



ANALISIS KARAKTERISTIK TURBIN LURUS DAN TURBIN BENGKOK PADA PEMBANGKIT LISTRIK MIKRO HIDRO

Albert Gabriel Surbakti ^{a*}, Anding Antonio Ananda Putra ^{b*}, Dimas Bagus Prayogo ^{c*}

^a Teknik Manufaktur Kapal, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banyuwangi

^b Teknik Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banyuwangi

^c Teknik Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banyuwangi

E-mail koresponden: albertsurbakti10@gmail.com

ABSTRACT

PLTMH or Micro Hydro Power Plant is a small-scale power generation system that utilizes water as its energy source. In PLTMH, water functions as the driving force for a turbine, converting energy into mechanical energy. One of the systems used in PLTMH is the microhydro vortex, which harnesses the kinetic energy of water to create a vortex that drives the turbine blades. To achieve optimal efficiency in the turbine, the selection of a suitable turbine profile or model is an important factor to consider. Among the two tested turbine designs, the curved turbine has a higher power coefficient compared to the straight turbine. Therefore, the curved turbine is considered highly suitable for application in the development of microhydro vortex technology, as it exhibits high efficiency and can operate at low head or low water flow velocities using the concept of hydro vortex. The operation of the prototype microhydro power generator with the hydro vortex concept utilizes a circulation system that utilizes water as its working fluid. Water is pumped from the circulation pipe and directed towards the flow synchronizer, which then enters the hydro vortex basin. Inside the basin, the water flows in a vortex pattern, rotating the turbine, and transmitting power to the generator to produce electricity. The experimental results show that straight turbines have a maximum CP value of 6.49% and curved turbines have a maximum CP value of 9.95%. So based on the data obtained from the experiment, it can be said that straight turbine designs cannot be used for the development of microhydro vortex technology because straight turbines have a lower power coefficient than curved turbines.

Keywords: Micro Hydro Power Plant, Hydro Vortex, Turbine.

Abstrak

PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) adalah sebuah sistem pembangkit listrik skala kecil yang memanfaatkan air sebagai sumber energi. Dalam PLTMH, air berfungsi sebagai penggerak turbin yang bertujuan mengubah energi menjadi energi mekanik. Salah satu sistem yang digunakan dalam PLTMH adalah mikrohidro vortex, yang menggunakan energi kinetik air untuk membentuk pusaran yang menggerakkan sudu turbin. Untuk mencapai efisiensi optimal dalam turbin, pemilihan profil atau model turbin yang sesuai menjadi faktor penting yang harus dipertimbangkan. Dari kedua desain sudu turbin yang telah di uji coba, turbin bengkok memiliki *coeffisien power* lebih tinggi dibandingkan turbin lurus. Maka turbin bengkok dapat dikatakan sangat cocok untuk diaplikasikan pada pengembangan teknologi mikrohidro vortex, karena turbin ini memiliki efisiensi dan mampu bekerja di head yang rendah atau kecepatan aliran air rendah dengan menggunakan konsep hydro vortex. Cara kerja purwarupa pembangkit listrik mikrohidro dengan konsep hydro vortex menggunakan sistem sirkulasi dengan memanfaatkan air sebagai fluidanya. Air disedot oleh pompa dari pipa sirkulasi lalu dialirkan menuju penyalaras aliran dan masuk kedalam bak hydro vortex, didalam bak air akan mengalir menjadi pusaran dan memutar turbin kemudian di transmisikan ke generator sehingga menghasilkan daya. Dari kedua desain turbin yang dipakai untuk purwarupa pembangkit listrik mikrohidro dengan konsep hydro vortex menghasilkan data dari kedua turbin Hasil percobaan, turbin lurus memiliki nilai CP maksimal yaitu 6,49% dan turbin bengkok memiliki nilai CP maksimal 9,95%. Maka berdasarkan data yang didapat dari percobaan, desain turbin lurus dapat dikatakan tidak dapat digunakan untuk pengembangan teknologi mikrohidro vortex karena turbin lurus memiliki *coeffisien power* lebih kecil dibandingkan turbin bengkok.

Kata Kunci: Pembangkit Listrik Mikrohidro, Hydro Vortex, Turbin

1. PENDAHULUAN

Pembangunan sumber energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan menjadi salah satu tantangan utama di era modern ini. Salah satu potensi yang dapat dimanfaatkan adalah sumber daya air yang melimpah, terutama di daerah yang terletak di lereng pegunungan. Daerah Kalibendo, yang terletak di Kabupaten Banyuwangi, merupakan salah satu contoh daerah dengan potensi alam yang sangat bagus, diperkaya dengan keindahan pegunungan Ijen Banyuwangi.

Daerah Kalibendo, selain memiliki kekayaan alam yang melimpah, juga memiliki perkebunan yang luas serta menjadi destinasi agrowisata dan akses menuju destinasi wisata terkenal, Kawah Ijen. Namun, di tengah keindahan alam dan potensi wisata yang dimiliki, Kalibendo juga menghadapi beberapa tantangan, salah satunya adalah masalah aliran listrik di daerah pegunungan ini. Banyak pemukiman warga di daerah perkebunan Kalibendo yang belum teraliri listrik oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN), sehingga masih mengalami keterbatasan dalam pemanfaatan sumber energi listrik. Selain itu, jalan menuju Kawah Ijen juga masih kekurangan penerangan, menghambat potensi pariwisata yang ada.

Studi ini dilakukan dengan melakukan pengamatan langsung di Kalibendo dan menemukan adanya bendungan air di tengah-tengah perkebunan. Sumber air ini memiliki debit sebesar 1,6m³ dan arus sebesar 1,4m/detik. Dalam penelitian ini, kami melihat potensi alam ini untuk digunakan sebagai pembangkit listrik skala kecil atau pembangkit listrik mikro hidro. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan solusi efektif untuk memanfaatkan energi air pada tinggi terjun sungai. Berdasarkan karakteristik mikro hidro, kami akan membuat dua jenis turbin yang akan dibandingkan. Turbin yang akan digunakan adalah turbin dengan karakteristik terbaik antara turbin lurus dan turbin bengkok (*skew turbine*).

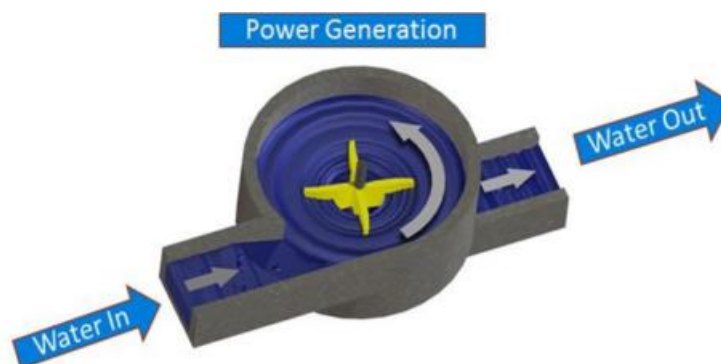
Hasil analisis perbandingan katakarakteristik antara turbin lurus dengan turbin bengkok (*skew turbine*) ini memberi informasi mengenai katakarakteristik kedua turbin tersebut sehingga didapatkan karakteristik yang dapat digunakan untuk teknologi mikrohidro vortex.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. PLTMH Hidro Vortex

PLTMH vortex adalah sebuah sistem pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan prinsip vortex atau pusaran air. PLTMH vortex dapat bekerja efektif pada tinggi terjun rendah dengan menggunakan turbin konvensional untuk Energi Baru Terbarukan (EBT). Konsep PLTMH vortex pertama kali dikembangkan oleh seorang peneliti Austria bernama *Franz Zotl* saat mencari cara yang paling efisien untuk memanfaatkan air.

PLTMH vortex termasuk dalam penemuan EBT yang ramah lingkungan dan aman bagi makhluk hidup di dalam air karena memiliki kecepatan putaran turbin yang rendah. Prinsip kerja PLTMH vortex adalah air memasuki inlet yang berukuran besar dan mengalir melalui saluran ke sebuah basin berbentuk lingkaran, kemudian air bergerak secara tangensial (Gambar 1). Di bawah basin lingkaran tersebut, terdapat outlet untuk keluarnya air dengan diameter lebih kecil daripada inlet. Pusaran air terbentuk di dalam basin saat air mengalir menuju outlet akibat adanya gaya gravitasi. Turbin pada PLTMH vortex tidak bergerak karena perbedaan tekanan, tetapi bergerak karena gaya dinamik yang dihasilkan oleh vortex.[1].



Gambar 1. Skema PLTMH Vortex [1]

2.2. Motor Pompa Air

Motor pompa air adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengalirkan cairan atau fluida dari satu lokasi ke lokasi lain melalui pipa dengan menggunakan tenaga dari bahan bakar bensin untuk mendorong air secara kontinu. Motor ini menggunakan mesin dengan bahan bakar

bensin. Motor pompa air ini digunakan sebagai sumber aliran air dalam purwarupa pembangkit listrik tenaga mikro hidro. [2]

Adapun perhitungan untuk menentukan daya motor pompa air yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

a. Debit Air Didalam Pipa

$$Q = 5,75 \times (10^{-3}) \times dH^2 \quad (1)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} Q &= \text{Debit Air (m}^3/\text{s)} \\ dH^2 &= \text{Diameter Pipa (mm)} \end{aligned}$$

b. Kecepatan Aliran Air

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} v &= \text{Kecepatan Aliran Air (m/s)} \\ Q &= \text{Debit Air (m}^3/\text{s)} \\ A &= \text{Luas (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

Adapun rumus perhitungan untuk mengetahui Area (A) adalah sebagai berikut:

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

Dimana :

$$\begin{aligned} \pi &= 3,14 \\ dH^2 &= \text{Diameter Pipa (mm)} \end{aligned}$$

c. Perhitungan volume Penyelaras Aliran

$$\text{Vol} = P \times l \times t \quad (4)$$

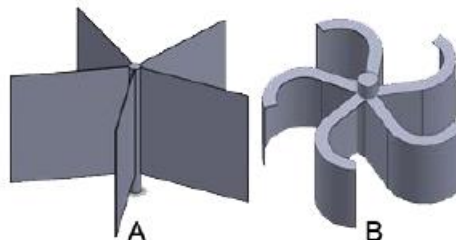
Dimana :

$$\begin{aligned} P &= \text{Panjang (cm)} \\ l &= \text{Lebar (cm)} \\ t &= \text{Tinggi (cm)} \end{aligned}$$

2.3. Turbin Air

Turbin air merupakan sebuah perangkat yang berfungsi untuk mengkonversi energi potensial air menjadi energi mekanik. Energi mekanik tersebut selanjutnya diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator [3]. Pada abad ke-19, turbin air dikembangkan dan digunakan secara luas sebagai sumber energi dalam pembangkit tenaga listrik. Dalam konteks pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH), turbin air merupakan perangkat utama selain generator. Berdasarkan eksperimen yang dilakukan oleh P Sritram menggunakan turbin dengan jumlah kipas antara 2 hingga 7, ditemukan bahwa turbin dengan 5 kipas memiliki rasio putaran tertinggi.[4]

Berdasarkan karakteristik mikro hidro maka pembuatan turbin akan menggunakan dua jenis turbin yang akan dibandingkan. Tipe yang akan digunakan adalah turbin dengan karakteristik terbaik antara turbin lurus Gambar 2A dengan turbin bengkok (skew turbine) Gambar 2B.



Gambar 2. Turbin Air

Adapun sudut kebengkokan sudu yang digunakan adalah 10° karena berdasarkan percobaan dari Ali Thobari yang dilakukan dengan beberapa macam variasi sudut sudu mulai dari 10° , 20° , 30° , 40° , 50° menunjukkan sudut sudu 10° memiliki hasil terbaik.[5]

Berikut perhitungan untuk mengetahui kecepatan tangensial ujung sudu dengan kecepatan air yang sebenarnya (Tip Speed Ratio) adalah sebagai berikut:

a. Kecepatan Putaran Turbin (rad/s)

$$\omega = \pi \cdot \frac{n}{30} \quad (5)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \pi &= 3,14 \\ N &= \text{Putaran Turbin Dalam Satu Menit (rpm)} \end{aligned}$$

b. Tip Speed Ratio (TSR)

Tip Speed Ratio (TSR) adalah perbandingan antara kecepatan ujung sudu turbin dengan kecepatan aliran air sebenarnya. Rasio kecepatan TIP ini memiliki hubungan dengan efisiensi turbin, yang dapat bervariasi secara optimal tergantung pada desain sudu turbin.[6]

$$TSR = \frac{\omega R}{v} \quad (6)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \omega &= \text{Kecepatan Putaran Turbin (rad/s)} \\ R &= \text{Rotor Radius (m)} \\ v &= \text{Kecepatan Aliran Air (m/s)} \end{aligned}$$

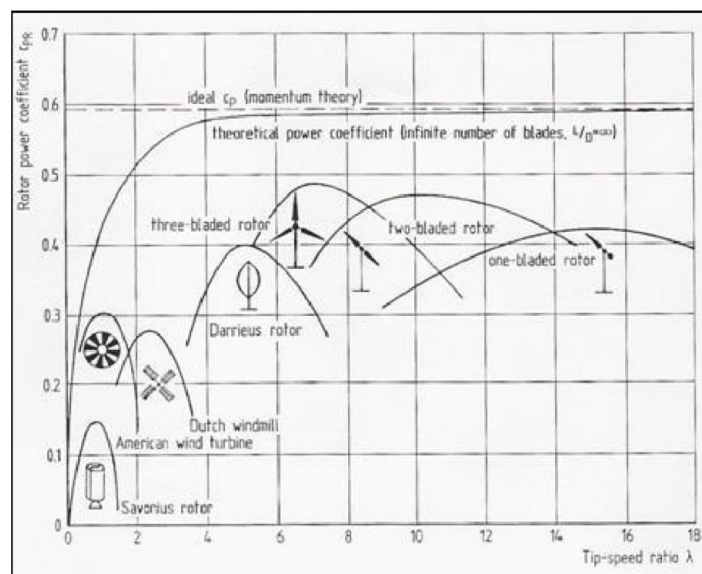
c. Coeffisien Power Turbin (CP)

Coeffisien power adalah perbandingan antara daya yang keluar dari rotor dengan daya yang masuk pada rotor. [7]

$$CP = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho v^3 A} \quad (7)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} CP &= \text{Coeffisien Power} \\ P &= \text{Rotor Output Power (watt)} \\ v &= \text{Kecepatan Aliran Air (m/s)} \\ A &= \text{Luas Rotor (m}^2\text{)} \end{aligned}$$



Gambar 3. Tabel Coeffisien Power [2]

2.4. Generator

Generator listrik adalah sebuah perangkat besar yang berperan sebagai penyedia tenaga listrik.[8] Generator listrik adalah perangkat yang mengubah energi kinetik menjadi energi listrik [9]. Pada tahun 1831, Faraday menemukan generator listrik pertama. Pada saat itu, generator listrik terdiri dari gulungan kawat yang terletak di sekitar besi yang berbentuk U. Generator tersebut dikenal sebagai Generator Cakram Faraday. Generator listrik adalah perangkat yang menghasilkan energi listrik dari sumber energi mekanik melalui proses induksi elektromagnetik. Proses ini disebut juga sebagai pembangkit listrik. [10] Meskipun generator dan motor memiliki banyak kesamaan, motor adalah sebuah perangkat yang mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik.

Untuk menentukan generator, maka diperlukan perhitungan sebagai berikut untuk mengetahui berapa besar kapasitas output generator yang digunakan.:

a. Daya Air

$$P = 9,8 \times \rho \times Q \times H$$
(8)

Dimana:

- 9,8 = Konstanta Gravitasi (m/s^2)
- ρ = Massa Jenis Air (kg/m^3)
- Q = Debit Air (m^3)
- H = Head (m)
- P = Rotor Output Power (watt)

b. Torsi Generator Pada Putaran Tertinggi

$$TSR = \frac{P}{n} \cdot \frac{P}{\pi}$$
(9)

Dimana:

- P = Rotor Output Power (watt)
- n = Putaran Turbin (rpm)
- π = 3,14

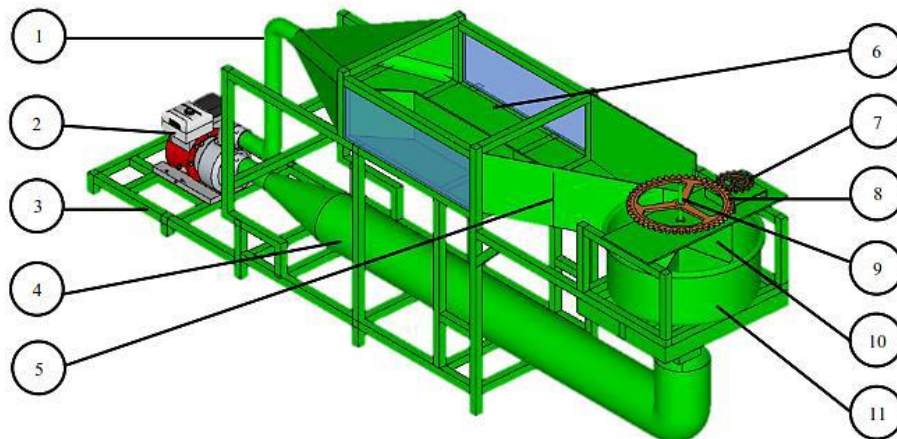
2.5. Roda Gigi

Roda gigi adalah sebuah komponen yang digunakan untuk mentransfer daya besar atau putaran dengan kecepatan tinggi. Roda gigi ini memiliki permukaan bergerigi dan berbentuk silinder atau kerucut yang saling berhubungan pada bagian luar, sehingga jika salah satu roda gigi diputar, roda gigi lainnya juga akan berputar.[11]

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Deskripsi Purwarupa Pembangkit Listrik

Gambar desain turbin air dan purwarupa pembangkit listrik mikrohidro dengan konsep hydro vortex dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



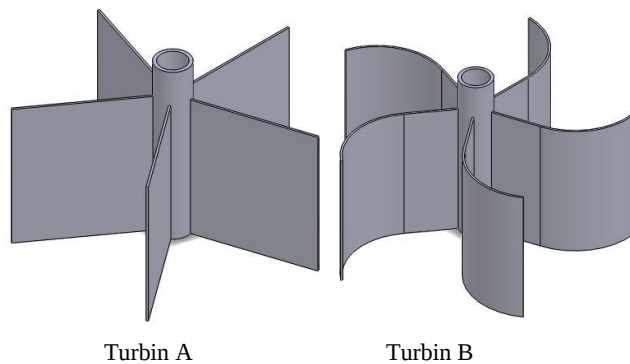
Gambar 4. Desain Pengembangan Purwarupa Turbin Air Untuk PLTMH Dengan Konsep Hydro Vortex

Berikut ini adalah bagian-bagian dari pengembangan purwarupa turbin air untuk PLTMH dengan konsep hidro vortex:

- | | |
|----------------------|------------------|
| 1. Inlet Water | 7. Generator |
| 2. Motor Pompa Air | 8. Gearbox |
| 3. Rangka | 9. Poros |
| 4. Pipa Sirkulasi | 10. Turbin |
| 5. Penghantar Air | 11. Hydro Vortex |
| 6. Penyelaras Aliran | |

3.2. Desain Sudu Turbin A dan B

Berikut ini adalah gambar desain sudu turbin air, terdapat dua desain sudu yaitu turbin A dengan sudut lurus dan turbin B dengan sudut bengkok.



Gambar 5. Desain Sudu Turbin A dan B

3.3. Metode Pelaksanaan

3.3.1. Studi Pustaka

Sebagai referensi pembuatan turbin air diperlukan penambahan antaralain sebagai berikut:

- Perencanaan sudu dan poros
- Perencanaan bantalan
- Perencanaan generator

3.3.2. Perencanaan dan Perancangan

Setelah membuat konsep yang didapatkan dari hasil studi pustaka, maka dapat dilakukan perencanaan bahan-bahan yang dibutuhkan dalam pembuatan turbin air. Dalam proyek akhir ini yang akan menjadi rancangan adalah:

- Mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan
- Pembuatan sudu-sudu turbin
- Proses perakitan dan finishing

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Uji Coba Purwarupa

Proses uji coba purwarupa PLTMH dengan konsep hydro vortex dilakukan dengan menggunakan 2 buah turbin dengan desain sudu yang berbeda, yaitu sudu lurus dan sudu bengkok.



Gambar 6. Hasil Uji Coba Turbin Lurus



Gambar 7. Hasil Uji Coba Turbin Bengkok

Berdasarkan hasil uji coba yang telah dilakukan, didapatkan data sebagai berikut:

4.1.1. Kecepatan Putaran Turbin

$$\omega = \pi \cdot \frac{n}{30}$$

Maka,

$$\begin{aligned}\omega &= 3.14 \cdot \frac{46}{30} \\ &= 4,8 \text{ (rad/s)}\end{aligned}$$

4.1.2. Tip Speed Ratio (TSR)

Tip Speed Ratio (TSR) adalah perbandingan antara kecepatan ujung sudu turbin dengan kecepatan aliran air sebenarnya. Rasio kecepatan TIP ini memiliki hubungan dengan efisiensi turbin, yang dapat bervariasi secara optimal tergantung pada desain sudu turbin.

$$TSR = \frac{\omega \cdot R}{v}$$

Maka,

$$\begin{aligned}TSR &= \frac{4,8 \times 0,15}{0,52} \\ &= 1,38\end{aligned}$$

4.1.3. Coeffisien Power

Coeffisien power adalah perbandingan antara daya yang keluar dari rotor dengan daya yang masuk pada rotor.

$$CP = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho \cdot v^3 \cdot A}$$

Maka,

$$CP = \frac{0,3}{\frac{1}{2} \cdot 997 \cdot 0,52^3 \cdot 0,0707}$$

$$= 3,67\%$$

Tabel 1. Hasil Uji Coba Turbin Lurus

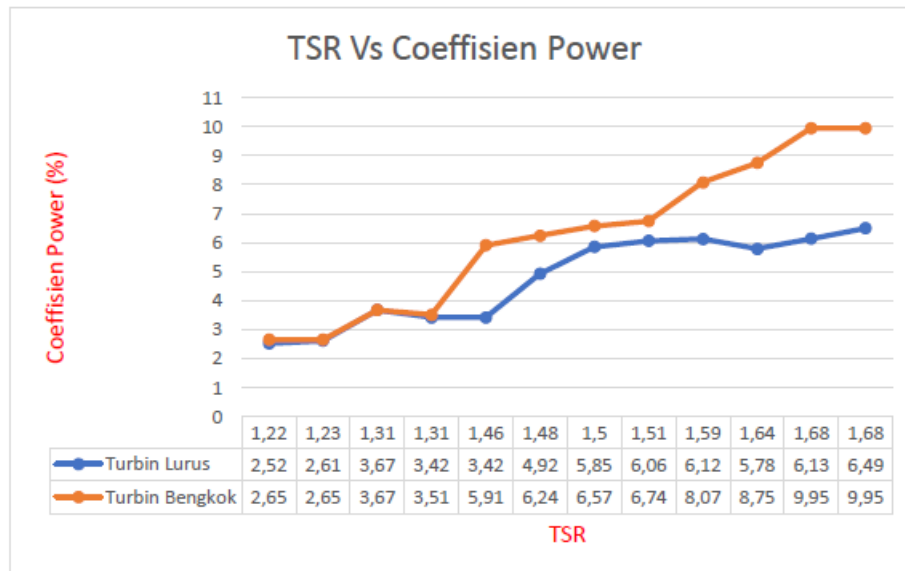
Inlet (cm)	Outlet (inch)	Kec. Aliran Air (m/s)	Debit (m ³ /s)	RPM Turbin	Output (watt)	TSR	Coeffisien Power (%)
4,5	3	0,52	0,0151	46	0,3	1,38	3,67
4,5	3	0,54	0,0157	47	0,33	1,37	4,92
4,5	3	0,58	0,0168	49	0,34	1,32	5,85
4,5	3	0,64	0,0186	50	0,34	1,21	6,06
4,5	3,5	0,55	0,0158	52	0,37	1,49	6,49
4,5	3,5	0,57	0,0166	53	0,4	1,46	6,13
4,5	3,5	0,59	0,0171	55	0,42	1,46	5,78
4,5	3,5	0,63	0,0183	57	0,55	1,41	6,12
4,5	4	0,77	0,0225	60	0,56	1,22	3,42
4,5	4	0,77	0,225	61	0,56	1,24	3,42
4,5	4	0,85	0,0246	62	0,56	1,15	2,61
4,5	4	0,86	0,0249	62	0,56	1,14	2,52

Tabel 2. Hasil Uji Coba Turbin Bengkok

Inlet (cm)	Outlet (inch)	Kec. Aliran Air (m/s)	Debit (m ³ /s)	RPM Turbin	Output (watt)	TSR	Coeffisien Power (%)
4,5	3	0,54	0,0156	57	0,55	1,68	9,95
4,5	3	0,58	0,0167	58	0,55	1,59	8,07
4,5	3	0,62	0,0178	59	0,56	1,51	6,74
4,5	3	0,63	0,0183	60	0,56	1,48	6,24
4,5	3,5	0,54	0,0156	58	0,55	1,68	9,95
4,5	3,5	0,56	0,0163	59	0,55	1,64	8,75
4,5	3,5	0,62	0,018	59	0,56	1,5	6,57
4,5	3,5	0,64	0,0186	60	0,56	1,46	5,91
4,5	4	0,76	0,022	63	0,57	1,31	3,67
4,5	4	0,77	0,0225	65	0,58	1,31	3,51
4,5	4	0,86	0,0249	67	0,59	1,22	2,65
4,5	4	0,86	0,0249	67	0,59	1,23	2,65

4.2. Perbandingan Hasil Uji Coba

Dari hasil percobaan dua jenis turbin, kemudian dari hasil yang didapat dibandingkan. Maka didapat grafik sebagai berikut:



Gambar 8. Grafik Perbandingan Uji Coba

Grafik diatas merupakan hasil TSR dan coeffisien power dari data yang telah didapat. Berdasarkan grafik diatas membuktikan bahwa turbin bengkok memiliki coeffisien power lebih baik dibandingkan turbin lurus. Maka desain turbin lurus tidak cocok digunakan untuk pengembangan teknologi mikrohidro vortex

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan analisis dan percobaan, beberapa kesimpulan dapat diambil, antara lain:

1. Dari kedua desain turbin yang dipakai untuk purwarupa pembangkit listrik mikrohidro dengan konsep hydro vortex menghasilkan data dari kedua turbin. Dari hasil percobaan, turbin lurus memiliki nilai CP maksimal yaitu 6,49% dan turbin bengkok memiliki nilai CP maksimal 9,95%. Maka berdasarkan data yang didapat dari percobaan, desain turbin lurus dapat dikatakan tidak dapat digunakan untuk pengembangan teknologi mikrohidro vortex karena turbin lurus memiliki coeffisien power lebih kecil dibandingkan turbin bengkok.
2. Cara kerja purwarupa pembangkit listrik mikrohidro dengan konsep hydro vortex ini menggunakan sistem sirkulasi, yaitu dengan menggunakan motor pompa untuk menyirkulasikan air dari pipa sirkulasi menuju penyalur aliran, kemudian air mengalir menuju bak hydro vortex dan disitu air membentuk pusaran kemudian akan memutar turbin setelah itu air mengalir jatuh kembali kedalam pipa sirkulasi. Dengan perhitungan angka Re yang didapat yaitu 154577,3 maka aliran yang dihasilkan adalah aliran turbulent.
3. Berdasarkan hasil rancang bangun dan percobaan perbandingan desain turbin air yang telah dibuat untuk pengembangan purwarupa pembangkit listrik mikrohidro dengan konsep hydro vortex, dapat memberi pengetahuan tentang efisiensi turbin air yang cocok digunakan untuk pengembangan teknologi mikrohidro vortex.

5.2. Saran

1. Purwarupa ini dapat dikembangkan lagi dengan mengganti desain turbin, sehingga dapat memberi pengetahuan tentang desain turbin yang paling cocok digunakan untuk pengembangan teknologi mikrohidro vortex.
2. Kedepannya purwarupa ini dapat divariasi lagi terutama pada bagian outlet vortex dengan menambah diameter lubangnya menjadi 5 inch, 5,5 inch dan seterusnya. Kemungkinan putaran yang didapat akan lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Syafitri, N. F., & Permatasari, R. (2018, October). Analisis profil sudu turbin mikro hidro vortex untuk mendapatkan efisiensi optimum. In *Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan* (pp. 535-541).

- [2] Nasution, E. S., Zambak, M. F., Suhendra, S., & Hasibuan, A. (2020). Simulasi Pengoperasian Motor Pompa Air Berbasis Programmable Logic Control. *INVENTORY: Industrial Vocational E-Journal On Agroindustry*, 1(2), 78-82.
- [3] Yeddid, Y. E. D., & Wardhana, P. B. W. (2020). Energi Hydro Vortex Dalam Upaya Peningkatan Produktivitas Masyarakat serta Penerangan Jalan Desa di Desa Songgon Kecamatan Songgon Kabupaten Banyuwangi. *DIKEMAS (Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat)*, 4(2).
- [4] Yeddid, Y. E. D., Sani, W., Hanafi, A. F., & Putra, A. P. (2023). Utilization Of Hydro Vortex Energy In Watershed Conservation Efforts And Increasing Community Nutrition Through The Fisheries Sector And Educational Tourism In Songgon. *International Journal Of Community Service*, 3(2), 115-120.
- [5] Sugiono, I. (2021). PENGUJIAN TURBIN PELTON DENGAN VARIASI JUMLAH MANGKOK TUNGKAL DAN DIMENSI NOZEL TERHADAP PUTARAN DAN DAYA TURBIN (Doctoral dissertation, Universitas Islam Kalimantan MAB).
- [6] Posa, A. (2020). Influence of tip speed ratio on wake features of a vertical axis wind turbine. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 197, 104076.
- [7] González-Hernández, J. G., & Salas-Cabrera, R. (2019). Representation and estimation of the power coefficient in wind energy conversion systems. *Revista Facultad de Ingeniería*, 28(50), 77-90.
- [8] Arifin, A. A. S. (2022). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Turbin Air (PLTMH) Menggunakan Motor Listrik Sinkron (AC) Type Dinamo (XQD-135-A) Sebagai Generator Memanfaatkan Aliran Air.
- [9] Yeddid, Y. E. D., Prasetya, I. S., Inprasetyobudi, H., Hidayat, M. N., & Nurwahyudi, D. (2020, November). Purwarupa Pembangkit Listrik Tenaga Ombak dengan Konsep Oscillating Water Coloumn Untuk Mendukung Kemandirian Energi Kabupaten Banyuwangi. In *Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)* (Vol. 6, No. 1, pp. 88-95).
- [10] Alamsyah, F. (2017). Studi Kinerja Generator Pembangkit Listrik Tenaga Air Ubrug Sukabumi. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Elektro*, 1(1).
- [11] Nurdin, A., & Hastuti, S. (2020). OPTIMALISASI DAYA OUTPUT GENERATOR PADA PICO-HYDROPOWER MENGGUNAKAN TRANSMISI RODA GIGI. *Journal of Mechanical Engineering*, 4(2), 7-14.