

PENGARUH VARIASI JUMLAH SUDU TERHADAP EFISIENSI PADA PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) DENGAN MENGGUNAKAN TURBIN VORTEX

Kadek Rekha Agustha¹, Lie Jasa², I Made Suartika²

¹Mahasiswa Program Studi, Fakultas, Universitas

²Dosen Program Studi Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit, Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec. Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Bali
80361
rekhaagustha@gmail.com

ABSTRAK

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan menggunakan turbin vortex memiliki keunggulan yaitu pengoperasiannya dapat dilakukan pada tingkat *head* rendah. Permasalahan pada turbin vortex salah satunya adalah pemilihan turbin dengan jumlah sudu yang tepat mengingat *output* maksimal generator berdasarkan jumlah sudu belum dirumuskan sebelumnya. Oleh karena itu, dibuatlah Prototype PLTMH dengan turbin vortex untuk melakukan pengujian terhadap variasi jumlah sudu agar mendapat efisiensi terbaik. Pengujian prototype pada penelitian ini menggunakan turbin dengan jumlah sudu yang bervariasi yaitu 3 buah, 5 buah, dan 9 buah. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, peningkatan kinerja *Prototype* PLTMH dengan turbin vortex membaik seiring pertambahan jumlah sudu yang digunakan. Saat sistem diatur dengan menggunakan debit air 4,5 l/s dan sudu turbin sebanyak 9 buah didapatkan parameter *output* maksimum dari sistem. Parameter *output* yang didapatkan dengan menggunakan pengaturan tersebut adalah putaran turbin sebelum dikopel generator sebesar 303,8 rpm, putaran turbin setelah dikopel generator sebesar 230.5 rpm, putaran generator sebesar 653.5 rpm, tegangan sebesar 8.29 Volt, arus sebesar 0.046 Ampere, daya generator sebesar 0.387 Watt, torsi sebesar 0.0393 Nm, dan efisiensi sebesar 2.92%.

Kata Kunci : PLTMH, Prototype, Turbin Vortex, Variasi Jumlah Sudu Turbin, Efisiensi Sistem.

ABSTRACT

Micro-hydro power plants using vortex turbines have the advantage that their operation can be carried out at low levels of falling water or head. One of the problems that exist in vortex turbine is there is no equation to determine the maximum output generated by the number of blades used. Based on the problems described, a prototype of micro-hydro power plants using vortex was made to test the variations in the number of blades to get the best efficiency. The prototype test in this study used a turbine with various number of blades of 3, 5, and 9 blades. Based on the research conducted, the increase of micro-hydro power plant prototype performance equals to number of blades used. When the system was set with a discharge of 4.5 liters per second paired with a turbine consisted of 9 blades which produced 303.8 rpm of turbine rotation before coupled by the generator and 230.5 rpm after coupled by the generator, the generator rotation was 653.5 rpm, the generator output voltage was 8.29 Volts, generator current output was 0.046, generator power output was 0.387 Watt, torque was 0.0393 Nm, and the highest efficiency was 2.92%

Key Word : *Micro-hydro power plants, Prototype, Vortex Turbine, Variation number of blades, System Efficiency.*

1. PENDAHULUAN

Negara Indonesia memiliki potensi energi terbarukan khususnya sumber daya air. Ditinjau dari wilayah perairan di Indonesia dan berdasarkan data yang dimiliki Kementerian ESDM, total keseluruhan potensi tenaga air yang dimiliki bangsa Indonesia sebesar 75.000 MW dan yang dimanfaatkan saat ini hanya 10,1% atau sebesar 7.572 MW. Pemanfaatan energi baru terbarukan dilakukan percepatan oleh pemerintah dengan target yang diharapkan instalasi senilai 31% pada tahun 2050 sehingga sangat diperlukan penelitian lebih lanjut terutama pada energi aliran air atau Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) [1].

Ada beberapa penelitian tentang potensi energi aliran air khususnya di Bali, diantaranya Penelitian tentang potensi dan pengembangan energi baru terbarukan di Bali [2]. Penelitian mengenai PLTMH yang telah beroperasi di Jatiluwih untuk menunjang destinasi wisata [3]. Penelitian mengenai pembangkit listrik tenaga mikrohidro pada Desa Sambangan untuk listrik yang hijau dan berkelanjutan [4].

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah satu bentuk energi terbarukan yang berpotensi pada tempat-tempat tertentu untuk menyuplai kebutuhan listrik bagi masyarakat, khususnya dari segi penerangan jalan dan pemukiman. Salah satu komponen yang digunakan untuk mengkonversi sumber energi dari aliran air yang mengalir menjadi listrik pada PLTMH adalah turbin. Sumber energi dari aliran air yang berupa energi mekanik didapatkan dengan mengkonversi energi kinetik dan potensial dari aliran air. Jenis-jenis turbin yang dapat digunakan dalam PLTMH sangat beragam menyesuaikan dengan karakteristiknya masing-masing, contohnya turbin crossflow dan pelton yang termasuk dalam turbin impuls dan turbin vortex, kaplan, dan propeller yang termasuk dalam turbin reaksi. Penggunaan jenis turbin bergantung dari kondisi pengaplikasiannya seperti turbin vortex yang dapat digunakan pada rentang head yang bervariasi. Turbin jenis ini beroperasi dalam head range antara 0.7 sampai 10 meter. Turbin ini termasuk dalam konsep aliran radial dengan jenis turbin reaksi. Jumlah sudu (*blade*) sangat mempengaruhi unjuk kerja dari turbin vortex. Menentukan jumlah sudu dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi yang ada, maka dari itu penentuan jumlah sudu (*blade*) turbin

harus disesuaikan dengan parameter yang ada sehingga jumlah sudu turbin yang dipilih akan menghasilkan output yang maksimum [5].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)*

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian jatuh air (*head*) dan jumlah debit air yang disalurkan pada pipa pesat (penstock). Air yang mengalir selanjutnya menggerakkan turbin dimana turbin dihubungkan dengan generator dengan tujuan agar generator dapat menghasilkan listrik. Generator dapat dikopel langsung pada turbin ataupun dengan bantuan sabuk (*belt*). Listrik yang diproduksi dari generator akan disalurkan melalui transformator untuk menyesuaikan tegangan untuk kebutuhan. Selanjutnya listrik akan disalurkan menggunakan Jaringan Transmisi Rendah (JTR) menuju ke rumah-rumah konsumen. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) disesuaikan pada kondisi pengaplikasiannya, namun pada prinsip kerja yang identik, yaitu konversi energi potensial menjadi energi elektrik (listrik) [6].

2.2 *Komponen-komponen PLTMH*

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro memiliki beberapa komponen dengan fungsinya sendiri dan bekerja bersama-sama untuk dapat beroperasi dan menghasilkan energi listrik, diantaranya komponen sipil yang terdiri dari bendung pengalihan, saluran *inlet*, bukaan *inlet*, pengendap pasir, saluran pembawa, saluran pelimpah, bendung penenang, pipa pesat, rumah pembangkit, dan saluran pengeluaran. Selain komponen sipil, terdapat juga komponen elektro-mekanikal diantaranya adalah turbin, transmisi, generator hingga sistem kontrol [7].

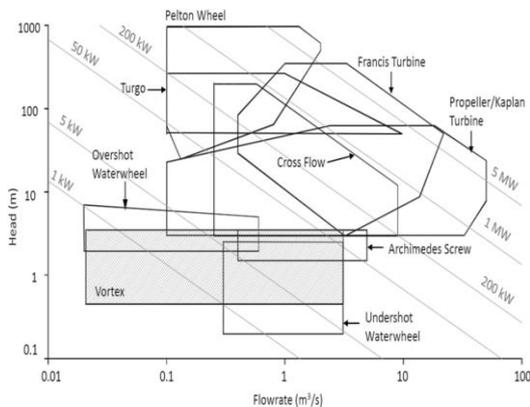
2.3 *Turbin Air*

Turbin air adalah sebuah bidang yang digunakan dalam konversi energi yang berasal dari aliran air menjadi gerakan, melalui perbedaan ketinggian menyebabkan muncul energi potensial. Energi potensial tersebut berubah menjadi energi kinetik saat air mengalir pada pipa. Pada turbin, energi

kinetik air dikonversi dan dijadikan energi mekanis, dengan aliran air yang menabrak turbin. Turbin air dibagi berdasarkan prinsip kerjanya yaitu turbin impuls dengan mengubah potensi energi air yang dijadikan energi kinetik pada *nozzel*. Selain turbin impuls, ada turbin reaksi dengan prinsip kerja energi pada *inlet* tidak seluruhnya menjadi energi kinetik. Saat turbin bersentuhan dengan air terjadi perubahan energi tekan menjadi energi kinetik. Sisi masuk turbin tekanannya lebih tinggi dari tekanan pada sisi keluar turbin. Beberapa contoh dari turbin reaksi adalah turbin kaplan, turbin francis, dan turbin vortex [8].

2.4 Turbin Vortex

Turbin Vortex adalah turbin dengan pusaran air yang berperan sebagai perantara energi terhadap perbedaan ketinggian sehingga terjadi perbedaan tekanan pada bagian poros dan sisi luar. Turbin ini baik diaplikasikan pada rentang jatuh air / *head* rendah. Rentang ketinggian air dengan saluran keluar dan dibantu basin yang dibuat melingkar membantu menciptakan gerakan pusaran air [9].



Gambar 1. Karakteristik Turbin Vortex Berdasarkan Debit dan Head

2.5 Perencanaan Turbin Vortex

Perencanaan turbin vortex memerlukan rumus – rumus untuk memperkirakan ukuran desain turbin yang akan dibentuk agar menghasilkan output yang maksimal. Berikut rumus – rumus dalam yang digunakan untuk membuat desain turbin vortex [10].

- a. Kecepatan turbin berdasarkan debit air (nq)

$$nq = n \times \frac{\sqrt{Q}}{H^{0.75}} \tag{1}$$

Keterangan :

n = Putaran yang Direncanakan (rpm)

Q = Debit Air (m^3/s)

H = Head (m)

- b. Kecepatan tangensial masuk sudu pada sisi luar sudu ($u1$)

$$u1 = u^*1 \times \sqrt{2 \times g \times H} \tag{2}$$

Keterangan :

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

- c. Kecepatan tangensial masuk sudu pada leher poros (uN)

$$uN = u^*N \times \sqrt{2 \times g \times H} \tag{3}$$

- d. Diameter luar *runner* (D_1)

$$D_1 = \frac{60 \times u1}{\pi \times n} \tag{4}$$

Keterangan :

$\pi = 3,14$

- e. Diameter leher poros (D_N)

$$D_N = \frac{60 \times uN}{\pi \times n} \tag{5}$$

- f. Lebar *runner* (B_x)

$$B_x = \frac{D_1}{2} - \frac{D_N}{2} \tag{6}$$

- g. Jarak Antar Sudu (K)

$$K = \frac{\pi D_N}{N} \tag{7}$$

Keterangan :

N = Jumlah Sudu

- h. Luas Sudu Turbin (A)

$$A = N \times 38,96 \tag{8}$$

- i. Debit Air (Q)

$$Q = \frac{V}{t} \tag{9}$$

Keterangan :

V = Volume bejana (liter)

t = Waktu memenuhi bejana (s)

2.6 Daya, Torsi dan Efisiensi

Daya hidrolisis adalah potensi daya dari aliran air pada ketinggian tertentu. Daya hidrolisis pada *prototype* didapat dari aliran air buatan menggunakan pompa [11]. Daya hidrolisis pada turbin vortex dihitung dengan :

$$P_H = \rho \times g \times Q \times H \tag{10}$$

Keterangan :

P_H = Potensi Daya Air (Watt)

ρ = Massa Jenis Air (kg/m^3)

Daya output dari generator dapat dihitung dengan [6].

$$P_G = V \times I \tag{11}$$

Keterangan :

P_G = Daya Output Generator (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Putaran poros akan menghasilkan torsi yang diukur dengan gaya keluaran pada titik terluar poros. Gaya ini dikatakan menjadi beban (*load*) [10]. Untuk dapat menentukan besar torsi yang dihasilkan dapat menggunakan persamaan (12)

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{N}{60}} \quad (12)$$

Keterangan:

T = Torsi (Nm)

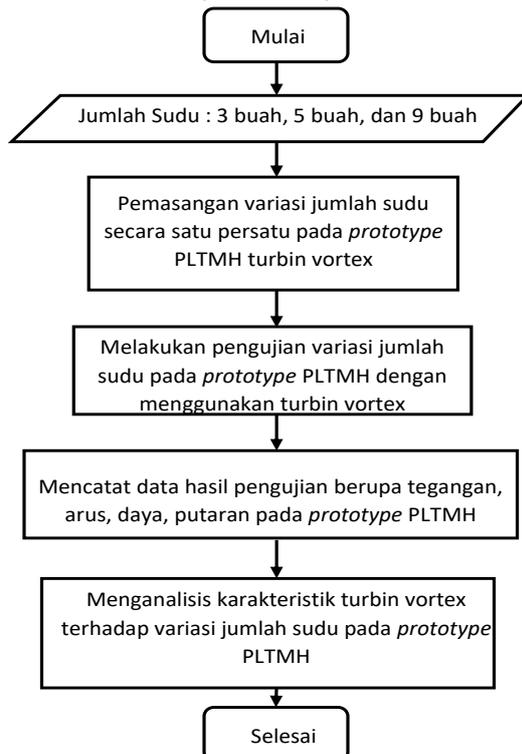
Efisiensi sistem adalah tingkat peralatan pembangkit dapat bekerja sesuai dengan perancangan sebelumnya [11]. Perhitungan efisiensi menggunakan persamaan (12) berikut :

$$\eta_{PLTMH} = \frac{P_G}{P_H} \times 100\% \quad (13)$$

η_{PLTMH} = Efisiensi Sistem PLTMH (%)

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan pengujian setiap variasi jumlah sudu yang dibandingkan dengan karakteristik keluaran. Analisis Data dapat dilihat pada Gambar 3:



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Berikut penjelasan pada Gambar 3 :

Tahapan pengujian variasi jumlah sudu terhadap karakteristik turbin vortex diawali dengan mempersiapkan seluruh variasi jumlah sudu yang direncanakan untuk diuji dalam penelitian. Air di tampung di dalam box berukuran 90 liter yang akan dipompa melalui pipa 1,5 dim menuju ke basin berbentuk tabung mengerucut yang diharapkan dapat menciptakan gerakan memutar pada air untuk menggerakkan turbin. Kecepatan putaran turbin per menit akan diukur menggunakan tachometer yang diarahkan ke poros turbin. Selanjutnya turbin akan dikopel dengan generator menggunakan pulley dengan perbandingan 9 pada pulley turbin dan 1 untuk pulley generator. Generator yang dikopel dengan turbin akan memutar poros generator sehingga menghasilkan nilai putaran yang diukur dengan tachometer. Generator yang berputar akan menghasilkan parameter berupa tegangan yang diukur dengan voltmeter yang selanjutnya akan dibebankan lampu untuk mendapatkan parameter arus yang dihasilkan generator dengan merangkai seri amperemeter antara generator dan lampu. Pengujian dilakukan secara satu persatu untuk setiap variasi sudu dengan jumlah 3 buah, 5 buah, dan 9 buah. Hasil pengujian yang didapatkan berupa nilai putaran turbin, nilai putaran generator, besar tegangan, arus, daya output generator, torsi, dan efisiensi sistem PLTMH.

Nilai yang didapat dari hasil pengujian selanjutnya dianalisis dalam bentuk grafik *prototype* sistem PLTMH terhadap variasi jumlah sudu. Analisa juga dilakukan pada efisiensi *prototype* PLTMH dengan menggunakan turbin vortex dan menentukan efisiensi tertinggi dari variasi jumlah sudu yang digunakan dengan membandingkan daya hidrolisis yang dihitung dengan daya output generator yang telah dihitung.

Penelitian ini menggunakan metode analisis data secara kuantitatif yang diperoleh dari hasil setiap pengujian yang dilakukan sebanyak 3 kali pengukuran

setiap variasi jumlah sudu 3 buah, 5 buah, dan 9 buah dengan menggunakan debit air yang konstan yaitu 0,0045 m³/s atau 4,5 liter per detik yang didapat dengan mengisi air dari box 90 liter menuju wadah kosong bervolume 24 liter menggunakan pompa hingga box 24 liter terisi penuh. Hasil yang diperoleh merupakan waktu yang diperlukan untuk mengisi wadah. Pada percobaan, didapat waktu 5,27 detik untuk mengisi penuh wadah sehingga didapat nilai debit 4,5 liter per detik dengan menggunakan persamaan (9). Pada penelitian ini, menggunakan generator DC dengan model ZYT3424 berkapasitas 30 Watt. Generator memiliki spesifikasi tegangan maksimum sebesar 120 Volt pada kecepatan 2000 rpm.

Setelah melakukan pengujian terhadap *prototype* yang dibuat, maka didapatkan hasil pengujian yang akan dianalisis dan dibandingkan berdasarkan dengan teori-teori yang diperoleh dari jurnal atau buku yang dijadikan acuan pada penelitian ini. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui apakah hasil pengujian pada penelitian ini dapat digunakan untuk menjelaskan perubahan nilai putaran turbin, nilai putaran generator, besar tegangan, arus, daya *output* generator, torsi, dan efisiensi sistem PLTMH dengan menggunakan turbin vortex berdasarkan variasi jumlah sudu. Perencanaan turbin vortex dijabarkan pada pembahasan berikut.

Tabel 1. Data Perancangan *Prototype* PLTMH

No.	Parameter	Ukuran
1.	<i>Head</i>	0.3 m
2.	<i>Volume Box</i>	0.09 m ³
3.	Diameter Pipa	0.038 m
4.	Tinggi Rangka	0.6 m
5.	Lebar Rangka	0.5 m
6.	Debit Air	0.0045 m ³ /s

a. Analisis kecepatan spesifik turbin berdasarkan debit aliran air (nq)

$$nq = 300 \times \frac{\sqrt{0.0045}}{0.3^{0.75}} = 4,96 \text{ m/s}$$

b. Analisis kecepatan tangensial masuk sudu pada sisi luar sudu ($u1$)

$$u1 = 1 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 0.3} = 2,42 \text{ m/s}$$

c. Analisis kecepatan tangensial masuk sudu pada leher poros (uN)

$$uN = 0.7 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 0.3} = 1,69 \text{ m/s}$$

d. Ukuran diameter Luar Runner (D_1)

$$D_1 = \frac{60 \times 2.42}{3.14 \times 300} = 15 \text{ cm}$$

e. Ukuran diameter leher poros (D_N)

$$D_N = \frac{60 \times 0.5}{3.14 \times 360} = 5 \text{ cm}$$

f. Ukuran Lebar Runner (B_x)

$$B_x = \frac{0.15}{2} - \frac{0.05}{2} = 5 \text{ cm}$$

g. Jarak Antar Sudu (K)

1. 3 Buah Sudu

$$K = \frac{3,14 \times 5}{3} = 5,23 \text{ cm}$$

2. 5 Buah Sudu

$$K = \frac{3,14 \times 5}{5} = 3,14 \text{ cm}$$

3. 9 Buah Sudu

$$K = \frac{3,14 \times 5}{9} = 1,74 \text{ cm}$$

h. Luas Sudu Turbin (A)

1. 3 Buah Sudu

$$A = 3 \times 38,96 = 116,88 \text{ cm}^2$$

2. 5 Buah Sudu

$$A = 3 \times 38,96 = 194,80 \text{ cm}^2$$

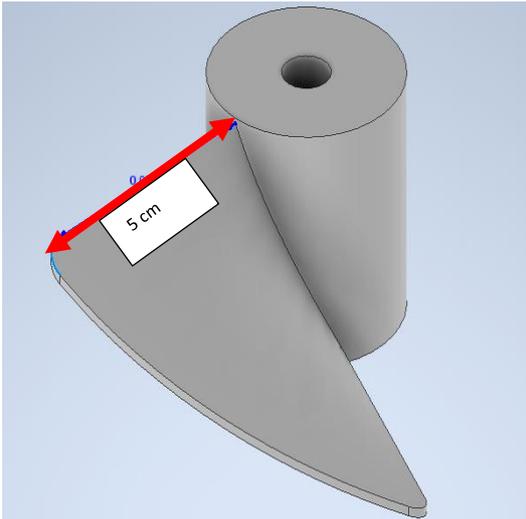
3. 9 Buah Sudu

$$A = 9 \times 38,96 = 350,64 \text{ cm}^2$$

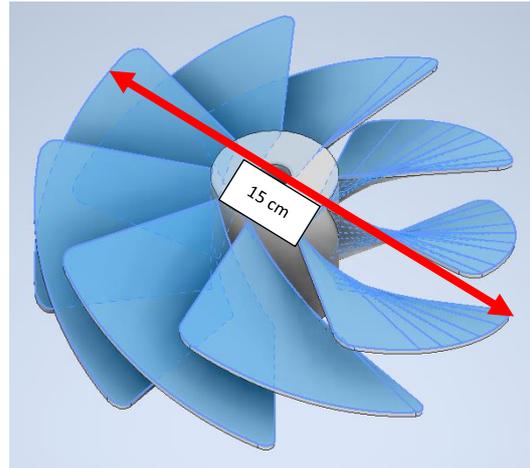
i. Debit Air (Q)

$$Q = \frac{24}{5,27} = 4,5 \text{ l/s}$$

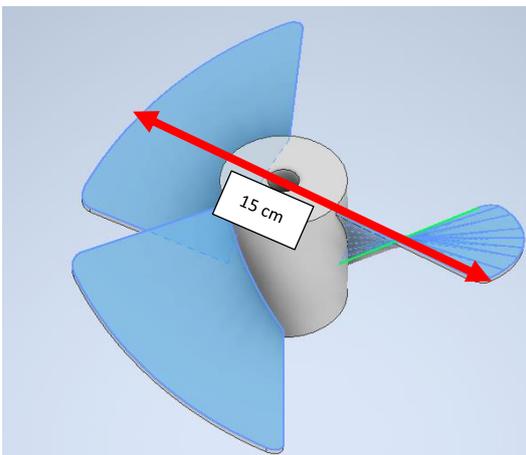
Desain awal *prototype* PLTMH dibuat menggunakan komputer atau laptop dengan aplikasi program Autodesk Inventor Professional 2022, sebelum nantinya *prototype* akan dibangun. Pada *prototype* ini digunakan turbin dengan diameter luar 15 cm, diameter leher 5 cm dan lebar sudu sebesar 5 cm. Bahan yang digunakan untuk membuat runner pada *prototype* PLTMH yaitu menggunakan PLA filamen yang dicetak menggunakan 3D *printing*.



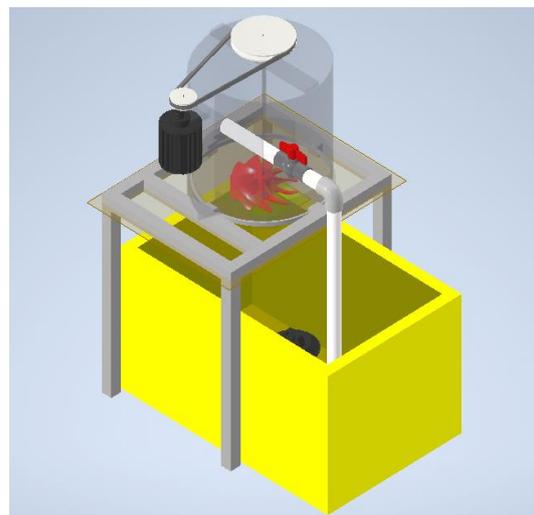
Gambar 4. Ukuran Lebar Runner



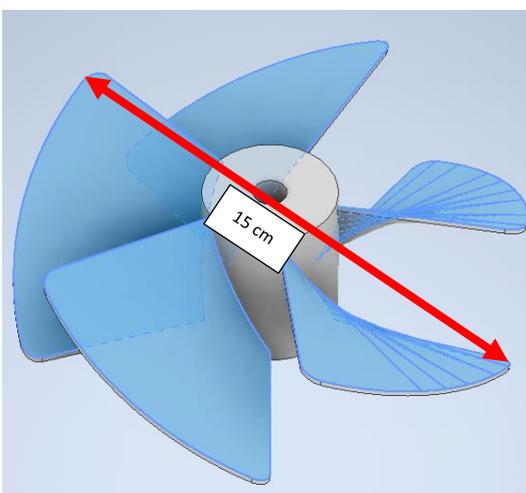
Gambar 7. Desain Turbin Vortex dengan Jumlah Sudu 9 Buah



Gambar 5. Desain Turbin Vortex dengan Jumlah Sudu 3 Buah



Gambar 8. Desain *Prototype* PLTMH dengan Turbin Vortex

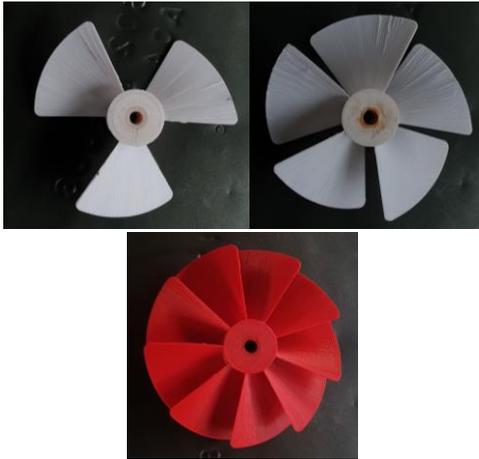


Gambar 6. Desain Turbin Vortex dengan Jumlah Sudu 5 Buah

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Realisasi *Prototype* PLTMH dengan Menggunakan Turbin Vortex

Pada penelitian yang ini, jarak antar sudu pada turbin berjumlah 3 buah sudu dengan jarak setiap sudu pada poros sebesar 5,23 cm dan membentuk sudut 120° , variasi kedua jumlah sudu 5 buah dengan jarak setiap sudu pada poros sebesar 3,14 cm dan membentuk sudut 72° dan variasi jumlah sudu 9 buah dengan jarak setiap sudu pada poros sebesar 1,74 cm dan membentuk sudut 40° . Gambar 9 dan 10 menampilkan realisasi turbin dan *prototype* PLTMH



Gambar 9. Realisasi Turbin Vortex dengan Variasi Jumlah Sudu



Gambar 10. Realisasi *Prototype* PLTMH dengan Menggunakan Turbin Vortex

4.2 Pengujian Variasi Jumlah Sudu Turbin Vortex Terhadap Karakteristik *Prototype* PLTMH

Pengukuran *prototype* PLTMH dengan turbin vortex bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari setiap variasi jumlah sudu terhadap kinerja *prototype*. Karakteristik yang diukur meliputi kecepatan putaran, tegangan, dan arus. Serta melakukan perhitungan pada hingga daya *output*, torsi, hingga efisiensi yang dihasilkan *prototype* PLTMH.

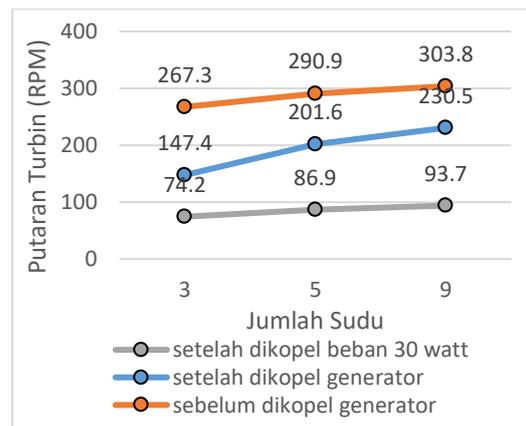
4.2.1 Pengukuran Putaran Turbin

Putaran turbin terjadi karena perbedaan ketinggian air yang mengalir sehingga menyebabkan putaran dan menabrak turbin sehingga menyebabkan turbin bergerak dan diukur dengan tachometer yang diarahkan ke poros turbin. Pengukuran pada turbin vortex ini bertujuan

untuk mengetahui berapa banyak putaran yang dihasilkan dari rancangan turbin yang telah direalisasikan pada penelitian ini.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Putaran Turbin

Jumlah Sudu	Rata-rata Putaran Turbin		
	Sebelum Dikopel Generator	Setelah Dikopel Generator	Setelah Dikopel Beban
3	267,3	147,4	74,2
5	290,9	201,6	86,9
9	303,8	230,5	93,7



Gambar 11. Grafik Perubahan Putaran Turbin Berdasarkan Variasi Jumlah Sudu

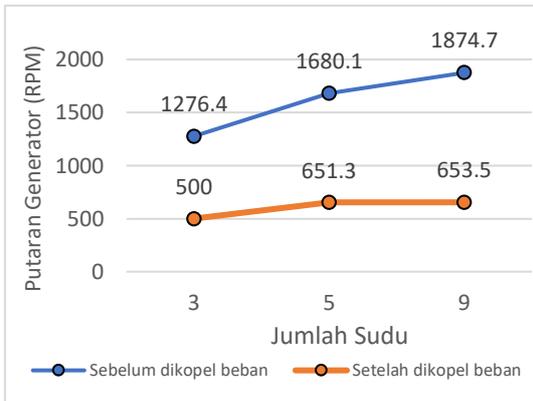
Berdasarkan Gambar 11, terjadi peningkatan nilai putaran turbin dimulai dengan jumlah sudu 3 buah hingga dengan jumlah sudu 9 buah. Hal ini dikarenakan bidang turbin yang ditabrak oleh air lebih banyak, energi kinetik air dapat menciptakan gaya dorong yang memutar turbin sehingga mendapat nilai putaran yang maksimal pada turbin dengan jumlah sudu 9 buah, dengan kondisi belum dikopel generator maupun sudah dikopel dengan generator.

4.2.2 Pengukuran Putaran Generator

Putaran generator diukur menggunakan tachometer yang diarahkan pada ash generator. Pada pengujian ini menggunakan rasio pulley turbin berbanding *pulley* generator dengan perbandingan 9 : 1. Artinya ketika *pulley* pada turbin berputar satu kali maka *pulley* generator akan berputar sembilan kali. Putaran generator diukur untuk mengetahui banyaknya putaran generator saat sebelum dikopel dan setelah dikopel dengan beban.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Putaran Generator

No	Jumlah Sudu	Rata-rata putaran generator (RPM)	
		Sebelum dikopel beban	Sesudah dikopel beban 30 watt
1	3	1276,4	500
2	5	1680,1	651,3
3	9	1847,7	653,5



Gambar 12. Grafik Perubahan Putaran Generator Berdasarkan Variasi Jumlah Sudu

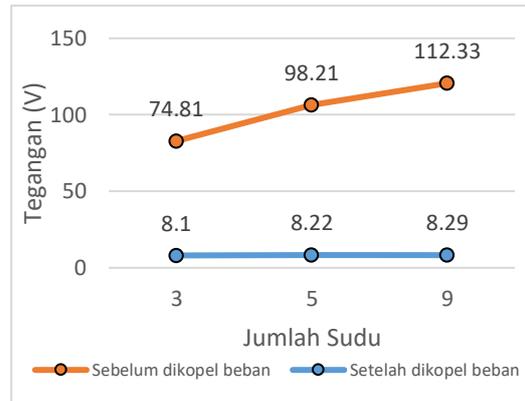
Berdasarkan Gambar 12, terjadi peningkatan nilai putaran generator pada turbin dimulai dengan jumlah sudu 3 buah hingga dengan jumlah sudu 9 buah. Hal ini dikarenakan nilai putaran turbin yang meningkat sehingga putaran pada generator yang dikopel juga meningkat.

4.2.3 Pengukuran Tegangan Output Generator

Generator yang berputar akibat dikopel dengan turbin akan menghasilkan tegangan. Pengukuran tegangan output generator bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan yang dihasilkan pada *prototype* PLTMH dengan turbin vortex. Pengukuran dilakukan dengan 2 tahap yaitu pada kondisi tidak dikopel beban dan kondisi dikopel dengan beban sebesar 30 Watt. Pengukuran ini juga dilakukan untuk mengetahui perubahan tegangan yang terjadi akibat perbedaan variasi jumlah sudu yang diujikan. Tegangan *output* pada generator diukur menggunakan voltmeter DC.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Tegangan Output Generator

No	Jumlah Sudu	Rata-rata Tegangan Generator (V)	
		Sebelum dikopel beban	Sesudah dikopel beban 30 Watt
1	3	74,81	8,1
2	5	98,21	8,22
3	9	112,33	8,29



Gambar 13. Grafik Perubahan Tegangan Output Generator Berdasarkan Variasi Jumlah Sudu

Berdasarkan Gambar 13, terjadi peningkatan tegangan generator pada turbin dimulai dengan jumlah sudu 3 buah hingga dengan jumlah sudu 9 buah. Hal ini dikarenakan semakin besar nilai putaran turbin maka putaran pada generator yang dikopel juga meningkat sehingga tegangan output generator meningkat. Pada penelitian ini, terjadi penurunan tegangan output pada generator setelah pembebanan. Hal ini dikarenakan generator dibebankan lampu 30 Watt sehingga putaran generator melambat dan menyebabkan tegangan lampu menurun.

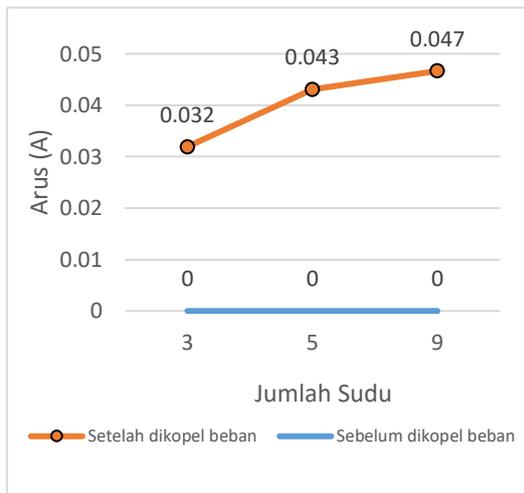
4.2.4 Pengukuran Arus Generator

Pengukuran arus generator dilakukan dalam dua tahap, yaitu pengukuran arus pada saat generator tidak dikopel dengan beban dan saat generator dikopel dengan beban lampu 30 Watt. Pengukuran arus dilakukan untuk mengetahui perubahan nilai arus berdasarkan variasi jumlah sudu. Arus generator diukur dengan amperemeter yang

dihubung seri antara generator dengan beban.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Arus Generator

No	Jumlah Sudu	Rata-rata Arus Generator (A)	
		Sebelum dikopel beban	Sesudah dikopel beban 30 watt
1	3	-	0,032
2	5	-	0,043
3	9	-	0,047



Gambar 13. Grafik Perubahan Arus Generator Berdasarkan Variasi Jumlah Sudu

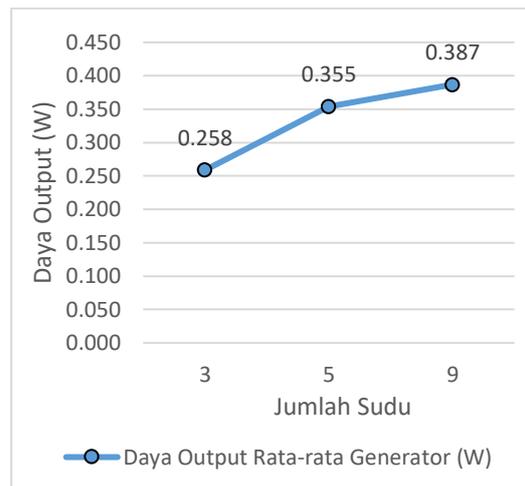
Gambar 13 merupakan visualisasi dari pengukuran arus *output* generator dari masing-masing variasi jumlah sudu. Berdasarkan pengukuran yang dilakukan, semakin tinggi nilai putaran generator maka terjadi juga peningkatan pada arus.

4.2.5 Perhitungan Daya Output Generator

Perhitungan daya *output* generator dilakukan untuk mendapatkan data dari daya yang dihasilkan generator setelah dikopel dengan beban lampu 30 Watt. Daya *output* generator didapat dengan mengalikan tegangan generator dan arus yang dihasilkan generator sesuai dengan persamaan. (11)

Tabel 6. Hasil Perhitungan Daya Output Generator

No	Jumlah Sudu	Tegangan Rata-rata Generator (V)	Arus Rata-rata Generator (A)	Daya Output Rata-rata Generator (W)
1	3	8,1	0,031	0,258
2	5	8,22	0,043	0,355
3	9	8,29	0,047	0,387



Gambar 14. Grafik Perubahan Daya Output Generator Berdasarkan Variasi Jumlah Sudu

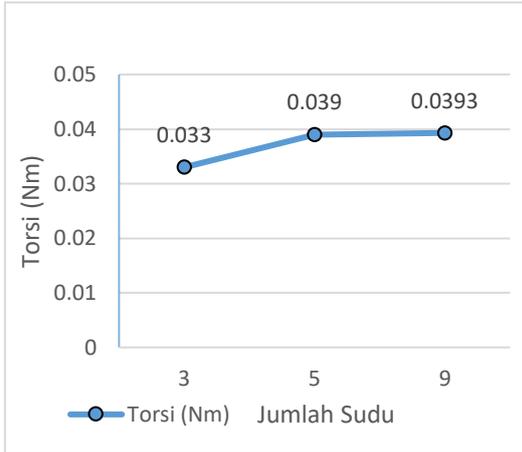
Berdasarkan visualisasi grafik pada Gambar 14, didapat hasil perubahan daya *output* dengan berubahnya jumlah sudu yang digunakan. Pada percobaan yang dilakukan, jumlah sudu 9 buah memberikan daya output tertinggi.

4.2.6 Perhitungan Torsi

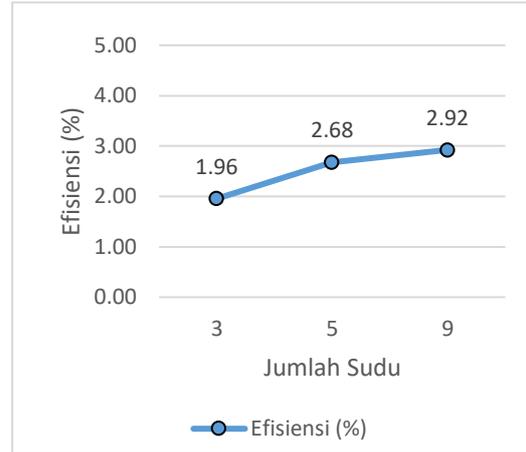
Gaya dorong yang terjadi pada turbin adalah torsi sehingga menyebabkan perputaran turbin, dalam hal ini akan melakukan rotasi. Besarnya torsi yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan persamaan. (12)

Tabel 7. Hasil Perhitungan Torsi

No	Jumlah Sudu	Torsi (Nm)
1	3	0,033
2	5	0,039
3	9	0,0393



Gambar 15. Grafik Perubahan Torsi Berdasarkan Variasi Jumlah Sudu



Gambar 16. Grafik Perubahan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Sistem

Berdasarkan visualisasi grafik pada Gambar 15, didapat hasil perubahan nilai torsi dengan berubahnya jumlah sudu yang digunakan. Pada percobaan yang dilakukan, turbin dengan variasi jumlah sudu 9 buah menghasilkan torsi tertinggi dari variasi lainnya. Hasil ini dibatasi pada kondisi yang ada pada sistem PLTMH dengan menggunakan turbin vortex.

Berdasarkan visualisasi grafik pada Gambar 16, didapat hasil perubahan nilai efisiensi dengan berubahnya jumlah sudu yang digunakan. Pada percobaan yang dilakukan, turbin dengan variasi jumlah sudu 9 buah menghasilkan efisiensi tertinggi dari variasi jumlah sudu lainnya. Hasil ini dibatasi pada kondisi yang ada pada sistem PLTMH dengan menggunakan turbin vortex.

4.3 Efisiensi Sistem *Prototype* PLTMH dengan Menggunakan Turbin Vortex

4.3.1 Perhitungan Daya Hidrolisis

Dalam pemodelan PLTMH ini, daya hidrolisis diasumsikan daya input ideal dari sistem PLTMH. Ketinggian jatuh air pada sistem sebesar 0,3 m, debit aliran air di dalam pipa sebesar 0,0045 m³/s, masa jenis air sebesar 1000 kg/m³ dan percepatan gravitasi bumi sebesar 9,8 m/s². Seluruh variabel dihitung dengan menggunakan persamaan (13) dan didapat hasil sebagai berikut.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Efisiensi

Jumlah Sudu	Daya Hidrolisis (W)	Daya Output (W)	Efisiensi Sistem PLTMH (%)
3	13,23	0,258	1,96
5	13,23	0,355	2,68
9	13,23	0,387	2,92

5. KESIMPULAN

Simpulan yang didapat berdasarkan pengujian dan pembahasan yang dilakukan pada *prototype* PLTMH dengan menggunakan turbin vortex adalah sebagai berikut :

1. Keluaran atau *output* dari *prototype* PLTMH dengan menggunakan turbin vortex sangat dipengaruhi oleh jumlah sudu pada turbin yang dipasangkan pada sistem. Keadaan ini didasari pada sistem yang identik atau tidak terjadi perubahan debit maupun kondisi-kondisi lainnya selain turbin dengan variasi jumlah sudu. Pada hasil data yang telah didapatkan, terjadi peningkatan pada data yang diukur maupun dihitung setelah penggantian turbin ke jumlah sudu yang lebih banyak. Hal ini disebabkan area turbin yang didorong oleh air lebih banyak seiring pertambahan jumlah sudu yang diberikan pada turbin vortex. Berdasarkan percobaan yang dilakukan, variasi jumlah sudu terbaik yang dirancang pada *prototype* PLTMH dengan

menggunakan turbin vortex yaitu pada turbin berjumlah sudu 9 buah memperoleh parameter *output* yang didapatkan dengan menggunakan pengaturan tersebut adalah putaran turbin sebelum dikopel generator sebesar 303,8 rpm, putaran turbin setelah dikopel generator sebesar 230.5 rpm, putaran generator sebesar 653.5 rpm, tegangan sebesar 8.29 Volt, arus sebesar 0.046 Ampere, daya generator sebesar 0.387 Watt.

2. Karakteristik *output* dari prototype PLTMH dengan menggunakan turbin vortex adalah dasar dari perhitungan efisiensi yang dilakukan. Dengan bertambahnya jumlah sudu turbin menyebabkan karakteristik *output* prototype PLTMH meningkat. Pada penelitian yang dilakukan, efisiensi tertinggi terjadi saat debit air 4,5 liter per detik, *head* setinggi 0.3 meter pada turbin dengan jumlah sudu 9 buah yaitu sebesar 2,92%.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementrian ESDM. 2021. Peta Potensi Energi Hidro di Indonesia. Balai Besar Survei dan Pengujian Ketenagalistrikan Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi.
- [2] I. N. S. Kumara, W. G. Ariastina, I. W. Sukerayasa and I. A. D. Giriantari, "On the potential and progress of renewable electricity generation in Bali," 2014 6th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), Yogyakarta, 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICITEED.2014.7007944.
- [3] Putu Diana Sari, I. N. S. Kumara, The Development of Jatiluwih Micro-Hydro Power Plants To Support Tourism Destinations, International Student Conference on Electrical and Computer Engineering (ISCECE 2018), p 9-14, Bali, Indonesia 2018
- [4] LAKSANA, Dewa Putu Ari; GIRIANTARI, Ida Ayu Dwi; SATYA KUMARA, I Nyoman. Redesain Turbin 175 KW Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Desa Mekar Sari Buleleng Bali. Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, [S.l.], v. 19, n. 2, p. 241-248, dec. 2020. ISSN 2503-2372.
- [5] Suwoto, G., Supriyo. 2018. Pembuatan Turbin Vortex Dengan Sudu Pipa Belah Tiga Dengan Sudut Kemiringan Sudu 45°. Jurnal Teknik Energi Vol 14 No. 3.
- [6] Apriansyah, dkk. 2016. Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Mikrohidro (PLTMH) pada Pipa Saluran Pembuangan Air Hujan Vertikal. E-Proceeding of Engineering : Vol.3, No.1
- [7] Sitompul, R. 2011. Teknologi Energi Terbarukan yang Tepat untuk Aplikasi di Masyarakat Perdesaan. Jakarta : PNPM Mandiri.
- [8] Gibran, Gulom, S., Lubis, Z., Sembiring, P. G. 2017. Rancang Bangun Turbin Vortex Dengan Casing Berpenampang Lingkaran Yang Menggunakan Sudu Diameter 46 Cm Pada 3 Variasi Jarak Antara Sudu Dan Saluran Keluar. Jurnal Dinamis, Volume.5, No.2 Juni 2017.
- [9] Timilsina, A.B., Mulligan, S., Bajracharya, T. R. 2018. *Water Vortex Hydropower Technology: A State-Of-The-Art Review Of Developmental Trends. Clean Technologies and Environmental Policy* (2018) 20:1737–1760.
- [10] Putra, I G. W., Weking A. I., Jasa L. 2018. Analisa Pengaruh Tekanan Air Terhadap Kinerja PLTMH dengan Menggunakan Turbin Archimedes Screw. Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, 17 (3) : 385-392.
- [11] Sihaloho, D.L. 2017. Rancang Bangun Alat Uji Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan Turbin Aliran Silang. Bandar Lampung : Universitas Lampung.