlukan dalam pembangunan perangkat dari pembangkit listrik tenaga mikrohidro, lalu dilanjutkan dengan pembuatan alat pembangkit listrik tenaga mikrohidro sesuai dengan rencana yang telah disusun. Mikrohidro merupakan sebuah alat yang mengubah energi potensial atau energi kinetik dengan memanfaatkan aliran air menjadi energi mekanik melalui putaran yang dihasilkan oleh sudu-sudu turbin kemudian putaran daripada sudu-sudu itu dihubungkan dengan poros untuk dijadikannya energi listrik oleh generator. Saat dilakukannya pembuatan alat perangkat pembangkit listrik tenaga mikrohidro, maka diperlihatkan desain serta hasil yang telah jadi dan siap untuk melakukan pengujian



Gambar 2. Hasil Jadi Alat



Gambar 3. Instalasi Alat
Keterangan :

1. Wadah Penampung Air
2. Saluran Inlet
3. Penyangga Wadah
4. Penutup Wadah
5. Generator AC
6. Saluran Outlet
7. Poros
8. Turbin
9. Sudu Pengarah
10. Pipa Head

Adapun spesifikasi dari komponen yang terpasang pada instalasi alat mikrohidro yakni:

- a. Generator AC Permanen Magnet 200V 500W 1500 Rpm



Gambar 4. Generator

- b. Selang spiral dengan panjang 5 meter dan berdiameter 2 inch



Gambar 5. Selang Spiral

Adapun alat ukur yang dipakai dalam memperoleh data daripa pengujian ini yakni:

- a. Tachometer dipakai saat pengukur putaran (RPM)



Gambar 6. Tachometer

- b. Multimeter guna pengukuran tegangan serta arus listrik



Gambar 7. Multimeter

B. Variabel Penelitian Alat Mikrohidro

Untuk mengumpulkan data yang akurat, peneliti menggunakan variabel pada alat mikrohidro yang mereka kembangkan. Turbin perangkat mikrohidro menggunakan variabel berikut:

- a. Variabel dari jumlah sudu pengarah meliputi : 4 sudu pengarah, 6 sudu pengarah, serta 8 sudu pengarah.

Gambar 8. Variasi Jumlah Sudu Pengarah



- b. Variabel dari sudut sudu pengarah meliputi : 65°, 70°, dan 75°. Sudut sudu pengarah 65°



Sudut sudu pengarah 70°



Sudut sudu pengarah 75°



Gambar 9. Variasi Sudut Sudu Pengarah

C. Mekanisme kerja alat uji mikrohidro

Adapun Mekanisme kerja pada alat uji mikrohidro yakni :

1. Diawali dengan pemasangan saluran pada aliran sungai yang bertujuan untuk mengarahkan air sungai menuju saluran masuk alat uji mikrohidro.
2. Selanjutnya dibuat sambungan antara saluran masuk alat uji mikrohidro dengan pipa aliran air dari sungai sehingga memudahkan masuknya air dari sungai ke saluran masuk.
3. Aliran air dari saluran masuk alat pengujian akan masuk ke pipa pemandu tangki melingkar di dalam tangki silinder. Saat air mengalir melalui pipa pemandu, air akan keluar melalui lubang-lubang pada pipa.
4. Aliran air yang keluar dari saluran pemandu akan langsung menyembur ke saluran keluar yang terletak di

bawah tangki yang dilengkapi dengan turbin Kaplan. Ketika aliran air mengalir menuju saluran keluar maka akan menggerakkan sudu-sudu turbin sehingga terjadilah putaran turbin. Selanjutnya aliran air keluar dari saluran keluar dan kembali ke sungai.

5. Hasil putaran yang dihasilkan sudu turbin diteruskan ke generator melalui poros.
6. Akibat generator mengalami putaran sebagai respons terhadap putaran poros, energi kinetik diubah menjadi energi listrik.
7. Oleh karena itu, generator mampu menghasilkan energi listrik baik dalam bentuk arus listrik maupun tegangan listrik.
8. Fase-fase di atas terjadi berulang kali.

D. Pengujian Alat Mikrohidro

1. Turbin harus dipasang pada perangkat mikrohidro.
2. Mengangkut air ke rumah turbin melalui pipa.
3. Pertahankan gerakan bilah yang stabil dan hindari menyentuh tabung ventilasi.
4. Ketika putaran turbin tetap konstan, dilakukan pengukuran tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator.
5. Dokumentasikan data uji yang dikumpulkan untuk dimasukkan ke dalam tabel data uji.
6. Setelah pendataan selesai, lepaskan saluran inlet saluran aliran air.
7. Akhiri penyelidikan selanjutnya dengan mengumpulkan data seperti pada langkah sebelumnya.

E. Pengaruh Variabel Penelitian

Performa PLTMH adalah efisiensi pembangkit listrik menghasilkan listrik. Besaran, termasuk torsi, tenaga, dan efisiensi, menunjukkan seberapa baik kinerja pembangkit listrik.

Pembangkit listrik dengan menggerakkan air disebut pembangkit listrik tenaga air. Seseorang dapat mengubah energi mekanik dan listrik yang terkandung dalam air menjadi bentuk yang dapat digunakan. PLTMH memanfaatkan energi potensial jatuhnya air (head) untuk menghasilkan energi dari aliran air dengan perbedaan ketinggian tertentu. Semakin banyak curah hujan, semakin banyak energi yang ada di dalam air yang dapat diubah menjadi listrik. Berikut rumus dari energy potensial air :

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

Dimana :

P_a = Daya air yang tersedia (*Watt*)

ρ = Densitas air ($1000 \frac{kg}{m^3}$)

g = Percepatan gravitasi ($9,81 \frac{m}{s^2}$)

Q = Debit air (m^3/s)

H = Head (*m*)

Sudu pengarah (guide vane) merupakan bagian turbin kaplan yang memiliki fungsi untuk mengarahkan aliran air yang masuk secara tangensial. Jumlah sudu pengarah berpengaruh terhadap putaran sudu dan gaya yang menentukan daya dan juga efisiensi pada turbin. Berikut adalah persamaan yang berkaitan dengan jumlah sudu pengarah (guide vane) :

Diameter luar runner (D_1)

$$D_1 = \frac{60 \times U_1}{\pi \times n}$$

Dimana :

U_1 = Kecepatan masuk sudu secara tangensial pada sisi luar sudu

n = Putaran poros yang direncanakan (*rpm*)

Jumlah sudu pengarah (Z_{GV})

$$Z_{GV} = \left(\frac{1}{4} \sqrt{1000 D_1} + 4 \right)$$

Dimana :

D_1 = Diameter luar runner (*m*)

Dengan mengatur sudut baling-baling pemandu, aliran dapat diarahkan dan didistribusikan dengan sempurna. Ketika aliran diarahkan secara maksimal, dampak air terhadap luas penampang turbin bertambah, sehingga menghasilkan kecepatan maksimum. Debit tersebut telah

dimanfaatkan secara optimal jika luas penampang dan kecepatan aliran maksimal. Peningkatan daya turbin merupakan konsekuensi akhir dari debit maksimum ini. Rumus Sudut pengarah aliran (guide vane angle) pada turbin dinyatakan dengan rumus :

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{C_{u1}}{C_{r1}} \right)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini, kami akan memberikan temuan analisis data pengujian dan membahas tentang bagaimana jumlah dan sudut bilah pemandu turbin Kaplan mempengaruhi kinerja pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Selanjutnya kita akan mendapatkan mean setiap variabel dengan menguji data menggunakan strategi sampling sekuensial. Berikut hasil data pengujian yang telah dilakukan :

Ketinggian Aliran Fluida (Meter)	Jumlah Sudu Pengarah	Pengujian	Putaran (RPM)	Tegangan (V)	Arus (A)
4	4	1	355	35,3	0,51
		2	334	35,1	0,52
		3	337	35,6	0,56
		Rata-rata	335,3	35,3	0,53
	6	1	363	47,2	0,77
		2	360	47	0,73
		3	366	47,5	0,79
		Rata-rata	363	47,2	0,76
	8	1	388	51	1,09
		2	390	51,3	1,11
		3	387	50,8	1,09
		Rata-rata	388,3	51,0	1,10
4,5	4	1	353	40,2	0,66
		2	348	39,6	0,60
		3	350	40	0,64
		Rata-rata	350,3	39,9	0,63
	6	1	379	51,6	0,87
		2	378	51,4	0,85
		3	383	52,1	0,9
		Rata-rata	380	51,7	0,87
	8	1	405	60,8	1,3
		2	404	60,7	1,1
		3	407	61	1,32
		Rata-rata	405,3	60,8	1,24
5	4	1	371	50,3	0,88
		2	367	50	0,85
		3	366	49,9	0,83
		Rata-rata	368	50,1	0,85
	6	1	396	61	0,9
		2	398	61,1	0,93
		3	399	61,3	0,98
		Rata-rata	397,7	61,13	0,94
	8	1	429	66	1,55
		2	421	65,7	1,52
		3	419	65,3	1,49
		Rata-rata	423	65,7	1,52

Tabel 1. Data yang Dirata-Rata Pada Ketinggian Jatuh Air 4, 4,5, dan 5 Meter Dan Jumlah Sudu Pengarah 4, 6, 8 Sudu Pengarah.

Ketinggian Aliran Fluida (Meter)	Sudut Sudu Pengarah	Pengujian	Putaran (RPM)	Tegangan (V)	Arus (A)
4	65°	1	335	35,3	0,53
		2	332	35	0,48
		3	331	34,8	0,49
		Rata-rata	332,7	35,0	0,50
	70°	1	357	46,7	0,7
		2	363	47,2	0,76
		3	360	46,9	0,74
		Rata-rata	360	46,9	0,73
	75°	1	384	50,5	1,06
		2	385	50,8	1,06
		3	387	51	1,08
		Rata-rata	385,3	50,8	1,07
4,5	65°	1	347	39,7	0,61
		2	350	39,8	0,63
		3	345	39,3	0,57
		Rata-rata	347,3	39,6	0,60
	70°	1	380	51,8	0,87
		2	376	51,3	0,84
		3	375	51,1	0,82
		Rata-rata	377	51,4	0,84
	75°	1	405	60,8	1,27
		2	404	60,7	0,98
		3	407	61	1,29
		Rata-rata	405,3	60,8	1,18
5	65°	1	363	49,6	0,8
		2	364	49,7	0,82
		3	368	50	0,85
		Rata-rata	365	49,8	0,82
	70°	1	395	60,8	0,9
		2	396	61	0,93
		3	393	60,7	0,87
		Rata-rata	394,7	60,83	0,90
	75°	1	426	65,7	1,52
		2	418	65,4	1,49
		3	416	65	1,46
		Rata-rata	420	65,4	1,49

Tabel 2. Data yang Dirata-Rata Pada Ketinggian Jatuh Air 4, 4,5, dan 5 Meter Dan Sudut Sudu Pengarah 65°, 70°, dan 75°.

Adapun data dari hasil pengujian selanjutnya hendak dilakukannya analisa perhitungan supaya didapatkannya nilai performa yang terbaik.

A. Perhitungan Debit

Debit air mengukur berapa banyak air yang mengalir melalui suatu saluran dalam jangka waktu tertentu. Laju pelepasan sebanding dengan kecepatan aliran dan luas penampang. Kapasitas pipa untuk mengangkut fluida sebanding dengan kecepatannya. Perhitungan kecepatan aliran disaat air melewati saluran :

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

Dimana :

- v = Kecepatan aliran fluida (m/s)
- g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)
- H = Ketinggian jatuh air (m)

Sehingga :

- Head 4 Meter
 $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = 8,86 \text{ m/s}$
- Head 4,5 Meter

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = 9,4 \text{ m/s}$$

- Head 5 Meter
 $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = 9,90 \text{ m/s}$

Selanjutnya mencari nilai dari head losses, untuk mengetahui rugi – rugi daya yang dihasilkan dengan rumus sebagai berikut:

$$HL \text{ Mayor} = f \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

- Mencari nilai reynold
- Temperatur air pada saat pengujian
- Temperatur Density (ρ) Viskositas Kinematik (ν)

$$25^\circ \quad 997,1 \text{ kg/m}^3 \quad 0,897 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

4 Meter

$$Re = \frac{v \cdot D}{\mu}$$

$$Re = \frac{8,86 \text{ m/s} \cdot 0,06 \text{ m}}{0,897 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 5,9 \times 10^5$$

4,5 Meter

$$Re = \frac{v \cdot D}{\mu}$$

$$Re = \frac{9,4 \text{ m/s} \cdot 0,06 \text{ m}}{0,897 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 6,2 \times 10^5$$

5 Meter

$$Re = \frac{v \cdot D}{\mu}$$

$$Re = \frac{9,9 \text{ m/s} \cdot 0,06 \text{ m}}{0,897 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 6,6 \times 10^5$$

- Mencari nilai dari koefisien gesek (f)

:

4 Meter

$$f = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} = \frac{0,3164}{(5,9 \times 10^5)^{0,25}} = 0,011$$

4,5 Meter

$$f = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} = \frac{0,3164}{(6,2 \times 10^5)^{0,25}} = 0,011$$

5 Meter

$$f = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} = \frac{0,3164}{(6,6 \times 10^5)^{0,25}} = 0,011$$

- Mencari Head Losses Mayor (hl) :

4 Meter

$$hl = 0,011 \cdot \frac{4,3 \text{ m}}{0,06 \text{ m}} \cdot \frac{(8,86 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$= 0,32m$$

4,5 Meter

$$hl = 0,011 \cdot \frac{4,8m}{0,06m} \cdot \frac{(8,86 m/s)^2}{2,9,81 m/s^2}$$

$$= 0,35m$$

5 Meter

$$hl = 0,011 \cdot \frac{5,3m}{0,06m} \cdot \frac{(8,86 m/s)^2}{2,9,81 m/s^2}$$

$$= 0,39m$$

Selanjutnya mencari nilai dari head losses pada pipa :

$$Hlf = k \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

- Mencari nilai K dari elbow :
Pada table ditemukan nilai sebagai berikut :

Sudut atas : 45°
 Ka : 0,3
 Sudut bawah : 30°
 Kb : 0,15

Maka, $Kt = Ka + Kb$
 $Kt = 0,3 + 0,15$
 $Kt = 0,45$

- Kemudian mencari nilai K dari kontraksi pipa 2 dim menuju 1 dim :
Nilai sudut dari pipa adalah 45° , maka nilai $K = 0,04$
- Maka ditemukan $K = 0,49$

$$Hlf = k \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

4 Meter

$$Hlf = 0,49 \frac{(8,4 m/s)^2}{2 \cdot 9,81 m/s} = 0,18 m$$

4,5 Meter

$$Hlf = 0,49 \frac{(9,0 m/s)^2}{2 \cdot 9,81 m/s} = 0,20 m$$

5 Meter

$$Hlf = 0,49 \frac{(9,5 m/s)^2}{2 \cdot 9,81 m/s} = 0,22 m$$

- Maka ditemukan nilai dari head transisi (ht) sebagai berikut :

$$ht = H - HL - Hlf$$

4 Meter

$$= 4 m - 0,32 m - 0,18 m$$

$$= 3,5 m$$

4,5 Meter

$$= 4,5 m - 0,35 m - 0,20 m$$

$$= 3,95 m$$

5 Meter

$$= 5 m - 0,39 m - 0,22 m$$

$$= 4,39 m$$

Perhitungan luas penampang pipanya :

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

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

Maka setelah mendapatkan data tersebut bisa ditentukannya debit aliran air dengan rumus berikut :

$$Q = v \cdot A$$

- Mencari kecepatan aliran yang sudah melewati pipa :

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

4 Meter

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s} \cdot 3,5 m/s} =$$

8,3 m/s

4,5 Meter

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s} \cdot 3,95 m/s} =$$

8,8 m/s

5 Meter

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s} \cdot 4,39 m/s} =$$

9,5 m/s

- Maka nilai dari Q adalah :
Head 4 Meter

$$Q = v \cdot A$$

$$Q = 8,3 \frac{m}{s} \cdot 0,0028 m^2 = 0,023 m^3/s$$

Head 4,5 Meter

$$Q = v \cdot A$$

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

Head 5 Meter

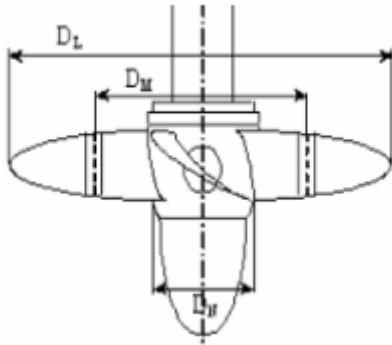
$$Q = v \cdot A$$

$$Q = 9,5 \frac{m}{s} \cdot 0,0028 m^2 = 0,026 m^3/s$$

B. Perhitungan Profil Turbin

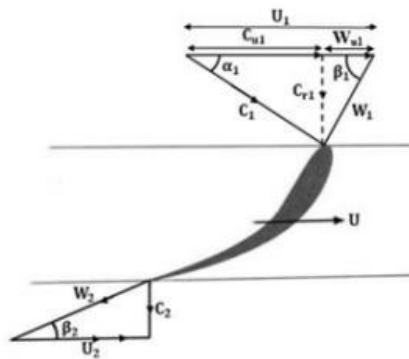
Profil turbin Kaplan yang sudah dirancang mempunyai data – data berikut :

- Diameter leher poros (D_N)
= 0,06 m
- Diameter luar (D_L)
= 0,24 m
- Diameter tengah (D_M) =
 $\frac{D_L + D_N}{2} = \frac{0,24 + 0,06}{2} = 0,15 m$



Gambar 10. Ukuran Turbin Kaplan
Sumber : Sugoyanto, Didik, 2016

C. Perhitungan Segitiga Kecepatan



Gambar 11. Segitiga Kecepatan

Perhitungan segitiga kecepatan dipakai persamaan berikut :

1. Kecepatan aliran menuju sudu turbin

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

Dimana:

C_{r1} = Kecepatan aliran sudu turbin ($\frac{m}{s}$)

$$Q = \text{Debit} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

D_L = Diameter luar (m)

D_N = Diameter leher poros (m)

2. Kecepatan keliling

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

Dimana :

U = Kecepatan keliling ($\frac{m}{s}$)

D = Diameter tengah (m)

n = Putaran (rpm)

3. Kecepatan relative

$$W_1 = W_2 = C_1 - U$$

W_1
= Kecepatan relative ($\frac{m}{s}$)

C_1 = Kecepatan aliran ($\frac{m}{s}$)

U = Kecepatan keliling ($\frac{m}{s}$)

4. Kecepatan relative terhadap kecepatan keliling

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

Dimana :

W_{u1} = Kecepatan relative terhadap kecepatan keliling ($\frac{m}{s}$)

C_{r1} = Kecepatan air di sudu turbin ($\frac{m}{s}$)

β_1 = Sudut sudu ($^\circ$)

5. Kecepatan tangensial Sisi masuk

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

Dimana :

C_{u1} = Kecepatan tangensial masuk ($\frac{m}{s}$)

U = Kecepatan keliling ($\frac{m}{s}$)

W_{u1} = Kecepatan relative terhadap kecepatan keliling ($\frac{m}{s}$)

Sisi keluar

Adapun oada kecepatan tangensial keluar sudu diasumsikan bahwasanya:

$$C_{u2} = 0$$

Karena pada segitiga kecepatan, pengeluaran air yang terbentuk dengan tegak lurus tujuannya ialah meningkatkan daya serta efisiensi daripada turbin kaplan itu.

6. Gaya

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

Dimana :

F = Gaya (N)

ρ = Berat jenis air ($1000 \frac{kg}{m^3}$)

Q = Debit ($\frac{m^3}{s}$)

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

C_{u2} = Kecepatan tangensial sisi keluar
(diasumsikan 0 m/s)

Daripada perhitungan diperoleh hasil pada tabel berikut:

No	Perhitungan	Ketinggian Aliran Fluida								
		4 Meter			4,5 Meter			5 Meter		
		Jumlah Sudu Pengarah								
	4	6	8	4	6	8	4	6	8	
1	Kecepatan Aliran Turbin (C_{r1})	0,55	0,55	0,55	0,59	0,59	0,59	0,62	0,62	0,62
2	Kecepatan Keliling (U)	2,63	2,85	3,05	2,75	2,98	3,18	2,89	3,12	3,32
3	Kecepatan Relatif (W_1)	5,65	5,44	5,24	6,05	5,82	5,62	6,39	6,16	5,96
4	Kecepatan Relatif thd Kecepatan Keliling (W_{u1})	0,32	0,32	0,32	0,34	0,34	0,34	0,36	0,36	0,36
5	Kecepatan Tangensial Masuk (C_{u1})	2,31	2,53	2,73	2,41	2,64	2,84	2,53	2,76	2,96
6	Gaya (F)	54,2	59,3	63,9	60,0	65,8	70,7	66,4	72,5	77,7
		N	N	N	N	N	N	N	N	N

Tabel 3. Segitiga Kecepatan Variasi Ketinggian Aliran Fluida dan jumlah Sudu Pengarah

No	Perhitungan	Ketinggian Aliran Fluida								
		4 Meter			4,5 Meter			5 Meter		
		Sudut Sudu Pengarah								
	75°	70°	65°	75°	70°	65°	75°	70°	65°	
1	Kecepatan Aliran Turbin (C_{r1})	0,55	0,55	0,55	0,59	0,59	0,59	0,62	0,62	0,62
2	Kecepatan Keliling (U)	2,61	2,83	3,02	2,73	2,96	3,18	2,87	3,10	3,30
3	Kecepatan Relatif (W_1)	5,68	5,46	5,26	6,08	5,84	5,62	6,42	6,18	5,98
4	Kecepatan Relatif Thd Kecepatan Keliling (W_{u1})	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,29	0,29	0,29
5	Kecepatan Tangensial Masuk (C_{u1})	2,35	2,57	2,77	2,45	2,69	2,91	2,58	2,81	3,01
6	Gaya (F)	55,1	60,1	64,8	61,0	66,8	72,3	67,6	73,7	78,9
		N	N	N	N	N	N	N	N	N

Tabel 4. Segitiga Kecepatan Variasi Ketinggian Aliran Fluida dan Sudut Sudu Pengarah

D. Perhitungan Kecepatan Turbin

Adapun karakteristik dari turbin diketahui berlandaskan pada nilai kecepatan putaran. Berikut ialah persamaan yang dipakai saat mencari karakteristik turbinnya :

1. Torsi

$$T = F \cdot r$$

Dimana :

T = Torsi (Nm)

F = Gaya (N)

r = Jari jari runner (m)

2. Kecepatan sudu

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

Dimana :

$$\omega = \text{Kecepatan sudut } \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$$

n_t = Putaran (rpm)

Daripada perhitungan diperoleh hasil pada tabel berikut :

No	Perhitungan	Ketinggian Aliran Fluida								
		4 Meter			4,5 Meter			5 Meter		
		Jumlah Sudu P								
	4	6	8	4	6	8	4	6	8	
1	Kecepatan Sudut (ω)	35,1	38,0	40,6	36,7	39,8	42,4	38,5	41,6	44,3
2	Torsi (T)	4,06	4,44	4,79	4,50	4,93	5,30	4,98	5,44	5,83
		Nm	Nm	Nm	Nm	Nm	Nm	Nm	Nm	Nm

Tabel 5. Hasil Perhitungan Karakteristik Turbin Variasi Ketinggian Aliran Fluida dengan Jumlah Sudu Pengarah

No	Perhitungan	Ketinggian Aliran Fluida								
		4 Meter			4,5 Meter			5 Meter		
		Sudut Sudu Pengarah								
	75°	70°	65°	75°	70°	65°	75°	70°	65°	
1	Kecepatan Sudut (ω)	34,8	37,7	40,3	36,4	39,5	42,4	38,2	41,3	44
2	Torsi (T)	4,13	4,51	4,86	4,58	5,01	5,43	5,07	5,53	5,92
		Nm	Nm	Nm	Nm	Nm	Nm	Nm	Nm	Nm

Tabel 6. Hasil Perhitungan Karakteristik Turbin Variasi Ketinggian Aliran Fluida dengan Kemiringan Sudut Sudu Pengarah

E. Perhitungan Daya Dan Efisiensi

Saat menghitung Daya serta efisiensi PLTMH memerlukan beberapa rumus yakni :

1. Daya Turbin

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

Dimana :

$$P_t = \text{Daya Turbin (watt)}$$

$$T = \text{Torsi (Nm)}$$

$$\omega = \text{Kecepatan sudu } \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$$

2. Daya Generator

$$P_g = V \cdot I$$

Dimana :

$$P_g = \text{Daya generator (watt)}$$

$$V = \text{Tegangan (volt)}$$

$$I = \text{Arus (ampere)}$$

3. Daya Air

Dimana :

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

$$P_a = \text{Daya potensi air (watt)}$$

$$\rho = \text{Densitas } \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$$

$$g = \text{Gravitasi } \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$Q = \text{Debit air } (\text{m}^3/\text{s})$$

$$H = \text{Head (m)}$$

4. Efisiensi Turbin

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

Dimana :

$$\eta_t = \text{Efisiensi turbin}(\%)$$

$$P_t = \text{Daya turbin (watt)}$$

$$P_a = \text{Daya air yang tersedia (watt)}$$

5. Efisiensi PLTMH

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

Dimana :

$$\eta = \text{Efisiensi turbin}(\%)$$

$$P_g = \text{Daya Generator (watt)}$$

$$P_t = \text{Daya turbin (watt)}$$

Daripada perhitungan diperoleh hasil pada tabel berikut :

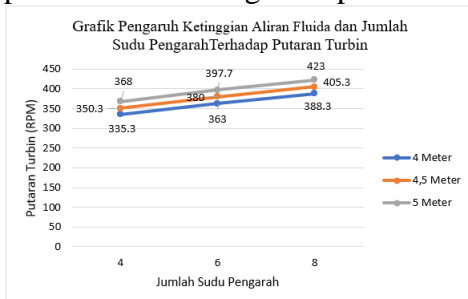
Ketinggian Aliran Fluida	Jumlah Sudu Pengarah	n (Rpm)	Daya Air (watt)	Daya Turbin (watt)	Daya Generator (watt)	Efisiensi Turbin (%)	Efisiensi PLTMH (%)
4 meter	4	335,3	804,1	142,6	18,7	17,7	13,1
	6	363	804,1	168,8	36,1	21	21,4
	8	388,3	804,1	194,8	56,0	24,2	28,7
4,5 meter	4	350,3	964	164,9	25,3	17,1	15,3
	6	380	964	196,2	45,2	20,4	23
	8	405,3	964	225	75,4	23,3	33,5
5 meter	4	368	1129,5	191,8	42,7	17	22,3
	6	397,7	1129,5	226,3	57,3	20	25,3
	8	423	1129,5	258	99,8	22,8	38,7

Tabel 7. Hasil Perhitungan Daya dan Efisiensi PLTMH dengan Variasi Ketinggian Aliran Fluida dengan Jumlah Sudu Pengarah

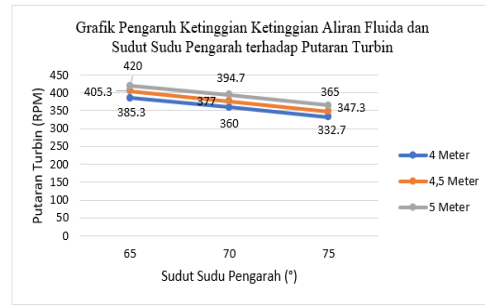
Ketinggian Aliran Fluida	Sudut Sudu Pengarah	n (Rpm)	Daya Air (watt)	Daya Turbin (watt)	Daya Generator (watt)	Efisiensi Turbin (%)	Efisiensi PLTMH (%)
4 meter	75°	332,7	804,1	143,9	17,5	17,9	12,2
	70°	360	804,1	170	34,4	21,1	20,2
	65°	385,3	804,1	196	54,2	24,4	27,6
4,5 meter	75°	347,3	964	166,4	23,9	17,3	14,4
	70°	377	964	197,7	43,4	20,5	21,9
	65°	405,3	964	230,2	71,8	23,9	31,2
5 meter	75°	365	1129,5	193,6	41	17,1	21,2
	70°	394,7	1129,5	228,3	54,8	20,2	24
	65°	420	1129,5	260,1	97,4	23	37,4

Tabel 8. Hasil Perhitungan Daya dan Efisiensi PLTMH dengan Variasi Ketinggian Aliran Fluida dengan Kemiringan Sudut Sudu Pengarah

Daripada tabel hasil perhitungan keseluruhanny dijadikan dalam bentuk grafik dengan tujuan agar mempermudah pemahaman tentang hasil penelitian ini.



Gambar 12. Grafik Pengaruh Variasi Ketinggian Aliran Fluida dan Jumlah Sudu Pengarah terhadap Putaran Turbin

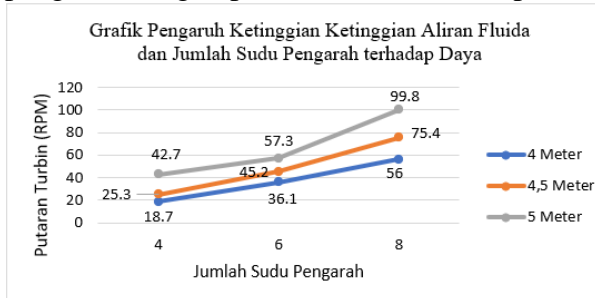


Gambar 13. Grafik Pengaruh Ketinggian Aliran Fluida dan Sudut Sudu Pengarah Terhadap Putaran Turbin

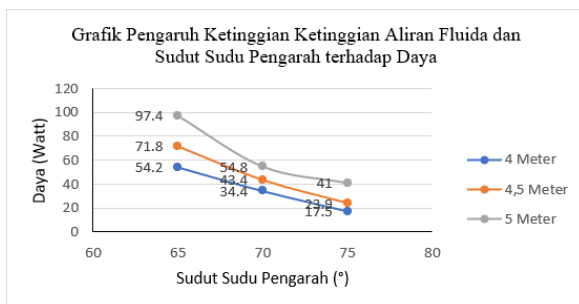
Berdasarkan grafik 12 menunjukkan variasi ketinggian aliran fluida dan jumlah sudu pengarah terhadap putaran yang dihasilkan. Diketahui pada garis biru ketinggian 4 meter dengan 4 jumlah sudu pengarah menghasilkan putaran sebesar 335,3 Rpm, pada 6 sudu pengarah menghasilkan putaran sebesar 363 Rpm, dan pada 8 sudu pengarah menghasilkan putaran sebesar 388,3 Rpm. Pada garis oranye ketinggian aliran 4,5 meter dengan jumlah sudu pengarah 4 menghasilkan putaran sebesar 350,3 Rpm, pada 6 sudu pengarah menghasilkan putaran sebesar 380 Rpm, dan pada 8 sudu pengarah menghasilkan putaran senilai 405,3 Rpm. Kemudian pada garis abu – abu untuk ketinggian aliran 5 meter dengan jumlah sudu pengarah 4 menghasilkan putaran sebesar 368 Rpm, pada 6 sudu pengarah menghasilkan putaran sebesar 397,7 Rpm, serta pada 8 sudu pengarah menghasilkan putaran sebesar 423 Rpm.

Berdasarkan grafik 13 menunjukkan variasi ketinggian aliran fluida dan kemiringan sudut sudu pengarah terhadap putaran yang dihasilkan. Diketahui pada garis biru ketinggian 4 meter dengan 65° kemiringan sudut sudu pengarah menghasilkan putaran sebesar 385,3 Rpm, pada 70° kemiringan sudut sudu pengarah dengan putaran sebesar 360 Rpm, dan pada 75° kemiringan sudut sudu pengarah dengan putaran sebesar 332,7 Rpm. Pada garis oranye ketinggian aliran 4,5 meter dengan kemiringan sudut sudu pengarah 65° dengan putaran sebesar 405,3 Rpm, pada 70° kemiringan sudut sudu pengarah dengan putaran sebesar 377 Rpm, serta pada 75°

kemiringan sudut sudu pengarah dengan putaran sebesar 347,3 Rpm. Kemudian pada garis abu – abu untuk ketinggian aliran 5 meter dengan kemiringan sudut sudu pengarah 65° menghasilkan putaran sebesar 420 Rpm, pada 70° kemiringan sudut sudu pengarah menghasilkan putaran sebesar 394,7 Rpm, dan pada 75° kemiringan sudut sudu pengarah dengan putaran sebesar 365 Rpm.



Gambar 14. Grafik Pengaruh Ketinggian Ketinggian Aliran Fluida dan Jumlah Sudu Pengarah terhadap Daya

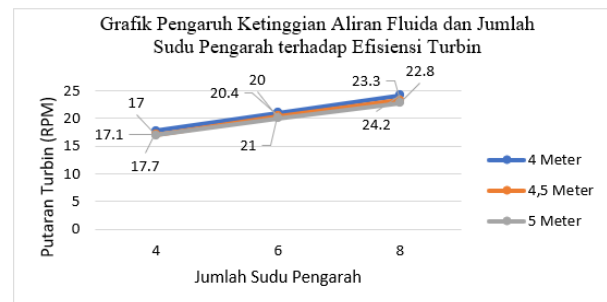


Gambar 15. Grafik Pengaruh Ketinggian Ketinggian Aliran Fluida dan Sudut Sudu Pengarah terhadap Daya

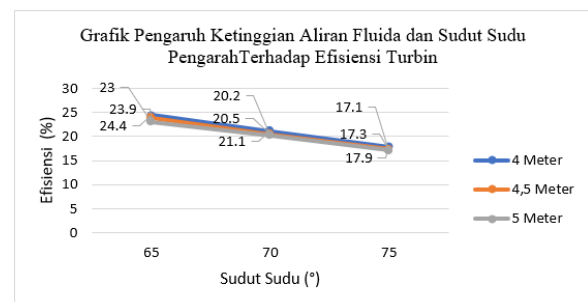
Berdasarkan grafik 14 menunjukkan variasi head serta jumlah sudu pengarah terhadap daya yang diperoleh. Diketahui pada garis biru ketinggian 4 meter dengan 4 jumlah sudu pengarah menghasilkan daya 18,7 watt, pada 6 sudu pengarah menghasilkan daya 36,1 watt, dan pada 8 sudu pengarah menghasilkan daya 56 watt. Pada garis oranye ketinggian aliran 4,5 meter dengan jumlah sudu pengarah 4 menghasilkan daya 25,3 watt, pada 6 sudu pengarah menghasilkan daya 45,2 watt, dan pada 8 sudu pengarah menghasilkan daya 75,4 watt. Kemudian pada garis abu – abu untuk ketinggian aliran 5 meter dengan jumlah sudu pengarah 4 engan daya 42,7 watt, pada 6 sudu pengarah dengan

daya 57,3 watt, serta pada 8 sudu pengarah dengan daya 99,8 watt.

Berdasarkan grafik 15 menunjukkan variasi ketinggian aliran fluida serta kemiringan sudut sudu pengarah terhadap daya yang dihasilkan. Diketahui pada garis biru ketinggian 4 meter dengan 65° kemiringan sudut sudu pengarah menghasilkan daya 54,2 watt, pada 70° kemiringan sudut sudu pengarah dengan daya 34,4 watt, dan pada 75° kemiringan sudut sudu pengarah dengan daya 17,5 watt. Pada garis oranye ketinggian aliran 4,5 meter dengan 65° kemiringan sudut sudu pengarah menghasilkan daya 71,8 watt, pada 70° kemiringan sudut sudu pengarah menghasilkan daya 43,4 watt, dan pada 75° kemiringan sudut sudu pengarah menghasilkan daya 23,9 watt. Kemudian pada garis abu – abu untuk ketinggian aliran 5 meter dengan 65° kemiringan sudut sudu pengarah dengan daya 97,4 watt, pada 70° kemiringan sudut sudu pengarah engan daya 54,8 watt, dan pada 75° kemiringan sudut sudu pengarah menghasilkan daya 41 watt.



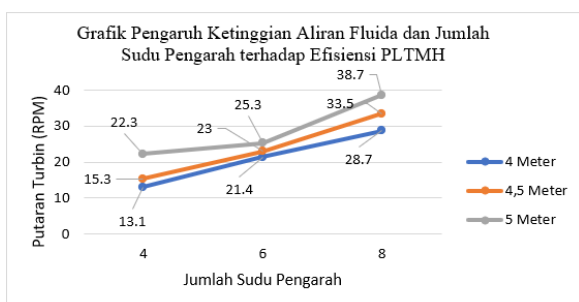
Gambar 16. Grafik Pengaruh Ketinggian Aliran Fluida dan Jumlah Sudu Pengarah terhadap Efisiensi Turbin



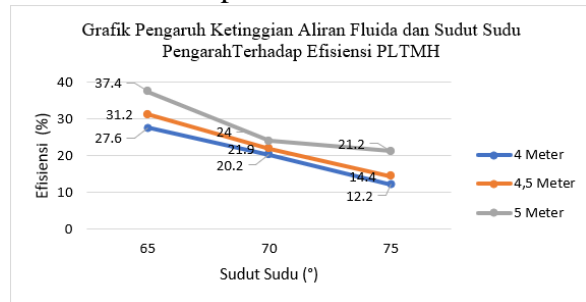
Gambar 17. Grafik Pengaruh Ketinggian Aliran Fluida dan Sudut Sudu Pengarah terhadap Efisiensi Turbin

Berdasarkan grafik 16 menunjukkan variasi ketinggian aliran fluida dan jumlah sudu pengarah terhadap efisiensi turbin yang dihasilkan. Diketahui pada garis biru ketinggian 4 meter dengan 4 jumlah sudu pengarah menghasilkan efisiensi 17,7 %, pada 6 sudu pengarah menghasilkan efisiensi 21 %, dan pada 8 sudu pengarah menghasilkan efisiensi 24,2 %. Pada garis oranye ketinggian aliran 4,5 meter dengan jumlah sudu pengarah 4 dengan efisiensi 17,1 %, pada 6 sudu pengarah menghasilkan efisiensi 20,4 %, dan pada 8 sudu pengarah dengan efisiensi 23,3 %. Kemudian pada garis abu – abu untuk ketinggian aliran 5 meter dengan jumlah sudu pengarah 4 menghasilkan efisiensi 17 %, pada 6 sudu pengarah dengan efisiensi 20 %, dan pada 8 sudu pengarah dengan efisiensi 22,8 %.

Berdasarkan grafik 17 menunjukkan variasi ketinggian aliran fluida dan kemiringan sudut sudu pengarah terhadap efisiensi turbin yang dihasilkan. Diketahui pada garis biru ketinggian 4 meter dengan 65° kemiringan sudut sudu pengarah dengan efisiensi 24,4 %, pada 70° kemiringan sudut sudu pengarah dengan efisiensi 21,1 %, dan pada 75° kemiringan sudut sudu pengarah dengan efisiensi 17,9 %. Pada garis oranye ketinggian aliran 4,5 meter dengan 65° kemiringan sudut sudu pengarah dengan efisiensi 23,9 %, pada 70° kemiringan sudut sudu pengarah dengan efisiensi 20,5 %, dan pada 75° kemiringan sudut sudu pengarah dengan efisiensi 17,3 %. Kemudian pada garis abu – abu untuk ketinggian aliran 5 meter dengan 65° kemiringan sudut sudu pengarah dengan daya efisiensi 23 %, pada 70° kemiringan sudut sudu pengarah dengan daya efisiensi 20,2 %, dan pada 75° kemiringan sudut sudu pengarah dengan efisiensi 17,1 %.



Gambar 18. Grafik Pengaruh Ketinggian Aliran Fluida dan Jumlah Sudu Pengarah terhadap Efisiensi PLTMH



Gambar 19. Grafik Pengaruh Ketinggian Aliran Fluida dan Sudut Sudu Pengarah terhadap Efisiensi PLTMH

Berdasarkan grafik 18 menunjukkan variasi ketinggian aliran fluida dan jumlah sudu pengarah terhadap efisiensi PLTMH yang dihasilkan. Diketahui pada garis biru ketinggian 4 meter dengan 4 jumlah sudu pengarah menghasilkan efisiensi 13,1 %, pada 6 sudu pengarah menghasilkan efisiensi 21,4 %, dan pada 8 sudu pengarah menghasilkan efisiensi 28,7 %. Pada garis oranye ketinggian aliran 4,5 meter dengan jumlah sudu pengarah 4 menghasilkan efisiensi 15,3 %, pada 6 sudu pengarah menghasilkan efisiensi 23 %, dan pada 8 sudu pengarah menghasilkan efisiensi 33,5 %. Kemudian pada garis abu – abu untuk ketinggian aliran 5 meter dengan jumlah sudu pengarah 4 menghasilkan efisiensi 22,3 %, pada 6 sudu pengarah dengan efisiensi 25,3 %, serta pada 8 sudu pengarah dengan efisiensi 38,7 %.

Berdasarkan grafik 19 menunjukkan variasi ketinggian aliran fluida dan kemiringan sudut sudu pengarah terhadap efisiensi PLTMH yang dihasilkan. Diketahui pada garis biru ketinggian 4 meter dengan 65° kemiringan sudut sudu pengarah menghasilkan efisiensi 27,6 %, pada 70° kemiringan sudut sudu pengarah dengan efisiensi 20,2 %, dan pada 75° kemiringan sudut sudu pengarah dengan efisiensi 12,2 %. Pada garis oranye ketinggian aliran 4,5 meter dengan 65° kemiringan sudut sudu pengarah dengan efisiensi 31,2 %, pada 70° kemiringan sudut sudu pengarah dengan efisiensi 21,9 %, dan pada 75° kemiringan sudut sudu pengarah dengan efisiensi 14,4 %. Kemudian

pada garis abu – abu untuk ketinggian aliran 5 meter dengan 65° kemiringan sudut sudu pengarah dengan daya efisiensi 37,4 %, pada 70° kemiringan sudut sudu pengarah menghasilkan efisiensi 24 %, dan pada 75° kemiringan sudut sudu pengarah menghasilkan efisiensi 21,2 %.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pengujian dengan variasi ketinggian aliran fluida, jumlah sudu pengarah serta kemiringan dari sudut sudu pengarah turbin air Kaplan pada performa pembangkit listrik tenaga mikrohidro didapatkan sebuah kesimpulannya bahwasanya variable itu sangatlah berpengaruh pada daya dan performa. Adapun hasil dari alat mikrohidro dengan penggunaan variasi ketinggian aliran fluida 5 meter dan 8 jumlah sudu pengarah dengan daya output terbesar yaitu 99,8 watt dan penggunaan variasi ketinggian aliran fluida 5 meter dengan kemiringan sudut sudu pengarah 65° dengan daya output senilai 97,4 watt. Hal tersebut dikarenakan pada ketinggian aliran 5 meter akan menghasilkan tekanan dan debit yang besar, kemudian dengan jumlah sudu pengarah 8 dan kemiringan 65° menyebabkan aliran fluida menjadi terarah langsung menabrak sudu turbin sehingga menyebabkan gaya dorong yang besar dan minimnya fluida yang terbuang atau tidak menabrak sudu turbin, menyebabkan putaran yang juga tinggi. Makin tinggi rpm yang dihasilkan, semakin besar daya generator yang dihasilkan.

Pada alat mikrohidro menggunakan turbin air Kaplan dengan variasi variasi ketinggian aliran fluida 4 meter dan 8 jumlah sudu pengarah menghasilkan efisiensi turbin terbaik yaitu 24,2 %, dan pada variasi ketinggian aliran fluida 4 meter dengan kemiringan sudut sudu pengarah 65° menghasilkan efisiensi turbin terbaik yaitu 24,4 %. Kemudian pada variasi ketinggian aliran fluida 5 meter dan 8 jumlah sudu pengarah menghasilkan efisiensi PLTMH terbaik yaitu 38,7 %, dan pada variasi ketinggian aliran fluida 5 meter dengan kemiringan sudut sudu pengarah 65°

menghasilkan efisiensi PLTMH terbaik yaitu 37,4 %. Karakteristik grafik yang dihasilkan untuk setiap variasi memiliki kecenderungan yang sama yakni makin tinggi efisiensi maka makin besar daya yang dihasilkan.

Penelitian mengenai turbin Kaplan dengan skala mikrohidro yang telah dirancang sangat memungkinkan untuk dilakukan pengembangan guna untuk menyempurnakan penelitian ini. Berikut beberapa saran pengembangan yang dapat dilakukan yaitu :

1. Menggunakan generator yang tepat akan menghasilkan kinerja puncak, oleh karena itu berhati-hatilah saat menentukan pilihan.
2. Tersedia berbagai sudut dan ukuran bilah, serta variasi jumlah bilah.
3. Memikirkan dari mana aliran air akan berasal penting dalam penerapan alat, karena hasil kinerja dipengaruhi oleh laju aliran dan ketinggian jatuhnya air.
4. Memperbaiki material dan diameter turbin dengan memodifikasi laju aliran sungai mencegah kegagalan pengujian dan memungkinkan rotasi yang ideal.

REFERENSI

- Sunardi, W. S. Aji. (2018). Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, Jurnal Ilmu Teknik dan Komputer, 2.
- Pudjanarsa, A., & Nursuhud, D. (2012). Mesin Konversi Energi (S. Suyantoro (ed.); 3rd ed.). Penerbit ANDI.
- Wisnaningsih, W., & Tarmizi, A. (2021). Daya Optimal Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Terhadap Studi Kelayakan dan Perancangan Turbin pada Proyek Mikrohidro. *Teknika Sains: Jurnal Ilmu Teknik*, 6(2), 58-65.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktrat Jenderal Keteragalistrikan. (2021). Statistik Kelistrikan 2020. Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral Direktrat Jenderal Keteragalistrikan, 13(April), 122.

- 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), 64–76. www.ijstr.org
- Umurani, K., Siregar, A. M., & Al-Amin, S. (2020). Pengaruh Jumlah Sudu Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Tipe Whirlpool Terhadap Kinerja. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 3(2), 103–111. <https://doi.org/10.30596/rmme.v3i2.5272>
- Afandi, A. R. A. (2018). Analisa Pengaruh Jumlah Sudu Dan Laju Aliran Terhadap Performa Turbin Kaplan (Doctoral dissertation, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya).
- Pritchard, P. J., & Leylegian, J. C. (2011). Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics. In A. Spicehandler (Ed.), *John Wiley & Sons, Inc.* (8th ed., Vol. 4, Issue 1). John Wiley & Sons, Inc.
- Sunyoto, A., Wenehenubun, F., & Sutanto, H. (2013). The effect of number of blades on the performance of H-Darrieus type wind turbine. In *2013 International Conference on QiR* (pp. 192-196). IEEE
- Haimerl, L. A. (1960). The Cross-Flow turbine. *Water Power Engineering Magazine*, Vol. 12, No. 1, pp. 5-13.