

# RANCANG BANGUN *PROTOTYPE* TURBIN VORTEX UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)

Gede Pudja Dianda Mayapada<sup>1</sup>, Lie Jasa<sup>2</sup>, I Made Suartika<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

<sup>2</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

<sup>3</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec. Kuta Sel., Kabupaten Badung, Bali

Email: [gedepudja@gmail.com](mailto:gedepudja@gmail.com)<sup>1</sup>, [liejasa@unud.ac.id](mailto:liejasa@unud.ac.id)<sup>2</sup>, [madesuartika@unud.ac.id](mailto:madesuartika@unud.ac.id)<sup>3</sup>

## ABSTRAK

PLTMH merupakan sebuah pembangkit listrik bertenaga air yang berjenis *run of river*, dimana pada pembangkit listrik jenis ini tidak memerlukan bendungan atau debit air yang besar, melainkan mengalihkan laju aliran air ke suatu saluran. Turbin vortex memanfaatkan sebuah pusaran air yang dibentuk dari basin untuk mendorong turbin agar dapat berputar. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui rancang bangun dari *prototype* PLTMH menggunakan turbin vortex. *Prototype* ini berskala miniatur atau laboratorium. Penelitian ini dirancang sebagai pemodelan *prototype* PLTMH menggunakan turbin vortex yang berguna untuk pembelajaran sebelum diimplementasikan langsung di sungai. Dalam penelitian ini *prototype* PLTMH dengan turbin Vortex dirancang dengan head 0,3 m, pipa masukan 1,5 dim, debit air sebesar 4,5 L/s, basin dengan diameter atas 40 cm, tinggi 40 cm dan outlet 12 cm serta sudut cone 41°. Desain sudu penggerak (*runner blade*) mempunyai 9 bilah sudu dengan diameter luar *runner* 15 cm, diameter leher *runner* 5 cm, dan lebar *runner* sebesar 5 cm. *Prototype* ini dapat menghasilkan daya sebesar 0,387 Watt serta mempunyai efisiensi sebesar 2,93%.

**Kata kunci** : *Prototype* PLTMH, Vortex, Turbin

## ABSTRACT

*MHPP is a run of river hydroelectric power plant type, that does not require a large dam or water discharge, but rather diverts the flow rate of water into a channel. Vortex turbine utilizes whirlpool of water obtained from the spiral basin shape to push the turbine to rotate. The reason of this research was to decide the design of the MHPP prototype using a vortex turbine. This prototype is a miniature or laboratory scale. This research is designed to model the MHPP prototype using a Vortex turbine which is helpful for learning before it is implemented directly to the river. In this study, the prototype MHPP with vortex turbine was designed with a 0.3 m head, 1.5 dim input pipe, 4.5 L/s water flow, basin with an upper diameter of 40 cm, 40 cm height and 12 cm outlet and 41° cone angle. The runner blade design has 9 blades with a runner outer diameter of 15 cm, 5 cm neck diameter, and 5 cm runner width. This prototype is able to generate power of 0.387 Watt and has an efficiency of 2.93%.*

**Key Words** : *Prototype* MHPP, Vortex, Turbine

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik selalu mengalami peningkatan seiring dengan terjadinya kemajuan teknologi dan pertumbuhan ekonomi. Listrik mempermudah pekerjaan manusia hampir disegala sektor. Berdasarkan PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, pemerintah mendorong penggunaan Energi Baru

Terbarukan (EBT) dan membatasi penggunaan energi fosil. Peningkatan ini dapat menyebabkan krisis energi listrik jika tidak diikuti dengan penyediaan pembangkit listrik yang sepadan [1].

PLTMH tidak membutuhkan debit air yang dari suatu bendungan (dam), melainkan dapat dengan mengalihkan laju aliran air dengan memanfaatkan beda tinggi

yang diperlukan untuk membuat aliran air jatuh yang akan membuat air dapat mendorong sudu turbin agar turbin dapat berputar [2]. Energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin akan dialirkan ke sebuah generator untuk mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan dapat membantu memenuhi kebutuhan listrik di sekitar PLTMH.

Turbin vortex menggunakan bentuk spiral basin untuk membuat pusaran air yang akan mendorong turbin. Turbin vortex bekerja dengan cara memanfaatkan jatuh air (*head*) dengan tinggi yang telah ditentukan sebelumnya. Turbin vortex juga memiliki kelebihan yaitu dapat bekerja dengan debit air yang kecil. [3].

Pada penelitian ini akan membahas mengenai rancang bangun dari Prototype PLTMH dengan turbin vortex. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat menghasilkan daya output yang dihasilkan serta dapat dimanfaatkan pada pemukiman ataupun dalam bidang pertanian atau perkebunan yang mempunyai aliran air irigasi ataupun sungai.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 PLTMH

PLTMH atau Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dapat bekerja menggunakan debit air yang kecil sebagai sumber energi untuk dapat menggerakkan turbin yang dikonversikan menjadi tenaga listrik berskala kecil [1]. Air yang digunakan pada PLTMH harus mempunyai aliran air jatuh (*head*) tertentu seperti sungai, saluran irigasi ataupun air terjun. PLTMH berjenis pembangkit air run of river, dimana debit air yang dibutuhkan tidak diperoleh dari suatu dam, melainkan dengan mengalihkan laju aliran air irigasi atau sungai ke sisinya dan memanfaatkan beda tinggi yang diperlukan untuk membuat aliran air jatuh yang akan membuat air dapat memutar sudu turbin, air tersebut kemudian dikembalikan ke asalnya. Dari putaran turbin akan dihasilkan energi mekanik yang dialirkan juga ke generator. Energi mekanik akan dikonversikan oleh generator menjadi energi listrik.

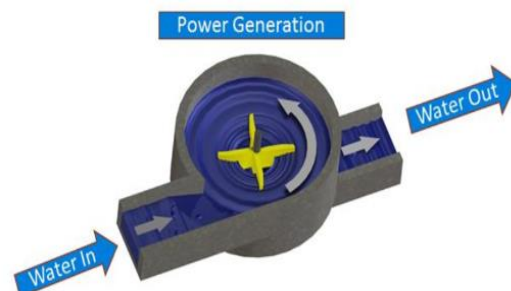
### 2.2 Turbin Vortex

Sistem kerja utama dari turbin vortex yaitu dengan menggunakan pusaran air sebagai daya utama untuk mendorong sudu turbin agar dapat berputar. Turbin ini biasanya digunakan pada daerah - daerah yang rata atau tidak memiliki ketinggian jatuh (*head*). Turbin vortex memanfaatkan gaya gravitasi yang dibuat oleh basin agar dapat membuat pusaran air. Turbin vortex pertama kali diperkenalkan oleh Franz Zotloterer, seorang insinyur asal Austria [4].



Gambar 1. Turbin Vortex

Prinsip kerja dari PLTMH dengan turbin vortex adalah air dialirkan menuju sebuah inlet yang disalurkan menuju basin yang berbentuk lingkaran ataupun seperti corong yang kemudian air akan bergerak memutar seperti pusaran air, pusaran air tersebut akan mendorong sudu turbin agar turbin dapat berputar (Gambar 2). Basin mempunyai outlet untuk keluarnya air, diameter outlet pasti lebih kecil dibandingkan dengan diameter atas pada basin [5].



Gambar 2. Skema dari PLTMH dengan Turbin Vortex

### 2.3 Perencanaan Turbin Vortex

Dalam perancangan pembuatan PLTMH menggunakan turbin vortex, dibutuhkan rumus-rumus untuk memperkirakan ukuran desain yang akan direalisasikan nantinya agar mendapatkan output yang maksimal [6][7].

- a. Kecepatan turbin berdasarkan debit air ( $nq$ )

$$nq = n \times \frac{\sqrt{Q}}{H^{0.75}} \quad (1)$$

Dimana,  
 $n$  = Kecepatan direncanakan (RPM)  
 $Q$  = Debit air ( $m^3$ /detik)  
 $H$  = Head (m)

- b. Kecepatan tangensial masuk sudu pada sisi luar sudu

$$u1 = u^*1 \times \sqrt{2 \times g \times H} \quad (2)$$

Dimana,  
 $g$  = Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )  
 $H$  = Head (m)

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

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

Dimana,  
 $g$  = Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )  
 $H$  = Head (m)

- d. Diameter luar runner ( $D_1$ )

$$D_1 = \frac{60 \times u1}{\pi \times n} \quad (4)$$

Dimana,  
 $u1$  = Kecepatan tangensial masuk sudu pada sisi luar sudu  
 $n$  = Kecepatan direncanakan (RPM)

- e. Diameter leher poros ( $D_N$ )

$$D_N = \frac{60 \times uN}{\pi \times n} \quad (5)$$

Dimana,  
 $uN$  = Kecepatan tangensial masuk sudu pada sisi luar sudu  
 $n$  = Putaran direncanakan (RPM)

- f. Lebar runner ( $B_x$ )

$$B_x = \frac{D_1}{2} - \frac{D_N}{2} \quad (6)$$

Dimana,  
 $D_1$  = Diameter luar runner  
 $D_N$  = Diameter leher poros

- g. Daya Hidrolisis

$$P_H = \rho \times g \times Q \times H \quad (7)$$

Dimana,  
 $P_H$  = Daya Hidrolis (Watt)  
 $\rho$  = Massa Jenis Air ( $kg/m^3$ )  
 $g$  = Percepatan Gravitasi ( $9,8m/s^2$ )  
 $Q$  = Debit Air ( $m^3/s$ )  
 $H$  = Tinggi Jatuh Air (m)

- h. Daya Output Generator

$$P_{out} = I \times V \quad (8)$$

Dimana,  
 $P_{out}$  = Daya Output Listrik (Watt)  
 $V$  = Tegangan (Volt)  
 $I$  = Arus (Ampere)

- i. Daya Turbin

$$P_T = 2\pi \times \frac{N}{60} \times T \quad (9)$$

Dimana,  
 $P_T$  = Daya Turbin (Watt)  
 $N$  = Kecepatan Turbin (RPM)  
 $T$  = Momen Gaya (Nm)

- j. Efisiensi

$$\eta_T = \frac{P_T}{P_H} \times 100\% \quad (10)$$

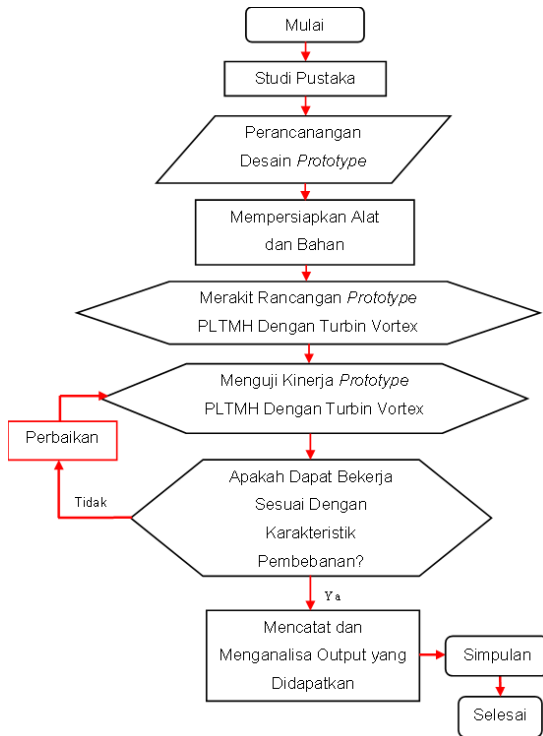
Atau

$$\eta_{PLTMH} = \frac{P_G}{P_H} \times 100\% \quad (11)$$

Dimana,  
 $\eta_T$  = Efisiensi Turbin  
 $\eta_{PLTMH}$  = Efisiensi sistem PLTMH  
 $P_T$  = Daya Turbin  
 $P_G$  = Daya Generator  
 $P_H$  = Daya Hidrolis

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Alur penelitian dari *prototype* PLTMH dengan turbin vortex dapat dilihat pada Gambar 3 :

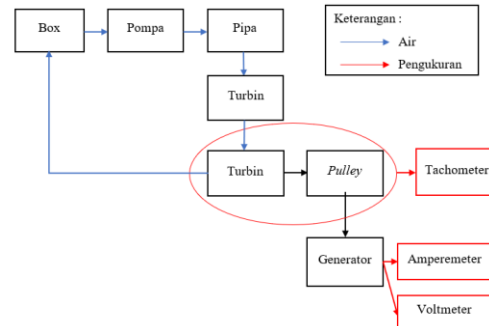


**Gambar 3.** Diagram alur penelitian

Penjelasan dari Gambar 3 yaitu penelitian ini diawali dengan mencari jurnal-jurnal terkait penelitian, mencari artikel-artikel terkait penelitian dan mencari referensi dari buku terkait penelitian. Selanjutnya mendesain rancangan *prototype* PLTMH dengan menggunakan turbin vortex, menentukan ukuran-ukuran dari setiap bagian *prototype* PLTMH dengan turbin Vortex dan menggambar desain 3D bagian-bagian *prototype* PLTMH turbin vortex. Selanjutnya mempersiapkan alat dan bahan yang sebelumnya sudah direncanakan untuk pembuatan *prototype*. Setelah mendapat alat dan bahan yang dibutuhkan tahap selanjutnya adalah merakit rancangan yang telah di desain sebelumnya. Setelah dirakit semua selanjutnya adalah menguji keberhasilan alat yang dirancang dengan menguji putaran dan keluaran tegangan dan arus dari generator, jika terdapat kesalahan pada hasil yang didapat maka akan dilakukan perbaikan serta pengujian ulang. Jika sudah mendapat hasil data selanjutnya mencatat data dari pengujian putaran generator dan turbin serta data arus dan tegangan dari

generator. Tahap terakhir adalah menganalisa dan membuat kesimpulan tentang *prototype* yang dibangun.

Gambar 4 akan menampilkan diagram alur dari sistem kerja *prototype* PLTMH dengan turbin vortex.



**Gambar 4.** Diagram Alur Pengujian Sistem Kerja Prototype PLTMH

Sistem kerja alat ini diawali dengan sebuah pompa yang mengalirkan air yang ditampung didalam box kemudian dialirkan melalui pipa menuju basin yang akan membuat pusaran air untuk mendorong turbin vortex agar dapat berputar. Putaran turbin akan memutar pulley turbin melalui poros as yang dimana pulley turbin ini juga terhubung pada pulley generator dengan belt, putaran pada kedua pulley diukur menggunakan tachometer untuk mengetahui kecepatan pada masing-masing pulley. Putaran pulley generator akan memutar generator agar generator mampu menghasilkan listrik. *Voltmeter* dan *Amperemeter* digunakan untuk mencari tegangan dan arus yang dihasilkan dari keluaran generator. Generator yang digunakan pada pengujian ini merupakan generator dengan model ZYT3424 dengan spesifikasi dapat menghasilkan tegangan 0 V – 120 V pada 2000 RPM dan daya hingga 30 W.

Dalam merancang *prototype* PLTMH dengan turbin vortex, perhitungan dilakukan berdasarkan parameter yang ditetapkan sebagai standar pengujian. Parameter tersebut meliputi debit air (Q) = 4,5 L/s atau = 0,0045 m<sup>3</sup>/s, head (H) = 0,3 m, (g) = 9,8 m/s<sup>2</sup> dan nilai n = 300 rpm. Data tersebut dapat disajikan dalam Tabel 1.

**Tabel 1** Detail Sistem *Prototype* PLTMH Turbin Vortex

No.	Parameter	Nilai
1.	Head	0.3 m
2.	Debit Air	4,5 L/s
3.	Tinggi Basin	0,4 m
4.	Diameter Atas Basin	0,4 m
5.	Diameter <i>Outlet</i> Basin	0,12 m
6.	Volume <i>Box</i>	0.09 m <sup>3</sup>
7.	Diameter Pipa	0.038 m
8.	Tinggi Rangka	0.6 m
9.	Lebar Rangka	0.5 m

Berdasarkan parameter yang telah ditentukan dengan rumus diatas didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Analisis kecepatan turbin berdasarkan debit aliran air seperti pada rumus (2.1).

$$nq = 260 \times \frac{\sqrt{Q}}{H^{0,75}}$$

$$nq = 260 \times \frac{\sqrt{0,0045}}{0,2^{0,75}}$$

$$nq = 5,83 \text{ m/s}$$

2. Analisis kecepatan tangensial masuk sudu pada sisi luar sudu ( $u_1$ ) seperti pada rumus (2.2).

$$u_1 = 1 \times \sqrt{2 \times 9,8 \times 0,3}$$

$$u_1 = 2,42 \text{ m/s}$$

3. Analisis kecepatan tangensial masuk sudu pada leher poros ( $u_N$ ) seperti pada rumus (2.3).

$$u_N = 0,7 \times \sqrt{2 \times 9,8 \times 0,3}$$

$$u_N = 1,69 \text{ m/s}$$

4. Ukuran diameter Luar Runner ( $D_1$ ) seperti pada rumus (2.4).

$$D_1 = \frac{60 \times 2,42}{3,14 \times 300}$$

$$D_1 = 15 \text{ cm}$$

5. Ukuran diameter leher poros ( $D_N$ ) seperti pada rumus (2.5).

$$D_N = \frac{60 \times 0,7}{3,14 \times 300}$$

$$D_N = 5 \text{ cm}$$

6. Ukuran Lebar Runner ( $B_x$ ) seperti pada rumus (2.6).

$$B_x = \frac{0,15}{2} - \frac{0,05}{2}$$

$$B_x = 5 \text{ cm}$$

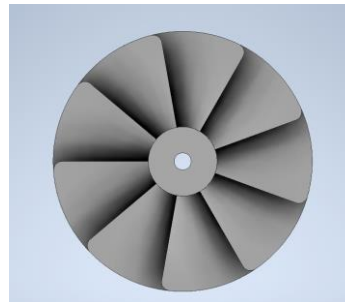
7. Daya Hidrolisis

$$P_H = \rho \times g \times Q \times H$$

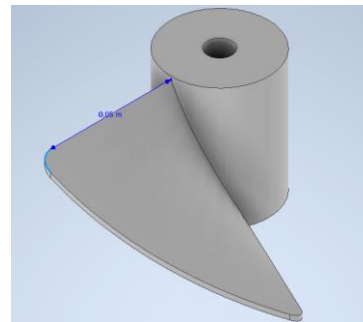
$$= 1000 \times 9,8 \times 0,0045 \times 0,3$$

$$= 13,23 \text{ Watt}$$

Desain dari *runner* dan sudu *runner* dari perhitungan diatas dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.

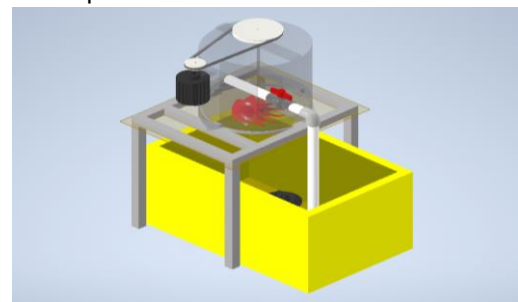


**Gambar 5.** Desain *Runner* Turbin Vortex



**Gambar 6.** Desain Sudu Turbin Vortex

Rancangan desain *prototype* PLTMH setelah dirakit menjadi kesatuan dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Desain *Prototype* PLTMH Turbin Vortex

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN



**4.1 Realisasi *Prototype* PLTMH dengan Turbin Vortex**

Hasil dari rancangan *prototype* PLTMH dengan menggunakan turbin vortex dari desain yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9.



**Gambar 8.** Realisasi Turbin Vortex



**Gambar 9.** Realisasi *Prototype* PLTMH

**4.2 Pengukuran *Prototype* PLTMH dengan Turbin Vortex**

Pengukuran yang dilakukan terhadap pengujian kinerja PLTMH meliputi pengukuran debit air, putaran generator dan turbin, arus dan tegangan generator, daya output generator serta daya turbin.

Daya output generator yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan rumus (2.8)

$$\begin{aligned}
 P_{out} &= I \times V \\
 &= 0,0467 \times 8,29 \\
 &= 0,387 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Efisiensi sistem PLTMH dapat dihitung menggunakan rumus (2.11)

$$\begin{aligned}
 \eta_{PLTMH} &= \frac{P_G}{P_H} \times 100\% \\
 &= \frac{0,387}{13,23} \times 100\% \\
 &= 2,93\%
 \end{aligned}$$

Daya turbin yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan rumus (2.9)

$$\begin{aligned}
 P_T &= 2\pi \times \frac{N}{60} \times T \\
 &= 2 \times 3,14 \times \frac{72}{60} \times 0,77 \\
 &= 5,8 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Efisiensi Turbin dapat dihitung menggunakan rumus (2.10)

$$\begin{aligned}
 \eta_T &= \frac{P_T}{P_H} \times 100\% \\
 &= \frac{5,8}{13,23} \times 100\% \\
 &= 43,8\%
 \end{aligned}$$

Hasil pengukuran berdasarkan parameter yang telah diuji dijabarkan pada Tabel 2.

**Tabel 2** Hasil Pengukuran *Prototype* Turbin Vortex

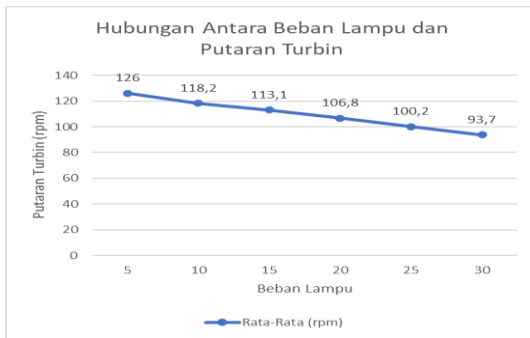
No.	Parameter	Nilai
1	Jumlah Sudu	9 bilah
2	Head	0,3 m
3	Debit Air	4,5 l/s
4	Putaran Turbin	303,8 RPM (Sebelum dikopel generator)
		230,5 RPM (Setelah dikopel generator)
5	Putaran Generator	1874,7 RPM (Sebelum diberi beban)
		653,5 RPM (Setelah diberi beban)
6	Tegangan	112,33 V (Beban 0 W)
		8,29 V (Beban 30 W)
7	Arus	0,0467 A
8	Daya Hidrolisis	13,23 W
9	Daya Output Generator	0,387 W

10	Efisiensi Sistem	2,93%
11	Daya Turbin	5,8 W
12	Efisiensi Turbin	43,8%

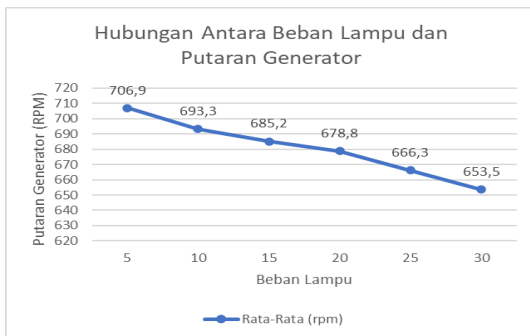
Dalam penelitian ini dilakukan juga pengujian pengaruh pembebanan terhadap *prototype* PLTMH dengan turbin vortex dengan tujuan mengetahui karakteristik PLTMH terhadap pembebanan. Berikut data hasil pengukuran dari pengujian yang telah dilakukan ditunjukkan pada Tabel 3 dan 4.

**Tabel 3** Pengukuran Daya Mekanis

Beban (W)	Putaran Turbin (RPM)	Putaran Generator (RPM)
0	230,5	1874,7
5	126	706,9
10	118,2	693,3
15	113,1	685,2
20	106,8	678,8
25	100,2	666,3
30	93,7	653,5



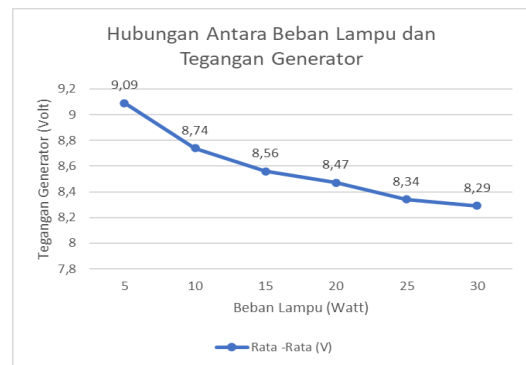
**Gambar 10.** Grafik Perbandingan Beban Lampu dan Putaran Turbin



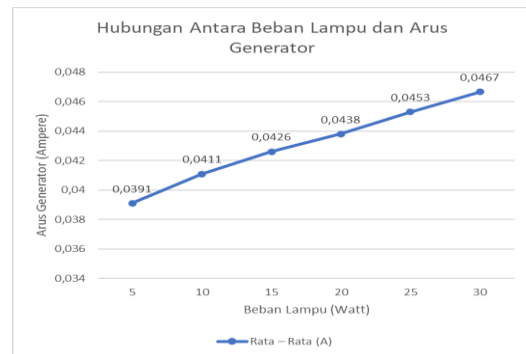
**Gambar 11.** Grafik Perbandingan Beban Lampu dan Putaran Generator

**Tabel 4** Pengukuran Daya Elektris

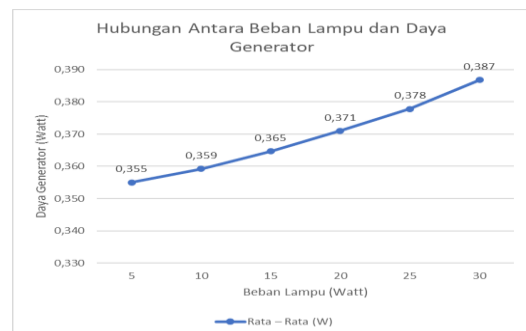
Beban (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
5	9,09	0,0391	0,355
10	8,74	0,0411	0,359
15	8,56	0,0426	0,365
20	8,47	0,0438	0,371
25	8,34	0,0453	0,378
30	8,29	0,0467	0,387



**Gambar 12.** Grafik Perbandingan Beban Lampu dan Tegangan Generator



**Gambar 13.** Grafik Perbandingan Beban Lampu dan Arus Generator



**Gambar 14.** Grafik Perbandingan Beban Lampu dan Arus Generator

Berdasarkan grafik pada Gambar 10, 11, 12, 13, dan 14 didapatkan hasil bahwa kinerja dari PLTMH akan berpengaruh terhadap pembebanan yang diberikan. Pada daya mekanis terjadi penurunan seiring dengan bertambahnya beban. Pada daya listrik tegangan akan mengalami penurunan sedangkan arus akan mengalami kenaikan.

## 5. KESIMPULAN

Setelah mengetahui hasil dari analisa penelitian ini, simpulan yang dapat diberikan adalah:

1. Telah direalisasikan prototype PLTMH menggunakan turbin Vortex dengan *head* 0,3 m, pipa masukan 1,5 dm dengan debit air sebesar 4,5 L/s. Basin yang berbentuk menyerupai corong dengan ukuran tinggi dinding samping 40 cm, diameter atas 40 cm dan outlet 12 cm. Turbin yang digunakan mempunyai sudu sebanyak 9 bilah dengan ukuran diameter luar 15 cm, diameter leher 5 cm dan lebar runner sebesar 5 cm. Daya hidrolisis yang direncanakan sebesar 13,23 Watt. Daya output dari generator pada sistem PLTMH dengan pembebanan lampu terbesar sebesar 0,387 Watt dan efisiensi sistem sebesar 2,93 %. Sedangkan daya turbin yang dihasilkan sebesar 5,8 Watt dan efisiensi sebesar 43,8%. Perbedaan yang dihasilkan oleh daya generator dan daya turbin disebabkan oleh penggunaan generator yang berpotensi lemahnya gulungan pada rotor yang menyebabkan generator tidak dapat bekerja secara maksimal. Pada penelitian ini dilakukan juga pengujian pengaruh pembebanan yang mengakibatkan berubahnya karakteristik tegangan arus dan daya output dari generator terhadap variasi pembebanan.
2. Sistem kerja alat ini diawali dengan pompa yang mengalirkan air dari box melalui pipa menuju basin yang akan membuat pusaran air untuk mendorong turbin vortex agar dapat berputar. Putaran yang dihasilkan

oleh turbin akan memutar pulley turbin melalui poros as yang dimana pulley turbin ini juga terhubung pada pulley generator dengan belt, putaran pada kedua pulley akan diukur menggunakan tachometer untuk mengetahui kecepatan pada masing-masing pulley. Putaran pulley generator akan memutar generator agar generator mampu menghasilkan listrik.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2014, Juli) Kebijakan Pengembangan Tenaga Air. Diambil dari website ebtke ESDM Indonesia <https://ebtke.esdm.go.id/post/2014/07/02/628/kebijakan.pengembangan.tenaga.air>
- [2] Dewan Pertimbangan Pengendalian Perubahan Iklim (2021, Januari). Mikrohidro. Diambil dari website ditjenppi menlhk. <http://ditjenppi.menlhk.go.id/kcpi/index.php/inovasi/339-mikrohidro-2>
- [3] Hakim M. F. R., Adiwibowo P. H. 2018. Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang Lurus Dengan Variasi Tinggi Sudu. Jurnal JTM. Volume 06 Nomor 01 Tahun 2018, Hal 85-95
- [4] Gibran, Gultom 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 ISSN 0216-7492
- [5] Syafitri N. F., Permatasari R. 2018. Analisis Profil Sudu Turbin Mikro Hidro Vortex Untuk Mendapatkan Efisiensi Optimum. Seminar Nasional Cendekiawan ke 4 Tahun 2018
- [6] Kusumayana M. A., Wijaya I. W. A., Janardana I. G. N. 2021. Rancang Bangun Prototype Turbin Kaplan Skala PLTMH. Jurnal SPEKTRUM Vol. 8, No. 2 Juni 2021



- [7] Laksana P. A., Girintari I. A. D., Kumara I. N. S. 2020. Redesain Turbin 175 KW Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Desa Mekar Sari Buleleng Bali. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, Vol. 19, No. 2, Juli - Desember 2020