

Ekspertimental Turbin *Zephyr* dengan Pengaruh Sudu Rotor dan Sudu Statis

Kusnadi^{a,*}, Ismail^a

^aTeknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila
Jl. Lenteng Agung Raya No. 56 RT.1/RW.3, Srengseng Sawah, Kec. Jagakarsa, Kota Jakarta Selatan,
Daerah Khusus Istimewa Jakarta 12630

*E-mail : kus64235@gmail.com

ABSTRAK

Efisiensi turbin angin sumbu vertikal tipe *zephyr* dengan mengoptimasikan parameter-parameter turbin seperti *rotor diameter*, tinggi rotor, jumlah sudu, luas penampang sudu dan sudu statis pengarah aliran angin, serta daya keluaran generator. Turbin angin tipe sumbu vertikal mengandalkan gaya *drag* maka daya yang dibangkitkan turbin naik ketika luas penampang sudu lebih besar dan akan lebih optimal ketika didukung oleh sudu statis pengarah aliran angin. Metode penelitian dengan melakukan pengujian performansi turbin angin sumbu vertikal tipe *zephyr* pada terowongan angin. Hasil dari eksperimen didapat daya turbin keluaran generator mencapai 48,95 Watt pada kecepatan angin 5 m/s.

Kata kunci: turbin sumbu vertikal, *zephyr*, rotor turbin, sudu statis, terowongan angin.

ABSTRACT

Efficiency of *zephyr* type vertical axis wind turbine requires optimization of turbine parameters such as rotor diameter, rotor height, number of blades, cross-sectional area of blades and static blades directing wind flow, as well as generator out-put power. Since the vertical axis type wind turbine relies on drag, the power generated by the turbine increases when the blade cross-sectional area is larger and will be more optimal when supported by static blades directing the wind flow. The research method is to design the rotor blades, static blades and the gap between the rotor and the static blade ring and will be tested for performance in the wind tunnel. The turbine generator output power obtained from experiments in the wind tunnel reached 48.95 Watt on wind velocity 5 m/s.

Keywords: vertical axis turbine, *zephyr*, turbine rotor, static blade, wind tunnel.

1. Pendahuluan

Turbin angin sumbu vertikal pada umumnya dianggap sebagai alternatif yang menjanjikan untuk menggantikan turbin angin sumbu horisontal terutama untuk pembangkit listrik berskala kecil di daerah perkotaan. Keuntungan utama dari turbin angin sumbu vertikal adalah kemampuan untuk menangkap angin dari segala arah walaupun kecepatan angin rendah, kurangnya mekanisme kontrol yang mahal, tingkat kebisingan yang rendah. Komponen terletak di tanah dan ini memudahkan akses, pemasangan, perawatan dan perbaikan, di sisi lain bahwa getaran adalah batas struktural yang penting karena beban sudu yang sangat bervariasi, terutama untuk aplikasi perkotaan. Salah satu tekniknya untuk mengurangi getaran adalah penurunan kecepatan rotasi turbin dengan meningkatkan soliditas [1]. Efisiensi pembangkit listrik turbin angin dalam aplikasi komersial dan domestik dapat dipengaruhi secara signifikan oleh geometri yang dibangun dan interferensi turbin yang berdekatan [2]. Pengujian turbin angin skala penuh telah dilakukan untuk memprediksi *wake effect* yang terjadi dibelakang turbin ganda VAWT [3]. Turbin angin sumbu vertikal telah ada selama bertahun-tahun dan semakin luas digunakan, serta terus meningkatkan fokus pada sumber energi terbarukan. Turbin angin sumbu vertikal memiliki kemampuan menyediakan sumber energi terbarukan ke pasar komersial domestik dan juga lingkup yang kecil karena dapat digunakan di atap dan daerah yang mempunyai aliran *turbulen* dengan lebih banyak sehingga lebih baik dari pada turbin angin sumbu horisontal [4][5][6]. Pengembangan potensi energi angin menjadi energi listrik sangat strategis untuk dilakukan [7]. Turbin *zephyr* menggunakan sudu *statis* untuk mengurangi turbulensi aliran, dengan demikian terjadi penurunan hambatan aerodinamika pada sudu turbin. Hal ini memastikan integritas mekanik yang baik dari keseluruhan sistem [8]. Penelitian

lebih lanjut mengenai hal ini dapat mengoptimalkan parameter yang meliputi desain sudu *rotor*, desain sudu *statis*, jarak antara cincin *statis* dan *rotor* untuk memperbaiki *efisiensi* turbin. Optimalisasi lainnya yang penting adalah penggunaan sudu pada ujung sudu statis untuk menginduksi tekanan rendah 60 *vortisitas* pada bagian aliran tertentu, dan dengan demikian membawa lebih banyak udara untuk masuk turbin [8]. Desain *stator* melibatkan ujung luar yang miring yang menciptakan zona tekanan rendah di belakangnya dan menarik lebih banyak udara ke dalam turbin. Ini juga membantu turbin berkinerja baik walaupun dekat dengan turbin lainnya. Ini adalah keuntungan untuk mengurangi efek *wake*, beberapa turbin beroperasi dalam jarak dekat satu sama lain di daerah perkotaan.

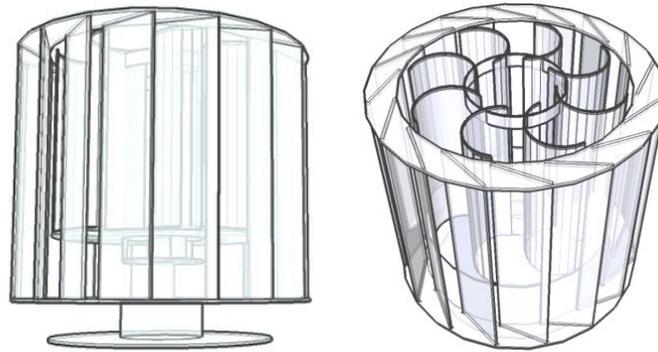
Daya keluaran sebesar 1,0 KW yang dihasilkan selama kecepatan angin 11 m/s oleh turbin VAWT *PacWind* berukuran tinggi *rotor* 1,40 dan diameter 0,76 m. *Zephyr* VAWT unik dengan sudu *statornya*, beroperasi pada kecepatan angin yang jauh lebih rendah. Ukuran tinggi *rotor* 0,76 m dan diameter 0,76 m. Fitur unik VAWT memungkinkan beroperasi di kecepatan angin rendah dan kondisi turbulensi tinggi [9]. Jumlah sudu akan mempengaruhi putaran *rotor* model turbin angin. Turbin angin 3 sudu menghasilkan kecepatan putaran yang lebih tinggi daripada 2 dan 4 sudu. Rasio kecepatan pada ujung sudu tertinggi adalah 0,555 untuk kecepatan angin 7 m/s. Rotor turbin angin dengan 4 sudu memiliki torsi tinggi dibandingkan dengan 2 atau 3 sudu. Turbin angin 4 sudu memiliki kinerja yang baik pada rasio kecepatan ujung sudu bawah, namun turbin angin 3 sudu memiliki kelebihan pada rasio ujung sudu pada kecepatan yang lebih tinggi [10]. Investigasi lebih rinci mengenai pengaruh jumlah sudu dan ukuran rotor/*stator*, kinerja keluaran dari turbin angin sumbu vertikal dipengaruhi konfigurasi di antaranya, peningkatan jumlah bilah rotor, jumlah sudu *stator*, ukuran *stator*, dan tinggi VAWT untuk meningkatkan keluaran kinerja dari VAWT [11]. Konfigurasi desain rotor/*stator* dengan diameter luar 2 m, tinggi 1 m *stator*, dan rotor masing-masing berisi 12 sudu yang dibuat dari aluminium lembaran tebal 1 mm digulung untuk membuat profil radius tetap yang sesuai dengan yang dihitung dengan menggunakan desain persamaan. Sudu dipasang sedemikian rupa sehingga jarak sudut 30° dipertahankan dan karenanya sudu dengan jaraknya relatif terhadap poros tengah putaran yang konsentris terhadap transmisi batang. Bahan yang digunakan adalah aluminium karena sifatnya yang ringan dan relatif kaku. Kedua sudu *stator* dan rotor terletak di antara 2 ring pendukung, baik di atas maupun di bawahnya bagian ujung sudu [11]. Shigemitsu dkk mengusulkan *casing simetris* untuk *cross flow* turbin angin untuk meningkatkan kinerja turbin, hasilnya menunjukkan bahwa koefisien daya turbin meningkat pada kecepatan udara pada 20 m/s dengan menggunakan *simetris casing* [12]. Takao dkk mengusulkan sebuah baris beruntun panduan diarahkan untuk memperbaiki kinerja VAWT *straight-blade*, Hasilnya menunjukkan bahwa koefisien daya meningkat sebesar 150% [13]. Chong dkk merancang *omni directional guide vane* (ODGV) sebagai alat alir arus untuk sumbu vertikal turbin angin H-*rotor*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan kinerja turbin angin ODGV yang lebih baik dengan kecepatan rotasi *rotor* yang meningkat sebesar 125% pada percobaan eksperimental dan 206% dengan simulasi numerik [14]. *Airfoil* tipe NACA 4412 dengan ukuran lebar 514 mm luas permukaan sebesar 0,559 m² serta sudu punter sudu 30° menghasilkan energi 954 Wh [15]. Korprasertsak dan Leephakpreeda mengusulkan pendorong angin pada jenis *drag-type* Savonius VAWT. Desain *booster* angin terdiri dari sisi kurva bentuk segitiga sudu *stator* merata di sekitar VAWT untuk bisa menangkap angin dari segala arah. Menunjukkan bahwa kecepatan putaran sudut meningkat lebih besar dari 50% dengan *wind booster* di bawah nol kondisi beban [16]. Generator The Switch Tipe PMG 3300-365, menghasilkan daya keluaran yang besar [17]. Kemudian hasil percobaan menunjukkan bahwa alternator mobil dengan arus eksitasi tetap bisa diimplementasikan untuk turbin angin (sampai 1 kW) tapi efisiensinya sangat rendah (sekitar 50%) dan itu mulai memproduksi daya listrik dengan kecepatan tinggi (sekitar 1000 rpm). Daya keluaran bisa ditingkatkan dengan meningkatkan rasio transmisi atau eksitasi, tapi akan meningkatkan torsi dan konsekuensi *cut-in wind speed* [18]. Studi yang telah dilakukan bahwa efisiensi teoritis untuk magnet permanen adalah 93,11% [19][20].

2. Material dan Metode Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Tabel 1, bahan yang digunakan untuk pembuatan turbin tersebut dan proses pembuatannya dengan diskrup serta dilem silikon.

Tabel 1. Komponen Turbin dan Material Serta Dimensi.

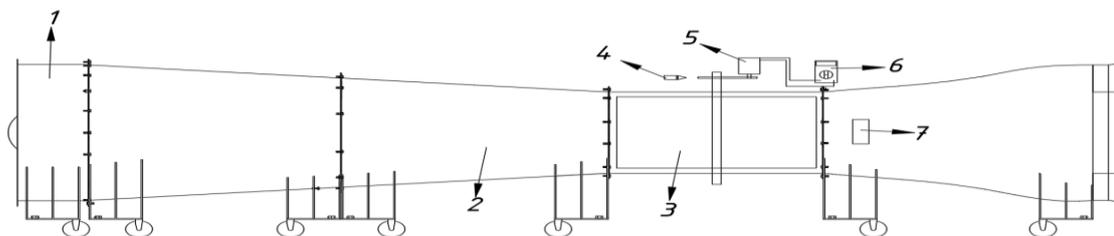
No.	Nama Komponen	Material	Dimensi(mm)	Keterangan
1.	Penampang Rotor	Triplek	Tebal 4 & Diameter 300	proses dipotong lingkaran
2.	Sudu Rotor	Pipa PVC	Diameter 110 & tinggi 250	proses dipotong ½ lingkaran
3.	Rangka bawah	Triplek	Tebal 4 & Diameter 300	proses dipotong lingkaran
4.	Rangka tengah	Balok kayu	Tebal 50 & Diameter 110	proses dipotong lingkaran
5.	Rangka atas	Triplek	Tebal 4 & Diameter 400	proses dipotong lingkaran
6.	Penampang Sudu Statis	Triplek	Tebal 4, Diameter dalam 320 & Diameter luar 400	proses dipotong lingkaran
7.	Sudu Statis	Triplek	Tebal 4, lebar 80 & panjang 320	proses dipotong panjang x lebar



Gambar 1. Desain Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Zephyr

Gambar 1 menunjukkan desain transparan dari turbin angin sumbu vertikal tipe *zephyr*. Energi kinetik angin dimanfaatkan oleh *rotor* dengan gaya dorong serta efek sudu statis sehingga rotor dapat berputar. Poros turbin berputar dikopel dengan generator. Kemudian generator menghasilkan energi listrik. Pengujian turbin angin sumbu vertikal tipe *zephyr* ini menggunakan terowongan angin dan parameter yang perlu diperhatikan di antaranya: dimensi rotor, sudu statis pengarah aliran angin, dan daya keluaran generator.

Pengujian yang dilakukan pada turbin *zephyr* ini bertujuan untuk menganalisis tingkatan performansi kerja turbin tersebut berdasarkan besaran nilai kecepatan putaran (rpm) dan keluaran daya turbin yang dipengaruhi oleh kecepatan angin. Proses pengujian turbin angin *zephyr* ini menggunakan terowongan angin sebagai sumber energi angin dengan variasi kecepatan angin 1 m/s sampai 5 m/s. Skema pengujian turbin *zephyr* dapat dilihat pada Gambar 1.2.



Gambar 2. Skema Pengujian

Gambar 2 menunjukkan nomor 1 yaitu *Axial fan* berfungsi sebagai sumber aliran kecepatan angin yang digunakan dalam pengujian, *axial fan* digunakan memiliki spesifikasi daya motor 5,5 kW, kecepatan putar 960 rpm dan kapasitas debit 7,6350 m³/s. Nomor 2 merupakan *Wind Tunnel* yang berfungsi sebagai tempat pengujian turbin angin *zephyr*, *wind tunnel* yang digunakan memiliki panjang keseluruhan ± 5 m, dengan ukuran seksi uji/*test section* 750 mm x 750 mm x 1200 mm. Nomor 3 merupakan posisi turbin angin *Zephyr*. Nomor 4 merupakan *Digital tachometer* berfungsi untuk mengukur kecepatan putar yang dihasilkan oleh turbin *zephyr*, *digital tachometer* yang digunakan adalah merk *Krisbow* tipe KW06-302 dengan spesifikasi: Akurasi ± (0,05 % + 1 digital), jarak pengukuran sebesar 160, 72, 37 mm. Skala sebesar 2,5 - 99,999 rpm. Nomor 5 merupakan generator yang berfungsi untuk menghasilkan energi listrik, generator yang digunakan adalah dinamo DC dengan tegangan 3-24 V, arus 0,5-1 A dan dapat menghasilkan daya antara 0,5-12 W. Nomor 6 merupakan *Digital multimeter* berfungsi untuk mengukur tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh *generator*. *Digitalmultimeter* yang digunakan adalah merk *Sanwa* tipe CD771 dengan spesifikasi pengukuran rentang: DCV : 400m/4/40/400/1000V, Akurasi : (±0,5 % + 2), Resolusi 0,1mV dan DCA: 400μ/4000μ/40m/400m/4/10A, Akurasi : (± 1,4 + 3), Resolusi 0,1 μ. Nomor 7 merupakan *Anemometer* berfungsi untuk mengukur kecepatan angin referensi yang digunakan dalam pengujian turbin *zephyr*, *anemometer* yang digunakan adalah merk *Testo* 405i dengan spesifikasi: Rentang pengukuran : 0 – 30 m/s, Akurasi : ± (0,1 m/s + 5 % mv) (0 – 2 m/s), ± (0,3 m/s + 5 % mv) (2 -15 m/s), Resolusi : 0,01 m/s.

Langkah-langkah dalam menganalisis data yaitu: pertama pengukuran kecepatan angin dilakukan untuk mengetahui kecepatan angin referensi yang digunakan pada saat pengujian (dalam pengujian ini variasi kecepatan angin yang digunakan adalah (1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s dan 5 m/s). Pengukuran kecepatan angin dilakukan menggunakan *hot wire anemometer*. Kedua pengukuran putaran turbin (rpm) dengan variasi kecepatan. Pengukuran dilakukan menggunakan *tachometer*, sebelum pengukuran turbin diberi tanda terlebih dahulu dengan menempelkan kertas putih agar mempermudah pengukuran nilai rpm. Ketiga pengukuran daya dari generator menggunakan *multimeter* yang terhubung dengan kabel, selanjutnya mencatat nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator. Setelah dilakukan pengukuran data, hasil pengukuran dicatat untuk selanjutnya digunakan sebagai data analisis dari turbin angin. Analisis data diperlukan Persamaan 1 untuk menghitung *Swept Area* dengan A adalah luas penampang sudu rotor

pada turbin, H adalah tinggi rotor dan D adalah diameter rotor, kemudian Persamaan 2 untuk menghitung *Tip Speed Ratio* (TSR) dengan λ adalah TSR, ω adalah kecepatan sudut turbin, v adalah kecepatan angin, kemudian Persamaan 3 untuk menghitung kecepatan sudut turbin dengan satuan rad/s, kemudian Persamaan 4 untuk menghitung daya angin pada turbin (W), m adalah laju aliran massa, gc adalah factor konversi, ρ adalah massa jenis angin, kemudian Persamaan 5 untuk menghitung laju aliran massa dan Persamaan 6 untuk menghitung gaya keliling turbin atau torsi (W).

$$A = H.D \tag{1}$$

$$\lambda = \frac{\omega R}{v_w} \tag{2}$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \text{ (rad/s)} \tag{3}$$

$$W = m \cdot (V_i^2 / 2g_c) \tag{4}$$

$$m = \rho \cdot A \cdot V_i^3 \tag{5}$$

$$T = W / \omega \tag{6}$$

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Analisis Numerik Performansi Turbin Zephyr

Proses pembuatan turbin *zephyr* dimulai dari pengukuran dimensi *test section* dengan ukuran dimensi 1200 x 750 x 750 mm, selanjutnya pembuatan desain menggunakan *software solidwork*. Setelah pembuatan desain tahapan selanjutnya adalah pemilihan alat dan bahan, kemudian pembuatan tiap bagian dari turbin angin *zephyr* yaitu: rangka turbin, sudu *rotor*, dan sudu *statis* serta *generator*. *Swept area* adalah luas efektif dari *blade* turbin angin yang menerima energi kinetik dan mengubah energi tersebut menjadi energi mekanik. Diketahui nilai tinggi turbin H = 250 mm, sedangkan diameter *end plates* turbin D = 300 mm. Berdasarkan Persamaan 1, maka diperoleh nilai Luas/*Swept area* = 7500 mm. Menghitung *Tip Speed Ratio* (TSR) setiap variasi kecepatan angin, menggunakan Persamaan 2 dan kecepatan sudut turbin menggunakan Persamaan 3, maka didapat hasil pada Tabel 2.

Tabel 2. Hubungan Putaran, *Tip Speed Ratio* (TSR), dan Kecepatan Sudut Turbin dengan kecepatan angin

Deskripsi	Kecepatan Angin (m/s)			
	2	3	4	5
Putaran (rpm)	83	214	291	374
Tip Speed Ratio	0,013	0,0224	0,0228	0,0235
Kecepatan Sudut (rad/s)	8,687	22,398	30,458	39,145

Tabel 2 menunjukkan kecepatan angin 2 m/s turbin berputar 83 rpm dan kecepatan sudut turbin 8,687 rad/s TSR 0,13. Kemudian pada kecepatan angin 3 m/s Turbin berputar 214 rpm dengan kecepatan sudut 22,398 rad/s dan TSR 0,0224, sedangkan pada kecepatan angin 4 m/s, kecepatan sudut turbin 30,458 rad/s dan TSR 0,0228. Kemudian pada kecepatan angin 5 m/s, kecepatan sudut turbin mencapai 39,145 rad/s sedangkan TSR mencapai 0,0235. Daya aliran angin pada turbin dihitung dengan Persamaan 4 dan laju aliran massa angin dihitung dengan Persamaan 5, maka didapat hasil pada Tabel 3.

Tabel 3. Daya Angin Pada Turbin (W)

Deskripsi	Kecepatan Angin (m/s)				
	1	2	3	4	5
Massa jenis udara (kg/m³)	1,224	1,224	1,224	1,224	1,224
Aliran massa (kg/s)	0,0919	0,7344	2,4786	5,8752	11,475
Daya (Watt)	0,0459	1,4688	11,1537	47,0016	143,4375

Tabel 3 menunjukkan pada kecepatan angin 1 m/s laju aliran massa mencapai 0,0919 kg/s dan daya angin mencapai 0,0459 Watt, kemudian kecepatan angin meningkat menjadi 2 m/s maka laju aliran massa mencapai 0,7344 kg/s dan daya angin 1,4688 Watt, selanjutnya kecepatan angin ditingkatkan mencapai 3 m/s sehingga laju aliran massa mencapai 2,4786 kg/s. Ketika kecepatan angin mencapai 4 m/s maka laju aliran massa meningkat menjadi 5,8752 kg/s dan daya angin mencapai 47,0016 Watt. Kemudian kecepatan angin ditingkatkan kembali mencapai 5 m/s dan laju aliran massa mencapai 11,475 kg/s dan daya angin mencapai 143,4375 Watt. Gaya keliling atau Torsi dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 6. Hasil perhitungan torsi terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Putaran sudut turbin tiap satuan waktu (rad/s) terhadap Torsi (N-m)

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Kecepatan Sudut (rad/s)	Daya (Watt)	Torsi (N-m)
1	2	8,687	1,4688	0,169
2	3	22,398	11,1537	0,497
3	4	30,458	47,0016	1,543
4	5	39,145	143,4375	3,664

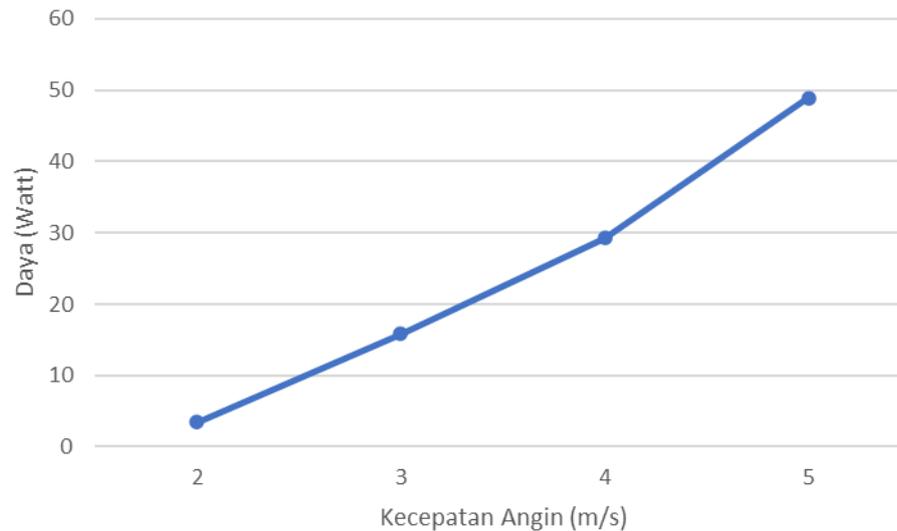
Tabel 4 menunjukkan kecepatan sudut roda turbin (rad/s) terhadap Torsi (N-m), jika kecepatan angin 2 m/s kecepatan sudut yang didapat 8,687 rad/s maka dengan daya aliran angin pada turbin 1,4688 Watt, torsi yang dihasilkan oleh turbin adalah 0,169 N-m, jika kecepatan angin 3 m/s kecepatan sudut yang didapat 22,398 rad/s maka dengan daya angin pada turbin 11,1537 Watt, torsi yang dihasilkan oleh turbin adalah 0,497 N-m, selanjutnya jika kecepatan angin naik menjadi 4 m/s maka kecepatan sudut pada turbin 30,458 rad/s dan daya aliran angin pada turbin 47,0016 Watt, torsi yang dihasilkan 1,543 N-m, jika kecepatan angin mencapai 5 m/s maka kecepatan sudut turbin 39,145 rad/s dengan daya angin pada turbin 143,4375 Watt maka torsi yang didapat 3,664 N-m.

3.2 Eksperimen Performansi Turbin *Zephyr*

Eksperimen Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe *Zephyr* pada terowongan angin adalah untuk analisis performansi turbin dengan kecepatan angin 1 - 5 m/s. Analisis data hasil pengujian yang telah dilakukan dengan pengujian daya rotor turbin (tegangan dan arus) terhadap kecepatan angin, perhitungan efisiensi turbin dan perhitungan *tip speed ratio* turbin angin sumbu vertikal tipe *zephyr*. Selain itu hasil pengujian prototipe turbin angin *zephyr* secara eksperimen pada tabel 5, menunjukkan hasil eksperimen turbin belum berputar pada kecepatan angin 1 m/s, setelah kecepatan angin naik menjadi 2 m/s turbin mulai berputar sampai kecepatan 83 rpm dan voltase yang dihasilkan generator adalah 23 volt dengan ampere 0,15, pada kecepatan angin 3 m/s menghasilkan putaran 214 rpm dengan voltase 48 Volt, sedangkan pada kecepatan angin 4 m/s dengan putaran turbin 290 rpm voltase yang didapat adalah 68 Volt dan 0,43 ampere, selanjutnya pada kecepatan angin 5 m/s voltase dan ampere yang didapat adalah 89 Volt dan 0,55 ampere sedangkan putaran turbin tersebut adalah 374 rpm. Kemudian untuk data hubungan kecepatan angin terhadap daya keluaran generator ditunjukkan gambar 3, jika kecepatan angin 2 m/s maka daya keluaran generator adalah 3,45 Watt, apabila kecepatan angin meningkat menjadi 3 m/s maka daya keluaran generator yang dihasilkan 15,84, kemudian Ketika kecepatan angin meningkat menjadi 4 m/s maka daya keluaran generator 29,24 Watt, selanjutnya di kecepatan angin 5m/s menghasilkan daya keluaran generator 48,95 Watt. Data hasil analisis numerik performansi turbin angin *zephyr* menunjukkan efisiensi hingga 34,13 % dibandingkan hasil eksperimen.

Tabel 5. Hasil Pengujian Performansi Turbin

No.	Kecepatan Angin (m/ s)	rpm	DCV	I (A)
1.	1	-	-	-
2.	2	83	23	0.15
3.	3	214	48	0,33
4.	4	290	68	0,43
5.	5	374	89	0,55



Gambar 3. Hubungan Kecepatan Angin Terhadap Daya

4. Kesimpulan

Performansi prototipe turbin angin *zephyr* meningkat sesuai dengan kecepatan angin, kecepatan angin mempengaruhi putaran turbin, kemudian putaran turbin mempengaruhi kecepatan sudut turbin, kecepatan sudut turbin mempengaruhi torsi, sehingga naik atau turunnya daya yang dihasilkan bergantung kepada kecepatan angin, kecepatan putar dan kecepatan sudut serta torsi turbin itu sendiri.

Daftar Pustaka

- [1] Tullis, S. et al., 2008, "Medium-Solidity Vertical Axis Wind Turbines for Use in Urban Environments", 7th World WindEnergy Conference, St. Lawrence College, Kingston, Ontario.
- [2] J. Yao, J. Wang, W. Yuan, H. Wang, L. Cao, Analysis on the influence of Turbulence model changes to aerodynamic performance of verticalaxis wind turbine, International Conference on Advances in Computational Modeling and Simulation. 31 (2012), 274-281.
- [3] Erwin Erwin, Tresna Priana Soemardi, Adi Surjosatyo, Yulianto Sulistityo, Nugroho, Kurnia Nugraha, Ratib Diah Andayani, Ismail : Analisis of near wake recoveri scale vawt hybrid wind turbin in wind tunnel, IOP Conf. Series : Material Science and Engineering. TICATE 2018.
- [4] P. Lynn, Onshore and Offshore Wind Energy: An Introduction, John Wiley & Sons, Queensland, 2012.
- [5] J. Roberts, Micro Wind Energy Systems in Harsh Environments, Memorial University, Newfoundland, 2009.
- [6] S. Eriksson, H. Bernhoff, M. Leijon, Evaluation of Different Turbine Concepts for Wind Power, Renewable and Sustainable EnergyReviews.12 (2008), 1419-1434
- [7] Ismail, Samsul Kamal, Purnomo, Sarjiya, budi hartono ; Economic Feasibility of Wind Farm : A Case Study for Coastal Area in South Purworejo, Indonesia, Conference and Exhibition Indonesia- New, Renewable Energy and Energi Concervation, [Th 3rd Indo EBTKE ConEx 2014].
- [8] Pope K, Rodrigues V, Doyle R, Tsopelas A, Gravelins R, Naterer GF, et al. Effects of stator vanes on power coefficients of a zephyr vertical axis wind turbine.Renewable Energy 2010;35:1043–51.
- [9] John Oviemuno Ajedegba. "Effects of Blade Configuration on Flow Distribution and Power Output of a Zephyr Vertical Axis Wind Turbine". University of Ontario Institute of Technology July, 2008.
- [10] O. D. S Hasan, R.Hantoro and G. Nugroho, Studi Eksperimental Vertikal Axis Wind Turbin Tipe Savonius dengan Variasi Jumlah Find pada Sudu. J Tek. POMITS, Vol. 2, No. 2, PP. 350 - 355 - 2013.
- [11] Setiawan Eko, Desain Eksperimen Turbin Anginn Savonius Untuk Penerangan Taman. Fak. Teknik Mesin Universitas Pancasila Jakarta, 2018.
- [12] Astu Pudjanarsa & Djati Nursuhud, Mesin Konversi Energi,Dosen Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.Tahun 2012
- [13] M. Takao, T. Maeda and Y. Kamada, A Straight-blades Vertical Axis Wind Turbine with a Directed Guide Vane Row, Journal of Fluid Science and Technology 3, 2008, pp. 379-386.
- [14] W. T. Chong, S. C. Poh, A. Fazlizan, K. C. Pan, Vertical axis wind turbine with omni directional guide vane for urban high rise building, Journal of Central South University, 19, 2012, pp. 727-732.

- [15] Ismail, Erlanda Pane, Triyanti : Optimasi Perancangan Turbin Angin Tipe *Darrieus* untuk Penerangan di Jalan Tol, Seminar Sains dan Teknologi Universitas Muhamadiyah Jakarta 2017
- [16] W. T. Chonghan Sachdev, Ashok Kumar Akella, Niranjana Kumar : Analisis and evaluation of small hidro power Plant : A bibliographical survey, *Renewable and suitable energy Reviews* 51 (2015) 1013-1022.
- [17] Ismail, Taufik Arrahman : Perancangan Turbin Angin Tiga Sudu dengan Kapasitas 3 MW, *PRESISI, VOL. 18, NO. 2. JULI 2017*
- [18] Pudji Irasari. "Experiment and Analysis of Car Alternator for wind turbine Application". *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology e-ISSN 2088-6985* Vol. 02, No 1, pp 1-10, 2011.
- [19] J.Y.Choy, S.M.Jay ad B.M Song, "Design of Direct Copled Radial Flux permanent magnet generator for wind turbines," in *power and energy society General Meeting IEEE, minneapolis, 2010, PP.1-6.*
- [20] M.jorrbian and A.Z Nejad. "Disign and Countruction of an Optimum High Power Radial Flux Direct-drive PM generator for wind aplication," *ICIEA, Xian 2009, PP524-529.*