

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE FLANGED DIFFUSER EFFECT ON HYBRID AXIS WIND TURBINE PERFORMANCE

Yiyin K.^{1,*}, Jumadi T.¹, Nur Rahmah H.A.¹, Muh. Asrar M.^{1,**}, dan Nurilmi^{1**}
^{1,2,4} Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

ABSTRACT

The experimental study of the effect of flanged diffuser construction on improving the performance of hybrid vertical axis wind turbine (VAWT) is a collaboration of hybrid turbine technology and flanged diffuser technology innovation which is expected to have a positive impact on enhancing wind turbine performance. The aims of this research are designing the optimal construction of hybrid VAWT equipped with flanged diffuser, evaluating the performance of VAWT equipped with flanged diffuser, and analyzing the effect of flanged diffuser construction on the performance of hybrid VAWT. The experimental method applied in this research were literature study, design, manufacture, and assembly of tools. Furthermore, the testing stage of hybrid VAWT without and with flanged diffuser was carried out in the laboratory with various variations in wind speed, but before that a validation process was performed. Based on the results obtained, it can be concluded that the addition of a flanged diffuser is able to have a positive effect on the performance of hybrid VAWT which increases the value of turbine efficiency and system efficiency produced.

Keywords: Hybrid, Vertical Axis Wind Turbine, Wind Power Plant, Renewable Energy

ABSTRAK

Studi eksperimen pengaruh konstruksi flanged diffuser terhadap peningkatan kinerja hybrid *vertical axis wind turbine* (VAWT) merupakan penggabungan inovasi teknologi hybrid dan inovasi teknologi *flanged diffuser* yang diharapkan dapat memberikan dampak positif terhadap peningkatan kinerja turbin angin. Tujuan penelitian ini adalah membuat desain konstruksi optimal hybrid VAWT yang dilengkapi dengan *flanged diffuser*, mengevaluasi kinerja VAWT yang dilengkapi dengan *flanged diffuser*, dan menganalisis pengaruh konstruksi *flanged diffuser* terhadap kinerja hybrid VAWT. Metode eksperimen yang diterapkan pada penelitian ini yaitu studi literatur, perancangan, pembuatan, dan perakitan alat. Selanjutnya dilakukan tahap pengujian hybrid VAWT tanpa dan dengan *flanged diffuser* di laboratorium dengan berbagai variasi kecepatan angin, namun sebelum itu dilakukan proses validasi. Berdasarkan hasil yang diperoleh, maka dapat disimpulkan bahwa penambahan *flanged diffuser* mampu memberikan efek positif terhadap performa hybrid VAWT dimana terdapat peningkatan nilai efisiensi turbin dan efisiensi sistem yang dihasilkan.

Kata Kunci: Hibrid, Vertical Axis Wind Turbine, Pembangkit Listrik Tenaga Angin, Energi Terbarukan

1. PENDAHULUAN

Potensi energi terbarukan yang dimiliki Indonesia perlu dimanfaatkan secara maksimal untuk menambah kapasitas terpasang pembangkit listrik, rasio elektrifikasi dan penurunan emisi gas rumah kaca sesuai dengan yang dicanangkan PP. No.79 tahun 2014 [1]. Energi angin merupakan sumber alternatif yang paling potensial untuk energi terbarukan dan tergolong green energy karena tidak menyumbang polusi. Energi angin adalah salah satu jenis energi terbarukan yang mendapatkan perhatian besar karena tingginya potensi yang dimiliki dan menjadikan industri mengalami pertumbuhan tercepat di bidang energi terbarukan dengan lebih dari 30% annual growth rate [2]. Namun potensi energi angin di Indonesia belum dimanfaatkan secara maksimal, khususnya potensi energi angin di daerah perkotaan (*urban area*). Kecepatan angin di daerah perkotaan yaitu relatif lebih kecil dibandingkan di daerah sekitar pantai. Kecepatan angin yang kecil inilah yang menjadi salah satu faktor penghambat dalam pemanfaatan teknologi konversi energi angin [3].

Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) sangat sesuai untuk dibangun dan diaplikasikan pada daerah dengan iklim tropis dan berangin karena VAWT tidak mengalami perubahan performa meskipun arah angin datang berubah-ubah [4]. Turbin savonius merupakan jenis VAWT yang memanfaatkan gaya drag dari angin dan mampu menerima angin dari segala arah serta menghasilkan torsi yang besar pada kecepatan angin rendah, namun turbin savonius masih memiliki efisiensi yang rendah [5]. Jenis VAWT lainnya yaitu turbin darrieus yang memanfaatkan gaya *lift* angin dan mampu menerima angin dari segala arah, namun kelemahan dari turbin ini adalah tidak memiliki sistem *self starting* sehingga tidak mudah berputar untuk kecepatan angin

* Korespondensi penulis: Yiyin Klistafani, email yiyin_klistafani@poliupg.ac.id

** Mahasiswa tingkat Diploma (D3)

rendah jika tidak ada torsi awal [6]. *VAWT* juga masih memiliki kelemahan, dimana *blade tip vortex* selalu terbentuk di ujung kedua blade selama berotasi. Hal tersebut menyebabkan kerugian torsi dan menurunnya efisiensi [7].

Beberapa peneliti telah mencoba untuk mengidentifikasi prinsip terbaik dari operasional *VAWT* untuk dapat meningkatkan karakteristik kinerjanya. Hosseini dan Goudarzi [8] juga telah melakukan perbandingan kinerja *VAWT* tipe Darrieus dengan *VAWT* tipe *hybrid Savonius-Darrieus*. Hasil yang didapatkan yaitu *VAWT* tipe *hybrid* mampu melakukan *self starting* sedangkan *VAWT* tipe Darrieus tidak mampu melakukan hal tersebut. Pengembangan dan inovasi teknologi turbin angin juga telah banyak dilakukan yaitu dengan menambahkan *diffuser* sebagai konsentrator angin dengan tujuan menaikkan kecepatan efektif sehingga didapatkan daya turbin yang lebih besar. Penambahan *diffuser* pada turbin angin mampu meningkatkan produksi daya angin, terutama pada turbin angin kecil di daerah perkotaan [9]. Konstruksi *diffuser* yang disertai *flanged* pada bagian outletnya mampu memberikan dampak positif terhadap peningkatan kecepatan angin [10]. Hasil penelitian Klistafani et al mengungkapkan bahwa efek hisap dari *vortex downstream* dapat menghasilkan peningkatan kualitas kecepatan angin di dalam *diffuser* [11]. Selain itu aplikasi penambahan *flanged diffuser* mampu meningkatkan nilai coefficient power hingga 164% pada kecepatan angin 10 m/s [12]. Berdasarkan hasil penelitian Wang et al [13], penambahan *flanged diffuser* pada turbin darrieus (H-Rotor) mampu menaikkan nilai C_p 31,42% pada TSR 0,65-0,75.

Berdasarkan pemaparan tersebut, maka pada penelitian kali ini sangat penting untuk menganalisis pengaruh desain konstruksi *flanged diffuser* terhadap peningkatan kinerja hybrid vertical axis wind turbine. Penggabungan inovasi teknologi hybrid antara turbin savonius dan darrieus serta inovasi teknologi *flanged diffuser* diharapkan dapat memberikan dampak lebih terhadap peningkatan kinerja turbin angin.

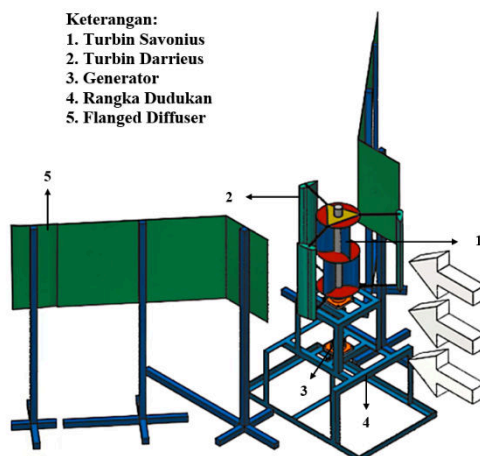
Tujuan penelitian ini yaitu untuk membuat desain konstruksi optimal *hybrid vertical axis wind turbine* yang dilengkapi dengan *flanged diffuser*, mengevaluasi kinerja *hybrid vertical axis wind turbine* yang dilengkapi dengan *flanged diffuser*, serta menganalisis pengaruh desain konstruksi *flanged diffuser* terhadap kinerja *hybrid vertical axis wind turbine*.

2. METODE PENELITIAN

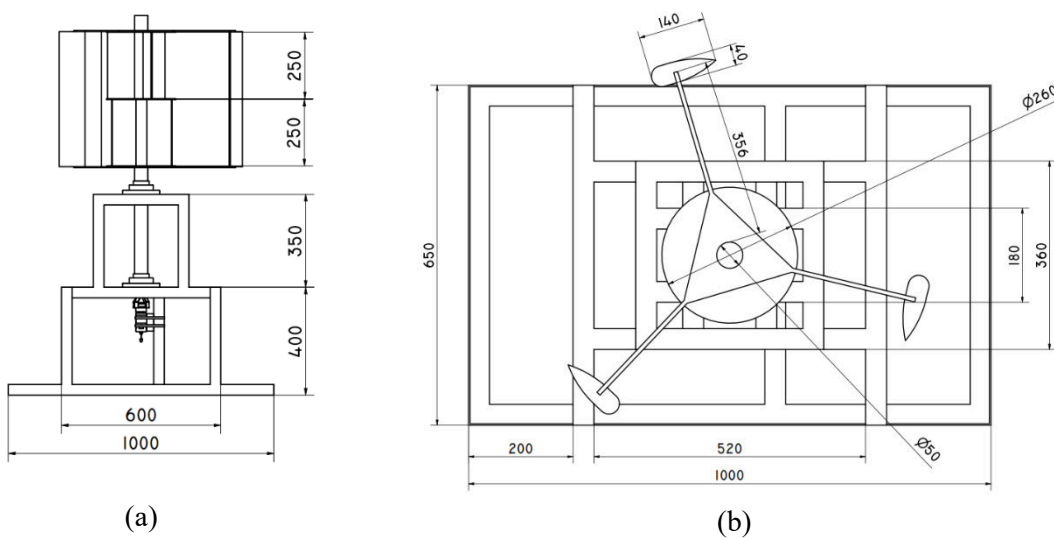
Studi eksperimen *hybrid vertical axis wind turbine* dengan penambahan *flanged diffuser* dilakukan di Laboratorium Konversi Energi dan menggunakan fasilitas Bengkel Las dan juga Bengkel Mekanik Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang dalam pembuatan dan perakitan alat. Pengujian *hybrid vertical axis wind turbine* dilakukan di Lab. Konversi Energi dengan bantuan fan untuk suplai angin dengan kecepatan angin yang dapat divariasikan dan dilakukan juga pengambilan data di Pelabuhan Untia Makassar untuk proses validasi.

Obyek penelitian ini adalah *hybrid vertical axis wind turbine* dengan menggabungkan turbin tipe *Savonius* dan *Darrieus*. Dimensi turbin angin *Darrieus* dan *flat diffuser* merujuk pada penelitian terdahulu [13]. Konstruksi geometri *flanged diffuser* berupa *diffuser* dengan interior *flat walled* yang dilengkapi dengan *flange* disisi *outlet diffuser*. Sudut *flanged diffuser* dapat divariasikan, namun pada penelitian ini hanya diuji untuk sudut 0°. Desain alat digambar menggunakan bantuan *software Inventor*. Desain *hybrid VAWT* dengan penambahan *flanged diffuser* dapat dilihat pada Gambar 1 sedangkan untuk detail dimensi *hybrid VAWT* dan *flanged diffuser* disajikan pada Gambar 2 dan 3.

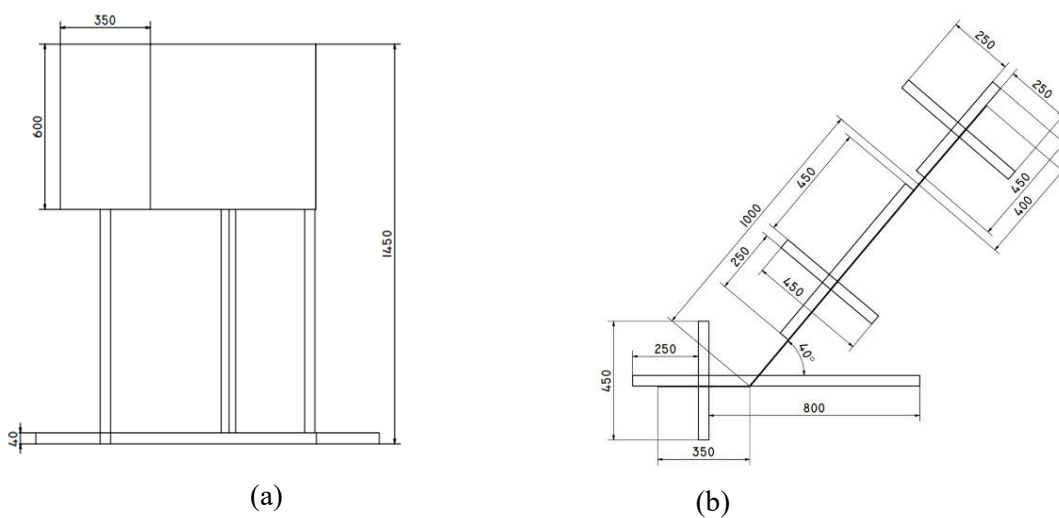
Terlihat pada Gambar 1 bahwa arah angin diwakili oleh gambar arah panah. *Hybrid VAWT* yang terdiri dari turbin *Savonius* tiga *blade* dan *Darrieus* tiga *blade* terintegrasi langsung dengan generator DC. Rangka dudukan berfungsi untuk menopang turbin sedangkan *flanged diffuser* dimaksudkan sebagai konsentrator angin. Setelah tahap perancangan, pembuatan dan perakitan alat maka dilakukan terlebih dahulu proses validasi sebelum dilakukan pengujian. Proses validasi diperlukan dikarenakan pengujian di laboratorium menggunakan fan (satu arah) sehingga perlu dilakukan validasi dengan kecepatan angin *real* di Pelabuhan Untia Makassar. Pengujian dilakukan dalam dua variasi yaitu pengujian *hybrid VAWT* tanpa *flanged diffuser* dan dengan *flanged diffuser*. Parameter yang diukur pada tahap pengujian adalah kecepatan angin (v), putaran rotor turbin (N), torsi (T), arus (A) dan tegangan (V).



Gambar 1. Desain hybrid VAWT dengan penambahan flanged diffuser



Gambar 1. Dimensi hybrid turbine VAWT (a) tampak depan dan (b) tampak atas



Gambar 2. Dimensi flanged diffuser (a) tampak depan dan (b) tampak atas

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil validasi kecepatan angin terhadap putaran rotor *hybrid VAWT* dapat dilihat pada Tabel 1. Validasi dilakukan dengan membandingkan nilai putaran rotor turbin yang dihasilkan pada kecepatan angin yang sama pada lokasi uji yang berbeda yaitu laboratorium dan Pelabuhan Untia Makassar. Proses pengambilan data validasi hanya untuk *hybrid VAWT* tanpa *diffuser*. Terlihat pada Tabel 1 bahwa persentase selisih dari pengujian empat kecepatan berbeda yaitu relatif kecil antara 0,43 – 1,18%. Hal ini dapat dilihat berdasarkan nilai putaran rotor yang dihasilkan tidak berbeda jauh pada pengujian kecepatan yang sama. Merujuk nilai persentase selisih pada Tabel 1 didapatkan hasil bahwa semakin besar kecepatan angin maka semakin kecil nilai persentase selisih yang dihasilkan. Namun secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa pengujian di laboratorium dengan menggunakan fan dapat dilakukan karena tidak memiliki perbedaan signifikan terhadap hasil pengujian di Pelabuhan Untia yang menggunakan kecepatan angin alami karena hasil validasi menunjukkan persentase selisih yang relatif kecil untuk nilai putaran rotor yang dihasilkan. Proses pengambilan data validasi di Pelabuhan Untia dapat dilihat pada Gambar 3. Pengujian *hybrid VAWT* tanpa dan dengan *flanged diffuser* pada laboratorium dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 1. Data hasil validasi kecepatan angin terhadap putaran rotor *hybrid VAWT*

No.	v (m/s)	Laboratorium Konversi	Pelabuhan Untia	
		Energi N (RPM)	N (RPM)	Selisih (%)
1.	1,9	91,7	92,8	1,18
2.	2	111,7	112,8	0,96
3.	2,2	121,7	122,6	0,73
4.	2,4	137,9	138,5	0,43

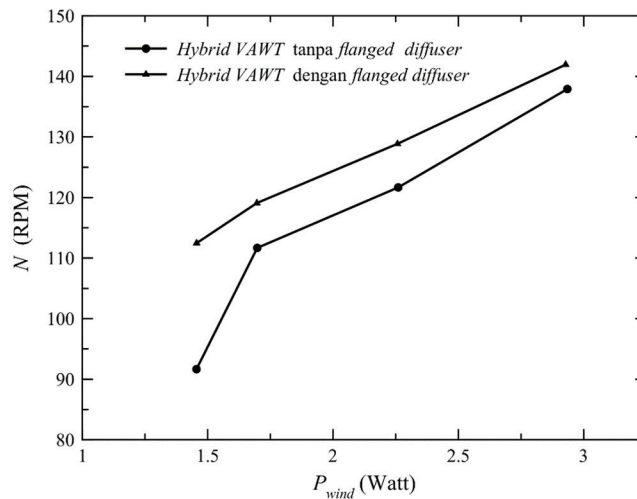


Gambar 3. Pengambilan data validasi di Pelabuhan Untia Makassar

Gambar 5 memperlihatkan grafik daya angin terhadap putaran rotor *hybrid VAWT* tanpa dan dengan *flanged diffuser*. Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat tren grafik tersebut mengalami kenaikan dimana semakin besar nilai daya angin maka diikuti dengan peningkatan nilai putaran rotor, baik untuk *hybrid VAWT* tanpa dan dengan *flanged diffuser*. Nilai tertinggi putaran rotor yang dihasilkan pada *hybrid VAWT* dengan *flanged diffuser* yaitu 141,96 RPM dimana 2,92% lebih tinggi daripada putaran rotor *hybrid VAWT* tanpa *flanged diffuser*. Hal ini dikarenakan konstruksi *flanged diffuser* mampu memberikan dampak terhadap peningkatan kecepatan angin di sisi masukan *diffuser* yaitu di sekitar area rotor *hybrid VAWT*, sehingga dengan input kecepatan angin yang sama namun dapat menghasilkan putaran rotor turbin yang lebih besar dibandingkan dengan turbin tanpa *flanged diffuser*.



Gambar 4. Pengujian *hybrid VAWT* (a) tanpa *flanged diffuser* dan (b) dengan *flanged diffuser* di Laboratorium



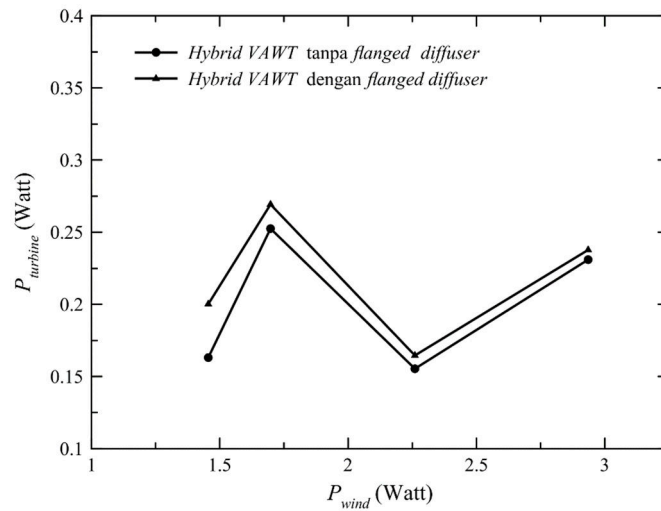
Gambar 5. Grafik hubungan daya angin dan putaran rotor *hybrid VAWT* tanpa dan dengan *flanged diffuser*

Grafik hubungan daya angin dan daya *hybrid vertical axis wind turbine* dapat dilihat pada gambar 6. Nilai Daya turbin mengalami fluktuasi baik untuk *hybrid VAWT* tanpa dan dengan *flanged diffuser*. Kecepatan putaran turbin dan torsi merupakan dua parameter yang mempengaruhi besar daya turbin. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada Gambar 5, nilai putaran rotor mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya nilai daya angin, artinya nilai putaran rotor turbin pun demikian. Namun fluktuasi nilai daya turbin dikarenakan nilai torsi yang berfluktuasi terhadap kecepatan angin. Sehingga hal tersebut turut mempengaruhi tren nilai dari daya turbin. Terlihat pada Gambar 6 bahwa Daya turbin yang dibangkitkan oleh *hybrid VAWT* dengan *flanged diffuser* lebih besar dibandingkan dengan *hybrid VAWT* tanpa *flanged diffuser*.

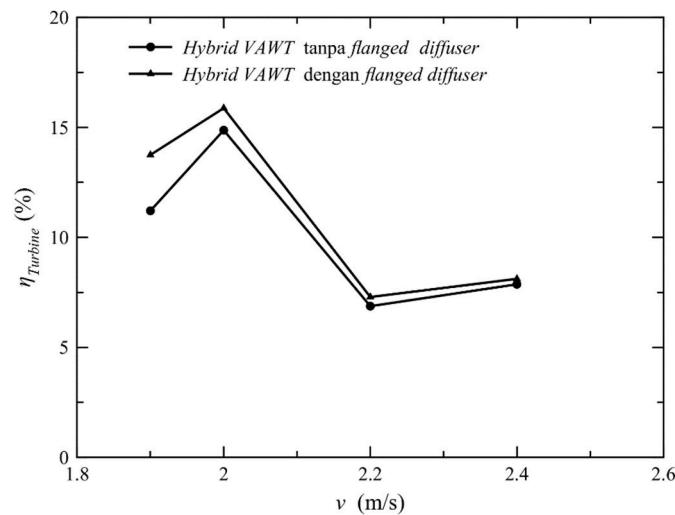
Nilai efisiensi turbin dan efisiensi generator pada *hybrid VAWT* tanpa dan dengan *flanged diffuser* dapat dilihat pada gambar 7 dan 8 dimana disajikan dalam empat variasi kecepatan angin yaitu 1,9 m/s, 2 m/s, 2,2 m/s dan 2,4 m/s. Terlihat pada Gambar 7, nilai efisiensi *hybrid VAWT* dengan *flanged diffuser* tertinggi yaitu 15,88% pada kecepatan angin 2 m/s dan terendah pada kecepatan angin 2,2 m/s dengan nilai efisiensi turbin sebesar 7,29%. Sedangkan untuk *hybrid VAWT* tanpa *flanged diffuser*, efisiensi turbin tertinggi yaitu 14,87 % pada kecepatan 2 m/s dan terendah yaitu 6,87% pada kecepatan 2,2 m/s. Nilai efisiensi *hybrid VAWT* dengan *flanged diffuser* lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa *flanged diffuser*. Sedangkan nilai efisiensi generator pada kedua *hybrid VAWT* tersebut tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan pada kecepatan

angin 1,9 m/s, dimana *hybrid VAWT* dengan *flanged diffuser* memiliki nilai efisiensi generator 4,49% dibandingkan tanpa *flanged diffuser* (Gambar 8). Pada kecepatan angin 2 – 2,4 m/s, nilai efisiensi generator kedua turbin yaitu hampir sama dengan selisih kurang dari 1%.

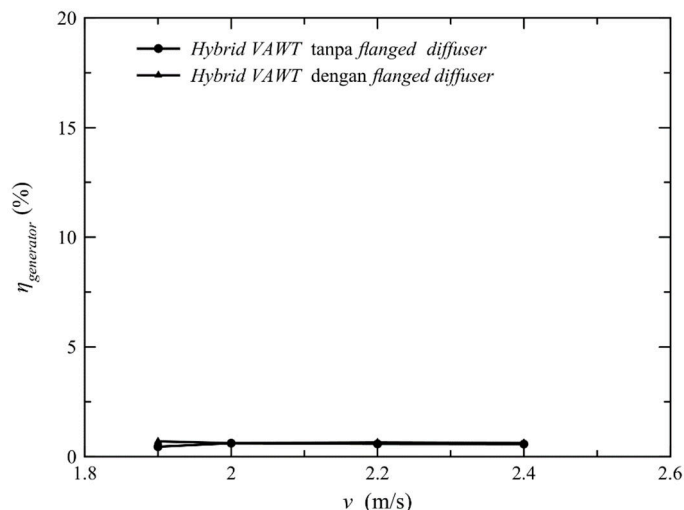
Nilai efisiensi sistem untuk *hybrid VAWT* tanpa dan dengan *flanged diffuser* pada berbagai variasi kecepatan angin dapat dilihat pada Gambar 9. Penambahan *flanged diffuser* memiliki dampak signifikan terhadap peningkatan kinerja sistem dari *hybrid VAWT*. Hal ini terlihat pada Gambar 9 bahwa efisiensi tertinggi sistem yaitu 9,69% pada *hybrid VAWT* dengan *flanged diffuser* pada kecepatan 2 m/s, sedangkan di kecepatan angin yang sama, diperoleh efisiensi sistem yaitu 9,052% untuk *hybrid VAWT* tanpa *flanged diffuser*.



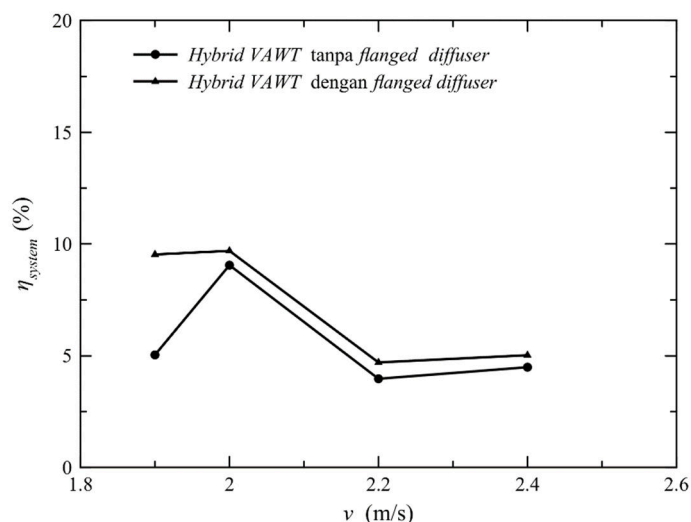
Gambar 6. Grafik hubungan daya angin dan daya *hybrid VAWT* tanpa dan dengan *flanged diffuser*



Gambar 7. Grafik hubungan kecepatan angin dan efisiensi *hybrid VAWT* tanpa dan dengan *flanged diffuser*



Gambar 8. Grafik hubungan kecepatan angin dan efisiensi generator pada *hybrid VAWT* tanpa dan dengan *flanged diffuser*



Gambar 9. Grafik hubungan kecepatan angin dan efisiensi sistem pada *hybrid VAWT* tanpa dan dengan *flanged diffuser*

4. KESIMPULAN

Studi eksperimen pengaruh penambahan *flanged diffuser* terhadap kinerja *hybrid vertical axis wind turbine* telah dilakukan. Adapun beberapa kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini yaitu konstruksi *hybrid vertical axis wind turbine* yang dilengkapi dengan *flanged diffuser* dengan sudut *flange* 0° merupakan desain konstruksi yang mampu meningkatkan nilai kinerja turbin. Efisiensi turbin pada *hybrid VAWT* dengan *flanged diffuser* yaitu 15,88% pada kecepatan angin 2 m/s, dimana lebih tinggi 1,01% daripada *hybrid VAWT* tanpa *flanged diffuser*. Oleh karena itu penambahan *flanged diffuser* dinilai mampu meningkatkan performa *hybrid VAWT*.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada unit Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah memberikan hibah dana PNBPD/DIPA 2022 Politeknik Negeri Ujung Pandang kepada penulis sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dan diselesaikan dengan baik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Adjikri, “Strategi pengembangan energi terbarukan di Indonesia,” *J. Online Mhs. Bid. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, 2017.
- [2] G. P. C. T. Hutomo, G. S. T. A. Bangga, and H. Sasongko, “CFD studies of the dynamic stall characteristics on a rotating airfoil,” in *Applied Mechanics and Materials*, 2016, vol. 836, pp. 109–114.
- [3] Y. Klistafani and M. I. Mukhsen, “Development of a shrouded wind turbine with various diffuser type structures,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 676, no. 1, p. 12040.
- [4] M. Johari, M. Jalil, and M. F. M. Shariff, “Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT),” *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 4.13, pp. 74–80, 2018.
- [5] B. D. Altan and M. Atilgan, “A study on increasing the performance of Savonius wind rotors,” *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 26, no. 5, pp. 1493–1499, 2012.
- [6] M. H. Mohamed, “Performance investigation of H-rotor Darrieus turbine with new airfoil shapes,” *Energy*, vol. 47, no. 1, pp. 522–530, 2012.
- [7] Y. Jiang, C. He, P. Zhao, and T. Sun, “Investigation of Blade Tip Shape for Improving VAWT Performance,” *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 8, no. 3, p. 225, 2020
- [8] A. Hosseini and N. Goudarzi, “Design and CFD study of a hybrid vertical-axis wind turbine by employing a combined Bach-type and H-Darrieus rotor systems,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 189, pp. 49–59, 2019.
- [9] B. A. Alquraishi, N. Z. Asmuin, S. Mohd, W. A. Abd Al-Wahid, and A. N. Mohammed, “Review on Diffuser Augmented Wind Turbine (DAWT),” *Int. J. Integr. Eng.*, vol. 11, no. 1, 2019.
- [10] Y. Klistafani, A. M. S. Yunus, M. Anshar, and S. Suwasti, “Assessment of Flange Diffuser Structures to Improve the Power Generation of a Diffuser Augmented Wind Turbine,” *Prz. Elektrotechniczny*, vol. 2022, no. 4, pp. 21–26, 2022.
- [11] Y. Klistafani, M. I. Mukhsen, and G. Bangga, “Assessment of various diffuser structures to improve the power production of a wind turbine rotor,” *Tech. Mech. J. Eng. Mech.*, vol. 38, no. 3, pp. 256–266, 2018.
- [12] T. Y. Chen, Y. T. Liao, and C. C. Cheng, “Development of small wind turbines for moving vehicles: Effects of flanged diffusers on rotor performance,” *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 42, pp. 136–142, 2012.
- [13] X. H. Wang, K. H. Wong, W. T. Chong, J. H. Ng, X. B. Xiang, and C. T. Wang, “Experimental investigation of a diffuser-integrated vertical axis wind turbine,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 463, no. 1, p. 12153.