

ANALISIS DAYA *OUTPUT* GENERATOR BERDASARKAN VARIASI DEBIT AIR PADA *PROTOTYPE* PLTMH DENGAN TURBIN VORTEX

I Gusti Ngurah Agastya Citranatha¹, Lie Jasa², I Made Suartika³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

^{2,3}Dosen Program Studi Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Kampus Bukit, Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec. Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Bali 80361

agastyacitranatha@gmail.com¹

ABSTRAK

Turbin vortex merupakan turbin air dengan jenis turbin reaksi yang dapat digunakan pada saluran air dengan *head* rendah. Besar daya *output* yang dihasilkan oleh generator pada sistem PLTMH akan berbeda-beda menyesuaikan dari parameter-parameter *input* yang digunakan, salah satunya debit air. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui daya output yang dihasilkan generator dengan parameter debit air yang berbeda-beda menggunakan saluran air buatan pada *prototype* PLTMH turbin vortex. Penelitian ini menggunakan variabel bebas yang berupa debit air sebesar 2,5 l/s, 3,5 l/s, dan 4,5 l/s dengan menggunakan sudu turbin 9 buah dan beban lampu disusun paralel. Dari hasil pengujian, peningkatan debit air yang digunakan sebanding dengan meningkatnya daya *output* generator. Daya *output* yang dihasilkan dari masing-masing debit air yang digunakan adalah 0,085 W dengan debit air 2,5 l/s, 0,256 W dengan 3,5 l/s, dan 0,387 W dengan 4,5 l/s. Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui peningkatan besar *input* debit air akan seiring dengan besar daya *output* yang dihasilkan dari generator. Hal ini disebabkan karena putaran turbin akan menyesuaikan dengan besar debit air yang digunakan.

Kata Kunci: *Prototype* PLTMH, Turbin Vortex, Debit Air, Daya

ABSTRACT

Vortex turbine is a reaction water turbine that can utilize energy from low headed waterway. The power output of generator on microhydro power plant will differ depend on the input parameters used, such as water flow rates. Hence, this research goal is to find out the power output of generator from various water flow rates with an artificial waterway on a vortex turbine within the microhydro power plant prototype. This research consist a free variable of water flow rates of 2,5 l/s, 3,5 l/s, and 4,5 l/s using 9 blades turbine and paralel load lamps. From the experiment, raises of water flow rate is proportional to the increase of generator's power output. The power output generated by each water flow rates used are 0,085 W at 2,5 l/s water flow rate, 0,256 at 3,5 l/s, and 0,387 at 4,5 l/s. Based on the experiment, it can be concluded that the increase of input water flow rate is equal to the increase of the power output generated by the generator. It is caused by the rotation of the turbine will be adjusted by the water flow rate used.

Keywords : *Microhydro Power Plant Prototype, Vortex Turbine, Water Flow Rate, Power*

1. PENDAHULUAN

Data yang didapatkan dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral mengatakan bahwa kebutuhan

akan energi listrik terus mengalami peningkatan setiap tahunnya hingga sebesar 6,9% [1]. Oleh karena itu, Pemerintah Indonesia berencana untuk

melakukan pengembangan pada pembangkit listrik dengan menggunakan energi terbarukan contohnya air. Kapasitas maksimal dari sumber air nasional di Indonesia mencapai angka 94.476 MW dengan sistem *Run of River* akan tetapi sampai saat ini yang dimanfaatkan sebagai pembangkit energi listrik hanya sebesar 6.601,9 MW [2].

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik yang menggunakan energi baru terbarukan yaitu dengan mengandalkan aliran air untuk menghasilkan energi listrik. Klasifikasi PLTMH dilihat dari daya yang dihasilkan oleh sistem yaitu sebesar kurang dari 100 kW [3]. Sistem PLTMH dapat menghasilkan energi listrik dengan menggunakan turbin air yang akan diberi dorongan oleh air sehingga turbin akan berputar.

Banyak penelitian mengenai perkembangan energi ramah lingkungan yang telah dilakukan, seperti perencanaan PLTMH di Desa Sambangan dengan turbin *crossflow* pada tahun 2013 oleh Suparyawan [4], Evaluasi dari PLTMH berkapasitas 25 kW di Desa Seloliman tahun 2018 oleh Bestari [5], dan perancangan PLTMH pada Sungai Batang Palangai Gadang tahun 2018 oleh Soyfyan [6].

Terdapat berbagai jenis turbin air yang dapat digunakan sebagai alat penggerak dalam PLTMH, salah satunya turbin vortex. Turbin ini merupakan turbin air jenis turbin reaksi yang dapat digunakan pada saluran air dengan *head* rendah [7]. Turbin ini memanfaatkan pusaran air yang berputar di dalam basin untuk menggerakkan turbin. Turbin yang berputar akan memutar poros sehingga generator juga berputar dan menghasilkan energi listrik. Terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi daya *output* dari generator salah satunya debit air [8].

Debit air pada aliran sungai dipengaruhi oleh tingkat curah hujan, meningkatnya debit air akan sebanding dengan meningkatnya curah hujan. Oleh

karena itu, penelitian ini akan menganalisis rentang daya *output* terendah hingga tertinggi yang dapat dihasilkan oleh *prototype* sistem PLTMH dengan vortex berdasarkan debit air yang digunakan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

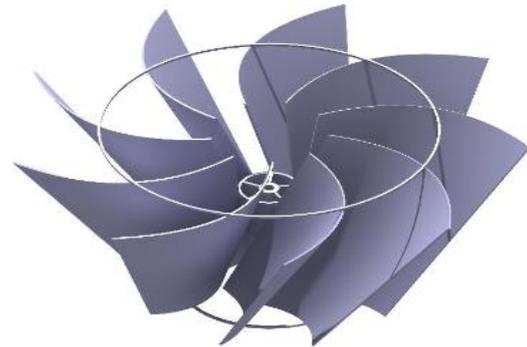
2.1 PLTMH

PLTMH merupakan salah satu pembangkit energi terbarukan yang memanfaatkan energi dari ketinggian jatuhnya air dan debit air untuk menghasilkan listrik. Pembangkit ini berukuran relatif lebih kecil dari PLTA pada umumnya sehingga pengaplikasiannya dapat digunakan pada aliran-aliran irigasi [9].

PLTMH mengkonversi energi dari aliran air (ketinggian dan debit air) menjadi putaran pada turbin. Putaran dari turbin akan memutar poros sehingga generator akan berputar. Putaran dari generator ini akan menimbulkan listrik. Besar energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTMH bergantung dari rancangan ketinggian dan debit air yang digunakan [10].

2.2 Turbin Vortex

Turbin vortex merupakan salah satu jenis turbin air yang dapat digunakan pada PLTMH. Turbin ini dapat bekerja pada ketinggian yang relatif rendah tetapi debit air yang tinggi.



Gambar 1. Turbin Vortex [11]

Prinsip kerja dari turbin ini adalah air mengalir dari *penstock* menuju basin. Di dalam basin, air membentuk pusaran air dan keluar dari *outlet* basin. Pusaran air ini akan mendorong sudu turbin dan memutar turbin. Perputaran dari turbin membuat

generator berputar dan menghasilkan listrik.



Gambar 2. Pusaran Air di Dalam Basin PLTMH dengan Turbin Vortex [7]

2.3 Pengukuran dan Perhitungan Debit Air

Pengukuran debit air pada penelitian ini dilakukan dengan menghitung waktu yang dibutuhkan air untuk mengisi wadah pada volume tertentu dengan menggunakan *stopwatch*. Setelah didapatkan waktu yang diperlukan air untuk memenuhi wadah tersebut, debit air dapat dihitung dengan menggunakan [12]:

$$Q = \frac{\text{Volume Wadah (liter)}}{\text{Waktu Air Memenuhi Wadah (s)}} \dots\dots (1)$$

2.4 Perhitungan Daya Output Generator

Daya hidrolisis merupakan daya dari aliran air yang mengalir. Daya hidrolisis pada turbin vortex dihitung dengan [13]:

$$P_H = \rho \times g \times Q \times H \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan

- P_H = Daya hidrolisis (Watt)
- ρ = Massa jenis air (kg/m^3)
- g = gaya gravitasi (m/s^2)
- H = Tinggi aliran vortex (Meter)

Daya *output* dari generator dapat dihitung dengan [12]:

$$P_{out} = V \times I \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan

- P_{out} = Daya *output* Generator (Watt)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus Listrik (Ampere)

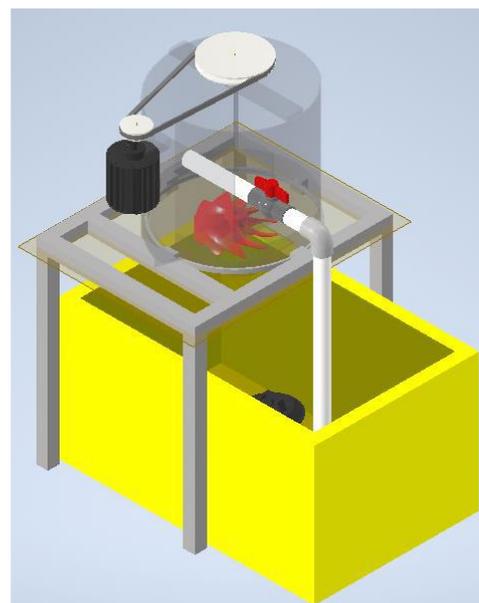
3. METODE PENELITIAN

Penelitian tentang pengujian variasi debit air terhadap daya *output* generator pada *prototype* turbin vortex ini

menggunakan ukuran dari sistem PLTMH pada Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran *Prototype* Sistem PLTMH Dengan Menggunakan Turbin Vortex

No.	Parameter	Nilai
1.	Tinggi Rangka	0,6 m
2.	Lebar Rangka	0,5 m
3.	Volume Box Air	0,009 m ³
4.	Diameter pipa	0,038 m
5.	Tinggi Basin	0,4 m
6.	Diameter Basin	0,4 m
7.	Diameter Outlet	0,17 m



Gambar 3. Desain *Prototype* Sistem PLTMH Dengan Turbin Vortex

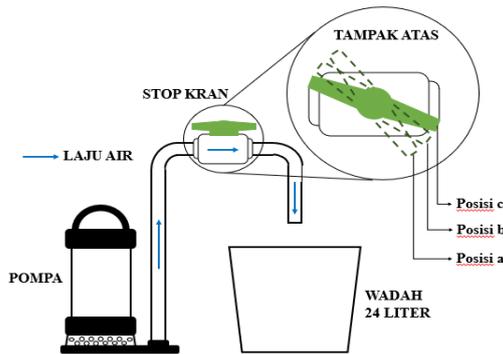
Selain itu, digunakan spesifikasi dari turbin vortex dalam penelitian ini yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Turbin Vortex

No	Parameter	Nilai
1	Diameter Luar	15 cm
2.	Diameter Dalam	5 cm
3.	Lebar Sudu	5 cm
4.	Luas 1 Sudu	38,96 cm ²
5.	Jumlah Sudu	9 buah
6.	Jarak Antar Sudu	40°

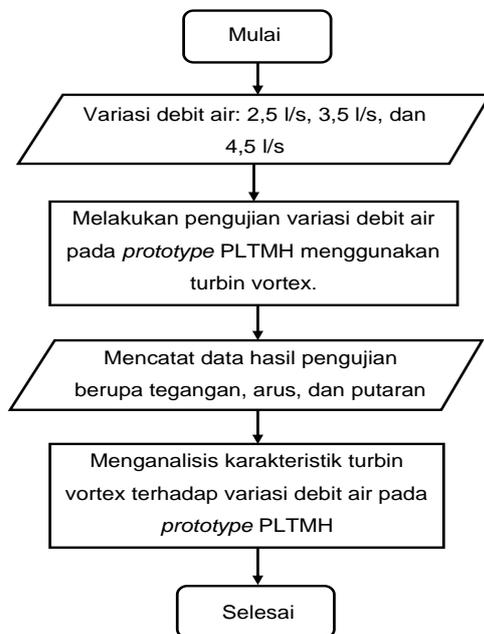
Selanjutnya, pengukuran variasi debit air. Debit air diukur dengan menggunakan pompa, pipa, *stop* kran,

wadah 24 liter, dan *stopwatch*. Skema mengukur variasi debit air dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema Pengukuran Debit Air

Cara untuk memvariasikan debit air pada penelitian ini adalah pertama-tama, air dihisap oleh pompa dan dialirkan menuju *stop* kran. Kerapatan dari *stop* kran diatur untuk mendapatkan variasi debit yang diinginkan. Selanjutnya, hitung waktu yang dibutuhkan air untuk mengisi wadah 24 liter. Gunakan persamaan (1) sehingga debit air dapat diketahui. Setelah mendapatkan variasi debit air yang diinginkan, berikan tanda pada *stop* kran agar posisi dari kerapatan *stop* kran dapat lebih mudah untuk diketahui. Selanjutnya, ulangi langkah-langkah tersebut untuk mendapatkan variasi debit air yang lain.



Gambar 5. Diagram alur pengujian

Setelah itu, alur pengujian dari penelitian *prototype* PLTMH dengan menggunakan turbin vortex ini dapat dilihat pada Gambar 5. Penjelasan dari Gambar 5 adalah pertama-tama, menentukan variasi debit air sebesar 2,5 l/s, 3,5 l/s, dan 4,5 l/s. Variasi debit air ini didapatkan dengan menggunakan skema pada Gambar 4. Penentuan dari variasi debit air didapatkan dari debit air terendah dan tertinggi yang dapat dimasukkan ke sistem agar *prototype* sistem PLTMH tetap dapat menghasilkan listrik dan mengurangi air yang terbuang bila debit yang dimasukkan ke sistem terlalu besar. Kedua, melakukan pengujian terhadap variasi debit air pada *prototype* PLTMH dengan turbin vortex. Pengujian ini dilakukan dengan mengaplikasikan debit air yang sudah didapatkan sebelumnya pada *prototype* sistem PLTMH secara satu per satu sehingga didapatkan data pada masing-masing debit air yang digunakan. Selanjutnya, mencatat data hasil dari pengujian yang berupa putaran, tegangan, dan arus. Parameter yang diukur di sini adalah putaran turbin, putaran generator, tegangan, dan arus. Tachometer digunakan untuk mengukur putaran turbin dan generator dilakukan dengan diletakkan pada masing-masing poros, pengukuran tegangan dilakukan menggunakan voltmeter yang disusun paralel dengan rangkaian beban, dan amperemeter yang disusun seri dengan rangkaian beban untuk mengukur arus. Kemudian, menganalisis hasil pengujian *prototype* PLTMH dengan turbin vortex berdasarkan variasi debit air sehingga didapatkan karakteristik dari parameter *output* yang digunakan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 *Prototype* Sistem PLTMH Dengan Turbin Vortex

Sistem PLTMH dengan turbin vortex yang digunakan pada penelitian ini merupakan sebuah *prototype* yang dapat dilihat pada Gambar 6 dengan spesifikasi *prototype* pada Tabel 1 dan turbin vortex yang digunakan pada Gambar 7 dengan spesifikasi turbin pada Tabel 2.



Gambar 6. Prototype Sistem PLTMH dengan Turbin Vortex



Gambar 7. Turbin Vortex Yang Digunakan

4.2 Pengukuran Variasi Debit Air

Pengujian dan pengukuran debit air menggunakan skema yang dapat dilihat pada Gambar 4 dan menggunakan persamaan (1) untuk mendapatkan besar debit air.

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

Tabel 3. Pengukuran Variasi Debit Air

Posisi	Volume Box (liter)	Waktu (s)	Debit Air (l/s)
a	24	9,37	2,5
b	24	6,84	3,5
c	24	5,27	4,5

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan, didapatkan waktu yang

dibutuhkan air untuk mengisi wadah pada masing-masing posisi kerapatan kran. Pada posisi a membutuhkan waktu selama 9,37 s, posisi b selama 6,84 s, dan posisi c selama 5,27 s. Kemudian, dengan menggunakan persamaan (1) didapatkan debit air pada masing-masing posisi kerapatan kran. Debit air yang didapatkan sebesar 2,5 l/s pada posisi a, 3,5 l/s pada posisi b, dan posisi c sebesar 4,5 l/s.

4.3 Data Hasil Pengukuran Prototype PLTMH Turbin Vortex Berdasarkan Variasi Debit Air

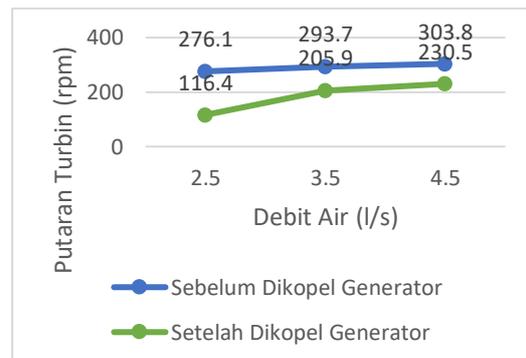
Pada penelitian ini diukur parameter-parameter *output* dari sistem PLTMH yang berupa putaran turbin, putaran generator, tegangan, dan arus.

4.3.1 Pengukuran Putaran Turbin

Pengukuran putaran turbin dilakukan untuk mengetahui banyaknya putaran turbin dari masing-masing debit air yang digunakan dengan cara meletakkan tachometer pada poros turbin.

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Putaran Turbin Berdasarkan Variasi Debit Air

No	Debit Air (l/s)	Rata-rata putaran Turbin (rpm)	
		Sebelum Dikopel Generator	Setelah Dikopel Generator
1	2,5	272	116,4
2	3,5	297	205,9
3	4,5	303,8	230,5



Gambar 8. Grafik Perbandingan Putaran Turbin Berdasarkan Variasi Debit Air

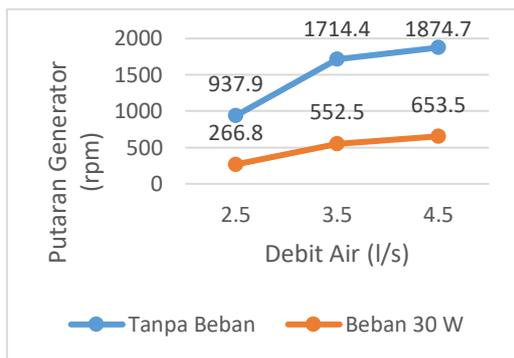
Dari pengujian yang telah dilakukan diketahui terjadi peningkatan putaran turbin seiring meningkatnya debit air. Hal ini terjadi karena semakin besar debit air yang digunakan, kekuatan dorongan air semakin kuat sehingga dapat memutar turbin lebih cepat.

4.3.2 Pengukuran Putaran Generator

Pengukuran putaran generator dilakukan untuk mengetahui banyaknya putaran generator dari masing-masing debit air yang digunakan dengan cara meletakkan tachometer pada poros generator.

Tabel 5. Data Hasil Pengukuran Putaran Generator Berdasarkan Variasi Debit Air

No	Debit Air (l/s)	Rata-Rata Putaran Generator (rpm)	
		Tanpa Beban	Beban 30 W
1	2,5	937,9	266,8
2	3,5	1714,4	552,5
3	4,5	1874,7	653,5



Gambar 9. Grafik Perbandingan Putaran Generator Berdasarkan Variasi Debit Air

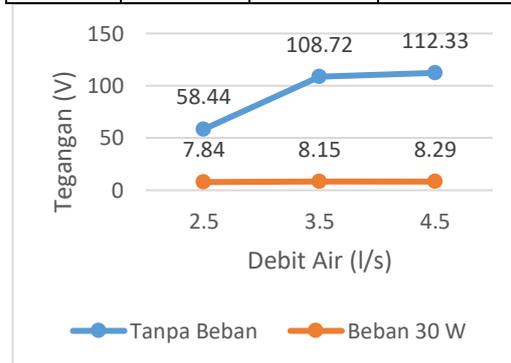
Dari pengujian yang telah dilakukan diketahui terjadi peningkatan putaran generator seiring meningkatnya debit air. Hal ini terjadi karena semakin besar debit air yang digunakan, kecepatan putaran turbin semakin cepat sehingga putaran generator berputar lebih cepat.

4.3.3 Pengukuran Tegangan

Pengukuran tegangan dilakukan untuk mengetahui besar tegangan yang dihasilkan pada masing-masing debit air yang digunakan dengan cara menghubungkan voltmeter secara paralel pada rangkaian beban.

Tabel 6. Data Hasil Pengukuran Tegangan Berdasarkan Variasi Debit Air

No	Debit Air (l/s)	Rata-rata Tegangan (V)	
		Tanpa Beban	Beban 30 W
1	2,5	58,44	7,84
2	3,5	108,72	8,15
3	4,5	112,33	8,29



Gambar 10. Grafik Perbandingan Tegangan Berdasarkan Variasi Debit Air

Dari pengujian yang telah dilakukan diketahui terjadi peningkatan tegangan seiring meningkatnya debit air. Hal ini terjadi karena semakin besar debit air yang digunakan, kecepatan putaran generator semakin cepat sehingga tegangan yang dihasilkan generator meningkat.

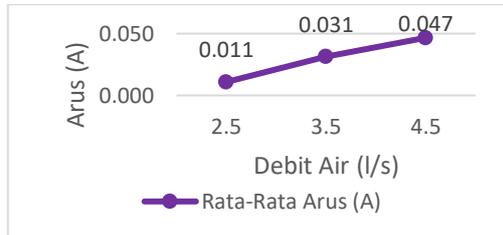
4.3.4 Pengukuran Arus

Pengukuran arus dilakukan untuk mengetahuinya besar arus yang dihasilkan pada masing-masing debit air dengan cara menghubungkan amperemeter secara seri pada rangkaian beban.

Tabel 7. Data Hasil Pengukuran Arus Berdasarkan Variasi Debit Air

No	Debit Air (l/s)	Rata-Rata Arus (A)

1	2,5	0,011
2	3,5	0,031
3	4,5	0,046



Gambar 11. Grafik Perbandingan Arus Berdasarkan Variasi Debit Air

Dari pengujian yang telah dilakukan diketahui terjadi peningkatan arus seiring meningkatnya debit air. Hal ini terjadi karena semakin besar debit air yang digunakan, kecepatan putaran generator semakin cepat sehingga arus yang dihasilkan generator meningkat.

4.4 Data Hasil Perhitungan Prototype PLTMH Turbin Vortex Berdasarkan Variasi Debit Air

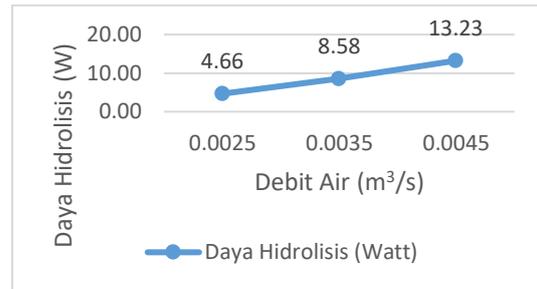
Pada penelitian ini, dihitung parameter-parameter dari sistem PLTMH yang berupa daya hidrolisis dan daya output generator.

4.4.1 Perhitungan Daya Hidrolisis

Perhitungan daya hidrolisis dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (2). Pada penelitian ini, Tabel 8 dan Gambar 12 merupakan daya hidrolisis dari masing-masing variasi debit air yang digunakan.

Tabel 8. Data Hasil Perhitungan Daya Hidrolisis Berdasarkan Variasi Debit Air

Debit Air (m ³ /s)	Massa Jenis Air (kg/m ³)	Gaya Gravitasi (m/s ²)	Head (m)	Daya Hidrolisis (Watt)
0,0025	1000	9,8	0,19	4,65
0,0035	1000	9,8	0,25	8,58
0,0045	1000	9,8	0,3	13,23



Gambar 12. Grafik Perbandingan Daya Hidrolisis Berdasarkan Variasi Debit Air

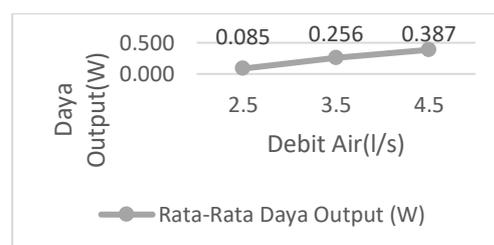
Dari pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan diketahui terjadi peningkatan daya hidrolisis seiring meningkatnya debit air. Hal ini terjadi karena semakin besar debit air yang digunakan akan meningkatkan ketinggian *head* air yang berputar di dalam basin sehingga daya hidrolisis meningkat.

4.4.2 Perhitungan Daya Output Generator

Perhitungan daya output generator dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (3). Pada penelitian ini, Tabel 9 dan Gambar 13 merupakan daya output generator yang didapatkan dari masing-masing variasi debit air yang digunakan.

Tabel 9. Data Hasil Perhitungan Daya Output Generator Berdasarkan Variasi Debit Air

No	Debit Air (l/s)	Rata-rata Daya Output (W)
1	2,5	0,085
2	3,5	0,256
3	4,5	0,387



Gambar 13. Grafik Perbandingan Daya Output Generator Berdasarkan Variasi Debit Air

Dari pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan diketahui terjadi peningkatan daya *output* generator seiring meningkatnya debit air. Hal ini terjadi karena semakin besar debit air yang digunakan, kecepatan putaran generator semakin cepat sehingga tegangan dan arus yang dihasilkan generator meningkat. Meningkatnya nilai tegangan dan arus maka akan meningkatkan nilai data *output* generator.

5. KESIMPULAN

Diketahuinya hasil pembahasan dari penelitian ini dapat diberikan simpulan berupa:

Pada *prototype* sistem PLTMH dengan turbin vortex yang digunakan, didapatkan debit air terendah sebesar 2,5 l/s dan tertinggi sebesar 4,5 l/s agar sistem PLTMH tetap dapat menghasilkan listrik pada debit terendah dan tidak ada air yang terbuang dari bagian atas basin dari debit tertinggi. Daya *output* yang dihasilkan dari masing-masing debit air yang digunakan adalah 0,085 W pada 2,5 l/s, 0,256 W pada 3,5 l/s, dan 0,387 W pada 4,5 l/s, maka dapat diketahui peningkatan daya *output* generator seiring dengan peningkatan debit air yang digunakan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (2021, Januari) Peta Potensi Energi Hidro Indonesia 2020. Diambil dari website p3tkebt ESDM Indonesia <https://p3tkebt.esdm.go.id/news-center/arsip-berita/peta-potensi-energi-hidro-indonesia-2020>.
- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2022, April). Reviu Informasi Strategis Energi dan Mineral Harian, 4 April 2022. Diambil dari website data harian KESDM Indonesia <https://dataharian.esdm.go.id/index.php/2022/04/04/reviu-informasi-strategis-energi-dan-mineral-harian-5-april-2022/>.
- [3] Yaakob, O. B., Ahmed, Y. M., Elbatran, A. H., Shabara, H. M. 2014. *A Review on Micro Hydro Gravitational Vortex Power and Turbine Systems*. Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering) 69:7 (2014), 1–7.
- [4] Suparyawan, D. P. D., Kumara, I. N. S., Ariastina, W. G. 2013. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Mikrohidro Di Desasambangan Kabupaten Bulelen Bali. *Majalah Ilmiah Teknik Elektro* Vol. 12 No. 2 Juli - Desember 2013.
- [5] Bestari, H. L., Kumara, I. N. S., Ariastina, W. G. 2018. Performance Evaluation of 25 kW Microhydro in Seloliman Village East Java. *International Conference on Smart-Green Technology in Electrical and Information System 2018* ISBN: 978-1-5386-6023-2.
- [6] Syofyan, Z. dan Laia, Indriana. 2018. Analisa Perencanaan Pltmh Pada Sungai Batang Palangai Gadang Kabupaten Pesisir Selatan Provinsi Sumatera Barat. *MENARA Ilmu* Vol. XII, No.10 Oktober 2018.
- [7] Kueh, T. C., Beh, S. L., Ooi, Y.S., Rilling, D. G. 2017. *Experimental Study to the Influences of Rotational Speed and Blade Shape on Water Vortex Turbine Performance*. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 822 (2017) 012066.
- [8] Power, C., McNabola, A., Coughlan, P, 2016. *A Parametric Experimental Investigation of the Operating Conditions of Gravitational Vortex Hydropower (GVHP)*. *Journal of Clean Energy Technologies*, Vol. 4, No. 2, March 2016.
- [9] Alatas, M., dkk. 2021. *Stage of Potential Identification Irrigation Channel Topography Analysis for Micro-HydroPower in the Kalibawang Irrigation Primary Channel, Yogyakarta, Indonesia*. *International Journal of Sustainable Development and Planning* Vol. 16, No. 5, September, 2021, pp. 953-964.
- [10] Syahputra, R., Soesanti, I. 2020. *Planning of Hybrid Micro-Hydro and Solar Photovoltaic Systems for Rural Areas of Central Java, Indonesia*. *Journal of Electrical and Computer Engineering* Volume 2020, Article ID 5972342, 16 pages.

- [11] Sapkota, A. dkk. 2021. *Development of a 1 kW Gravitational Water Vortex Hydropower Plant Prototype*. 8th International Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures ISBN: 978-0-578-37416-1.
- [12] Pamungkas, R. A., Wijaya, I. W. A., Janardana, I. G. N. 2021. Pengaruh Debit Air Terhadap Putaran Turbin dan Daya *Output* Yang Dihasilkan *Prototype* PLTMH Dengan Turbin Kaplan. *Jurnal SPEKTRUM* Vol. 8, No. 2 Juni 2021.
- [13] Hakim, M. F. R., Adiwibowo, P. H. 2018. Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang Lurus dengan Variasi Tinggi Sudu. *JTM*. Volume 06 Nomor 01 Tahun 2018, Hal 85-95.