

PENERAPAN PROTOTYPE TURBIN ANGIN APUNG (FLOATING WIND TURBINE) POROS HORIZONTAL DENGAN PUTARAN RENDAH UNTUK PERAIRAN LAUT DANGKAL

Tri Tiyasmihadi¹⁾, Ruddianto²⁾, Buddianto³⁾ dan Yohanes Dawapa⁴⁾

¹⁾Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

²⁾ Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

³⁾ Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

⁴⁾ Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

E-mail: tiyasmihadi_tri@ppns.ac.id

Abstract

Wind turbines are one of the best solutions for renewable energy, although wind turbines do not produce air pollution, but wind turbines with greater power, for example above 5 MW, wind turbines produce loud noises, are an eyesore and require a large area. soil. One solution to overcome this is to create an offshore floating structure on the high seas. The floating structure is used as a foundation to support the wind turbine. So far, the wind turbines have been built offshore and are located in shallow waters with a depth of no more than 50 meters with the foundation construction planted on the seabed. Accurate modeling of the wind turbine column structure system is important to determine the characteristics of the structure against the load it receives in unexpected sea conditions. These loads must be controlled so as not to damage the turbine and besides being able to optimize the turbine rotor to capture wind energy optimally. The stress calculation is carried out by simulation and a real model is made to be tested on the Kenjeran beach, Surabaya. Waves and wind speeds that vary cause surge, heavy and pitch motions in the floating structure are quite stable and have no significant effect on the rotation of the rotor. For a wind speed of 2.1 m/s the electrical voltage is generated and at a wind speed of 18.2 m/s an electric voltage is generated.

Keywords: *wind turbine, structure, stability, blade.*

PENDAHULUAN

Angin merupakan energi yang melimpah yang belum termanfaatkan secara maksimal pada saat ini di Indonesia. Energi angin lepas pantai (offshore) akan menjadi sumber utama penggunaan energi di seluruh daerah besar di Eropa, Amerika Serikat, Canada, Jepang dan China dan kecenderungan perusahaan-perusahaan dari industri energi tradisional akan ikut terlibat. Kecenderungan ini sudah mengarah pada upaya lebih lanjut untuk riset-riset yang sangat inten dan memperkenalkan teknologi baru ke pasar. Sebagai organisasi-organisasi baik itu industri, pemerintahan, perguruan tinggi dan lainnya ini mencoba untuk menerapkan pengetahuan mereka untuk memecahkan masalah dalam menghasilkan sejumlah besar energi listrik dari angin dengan harga murah, handal dan sangat ramah lingkungan.

Indonesia memiliki karakteristik kecepatan angin rata-rata (V_{mean}) yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan negara-negara pengguna turbin angin seperti Finlandia, Amerika Serikat, dan negara-negara lainnya. Daerah-daerah di Indonesia yang berhadapan dengan Samudra Hindia memiliki V_{mean} antara 10-30 knot, berbeda dengan negara-negara Eropa yang berkisar di antara 9-12 m/s. Karakter angin Indonesia menimbulkan masalah ketika teknologi turbin angin, yang umumnya dirancang mengikuti karakteristik angin negara-negara Eropa, diaplikasikan di Indonesia.

Turbin angin adalah salah satu solusi terbaik untuk energi terbarukan, meskipun turbin angin tidak menghasilkan polusi udara akan tetapi turbin angin yang berdaya lebih besar misalnya berdaya diatas 5 MW turbine angin menghasilkan suara yang berisik, merusak pemandangan dan memerlukan lahan tanah yang luas. Salah satu solusi untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan membuat sistem struktur apung bangunan (floating platform system). Struktur apung tersebut dipakai sebagai pondasi untuk menopang turbin angin. Selama ini sudah ada turbin angin yang dibangun dilepas pantai dan lokasinya terletak diperairan dangkal dengan kedalaman tidak lebih dari 50 m dengan konstruksi pondasi ditanam di dasar laut. Sementara itu, hembusan angin yang tinggi justru terjadi di lepas pantai yang agak jauh dari bibir pantai dengan kedalaman laut lebih dari 100 m. Menurut data dari BMKG, potensi angin yang berada di Samudra Hindia dalam hal ini 2 mil laut dari garis pantai pulau-pulau Indonesia seperti pulau Jawa, pulau Sumatra, pulau Bali, pulau Lombok, pulau-pulau Nusa Tenggara Barat dan pulau-pulau Nusa Tenggara Timur yang berada di tepi Samudra Hindia adalah cukup besar yaitu dengan kecepatan sekitar 12 m/dt. Dengan panjang garis pantai yang panjang tentunya ketersediaan energi angin sangat melimpah di Indonesia dan ini merupakan sangat potensial dibangun suatu ladang angin (*wind farm*) untuk menghasilkan energi listrik.

METODE PENELITIAN

Identifikasi masalah adalah tahapan penting sebelum dilakukannya penelitian. Identifikasi masalah akan menjadi tahap awal dalam penelitian. Setelah masalah terkait berhasil diidentifikasi, maka tahap selanjutnya masalah-masalah yang ada dirumuskan untuk memfokuskan penelitian yang dilakukan. Setelah merumuskan masalah, batasan

dari permasalahan-permasalahan yang ada juga perlu dilakukan untuk memfokuskan masalah dan adanya keterbatasan dalam pelaksanaan penelitian. Pada tahap studi literatur dilakukan pengumpulan publikasi ilmiah dari berbagai literatur yang relevan untuk dijadikan acuan dalam penelitian ini. Literatur yang digunakan pada penelitian ini berupa buku, jurnal, internet, dan penelitian terdahulu yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan.

Metode Pengumpulan Data merupakan Pengujian terhadap permasalahan yang terjadi, maka perlu dibuatkan metode yang sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu:

- Metode Simulasi

Dalam metode simulasi sudah merumuskan masalah permasalahan seperti menentukan dimensi utama kolom apung dengan metode trial and error, maka langkah-langkah yang digunakan secara umum adalah sebagai berikut:

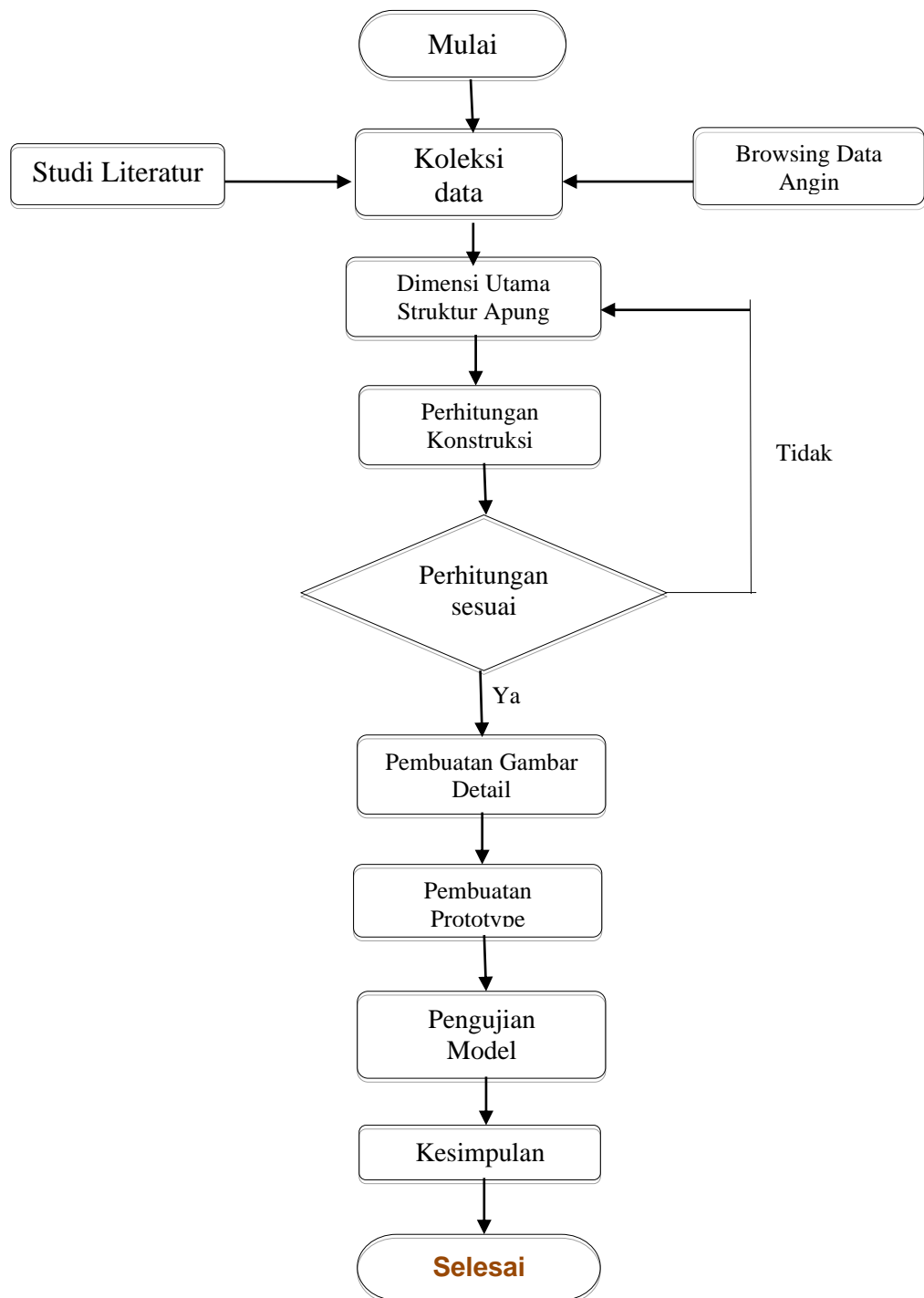
- Perhitungan kestabilan kolom apung
- Perhitungan beban hidrodinamik
- Menghitung beban aerodinamik
- Menghitung Stabilitas
- Merencanakan besarnya daya listrik
- Merencanakan rencana umum konstruksi kolom apung
- Penggambaran detail drawing

- Metode Eksperimen

Pada metode eksperimen dilakukan pembuatan *prototype* kolom apung dan pengujian terhadap *prototype* kolom apung.

- Pembuatan model dengan skala pengecilan
- Pengujian kolom apung di pantai Kenjeran.
- Validasi data hasil yang berupa uji stabilitas, aerodinamika, hidrodinamika dan tegangan (V) listrik yang dihasilkan serta putaran rotor pada berbagai kecepatan angin.

Berikut ditunjukkan diagram alir penelitian sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancangan Turbin Angin Apung *Struktur floating wind turbine* apung yang digunakan adalah dari jenis *Spar-submersible*. Ditunjukkan pada tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1.
Spesifikasi ukuran utama floating wind turbine dan asesori

Parameter	Model
Kolom apung utama (m)	$\emptyset = 0,16$ dan tinggi = 1,0
Jarak sumbu antar kolom apung (m)	0,90
Brasing kolom (m)	$\emptyset = 0,05$ dan panjang = 0,92
Tower (m)	$\emptyset = 0,05$ dan tinggi = 1,40
Draft (m)	0,76
Blade rotor (kg)	2,11
Nacelle (kg)	1,34
Volume displacement (m ³)	43,50
Generator brushless 30 W 24 V-DC (kg)	1,15
Voltmeter DC + lampu LED 5 W(kg)	0,25
Massa Total wind turbine (kg)	38,7

Tenaga atau daya angin adalah proposional dengan kerapatan udara, area daerah yang dilewati oleh angin dan kecepatan angin. Sebuah turbin angin tidak dapat 100% menggunakan energi angin, hal ini dikarenakan energi angin dipakai untuk menekan bilah rotor mengalami perubahan. Berubahnya tekanan menyebabkan kecepatan angin menurun seraya rotor menyerap energi, sehingga daya mekanikal yang didapat dari angin dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_m = \frac{1}{2} \rho (16/27 A v^3) i$$

Dimana :

$$P_m = \text{mechanical power (W)}$$

$$\rho = \text{massa jenis udara } 1,225 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$A = \text{swept area / } \pi R^2 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$v = \text{kecepatan angin (m/s)}$$

$$16/27 = \text{Betz coefficient}$$

$$C_p = \text{power coefficient (87\%)}$$

$$i = \text{ratio gearbox 4:1}$$

Dari tabel 2 tentang data kecepatan angin pada tahun 2021 daerah Kenjeran Surabaya

dan generator magnet permanen berdaya 30 W dengan efisiensi 87% dan $v = 2,16$ m/s, maka diameter rotor turbin angin dapat diperoleh radiusnya dengan persamaan [20].

$$30 = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{16}{27} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3 \cdot i \cdot C_p \right)$$

$$30 = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \left(\frac{16}{27} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot (2,16)^3 \cdot 4 \cdot 0,87 \right)$$

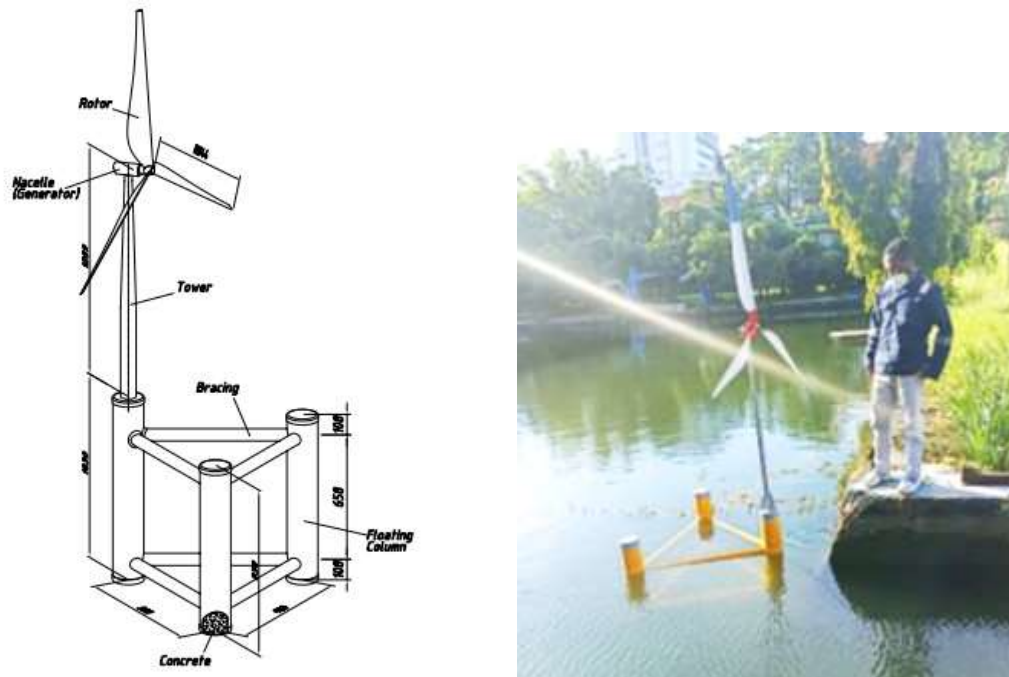
$$R = 0,856 \text{ m}$$

Tabel 2.
Data kecepatan angin di selat Madura bagian barat

Tahun 2021	Wind Speed			
	Terendah (knot)	Tertinggi (knot)	Terendah (m/s)	Tertinggi (m/s)
Januari	3,40	14,00	1,75	7,20
Februari	4,30	27,00	2,21	13,89
Maret	4,00	20,00	2,06	10,29
April	4,20	16,00	2,16	8,23
Mei	4,10	14,00	2,11	7,20
Juni	3,50	14,00	1,80	7,20
Juli	3,00	17,00	1,54	8,74
Agustus	6,90	22,00	3,55	11,32
September	6,60	36,00	3,40	18,52
Oktober	5,60	18,00	2,88	9,26
Nopember	3,00	18,00	1,54	9,26
Desember	2,80	25,00	1,44	12,86

Sumber : BMKG Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Perak Surabaya Tahun 2021

Rancangan floating wind turbine didapatkan hasil dari perhitungan di atas, maka dapat dibuat model dengan skala 1:1 atau dibuat dengan ukuran yang sebenarnya. Bahan floating wind turbine dibuat dari material paralon PVC, FRP dan beton sebagai ballast tetap. Untuk tower dengan material pipa besi galvanis, sedangkan blade / rotor terbuat dari PVC dengan airfoil type NACA 1412. Generator berdaya 30 VA jenis brushless yang dilengkapi gearbox dengan rasio 4:1.



Gambar 2. Rancangan floating wind turbine 30 watts dan uji kestabilan di kolam uji PPNS



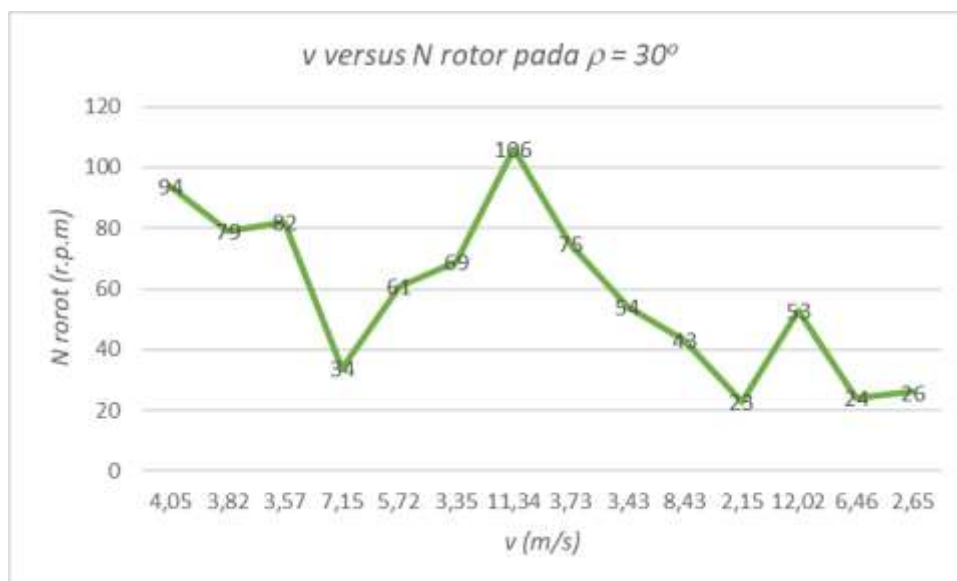
Gambar 3. Uji kestabilan dan pengambilan data di pantai Kenjeran Surabaya

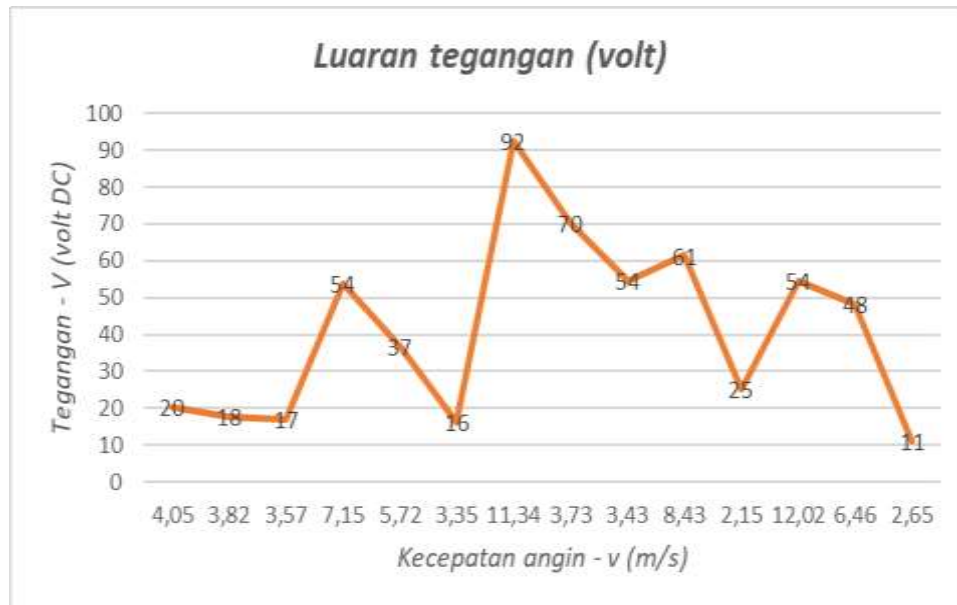
Dengan hasil data pengukuran kecepatan angin dengan variasi angle of attack 0° dan 30° dimana kecepatan angin bervariasi akan menyebabkan kecepatan perahu, arah angin dan temperatur udara. Data putaran RPM, kecepatan angin dan validasi dengan sudut serangan terdapat dalam table 3.

Tabel 3.

Data putaran rotor dan tegangan dengan variasi Angle of Attack (α) 30°

Waktu	v (m/s)	putaran rotor (rpm)	putaran generator (rpm)	Output (volts)
10:00	4,05	94	376	20
10:10	3,82	79	316	18
10:20	3,57	82	328	17
10:30	7,15	34	136	54
10:40	5,72	61	244	24
10:50	3,35	69	276	16
11:00	11,34	106	424	92
11:10	3,73	75	300	70
11:20	3,43	54	216	54
11:30	8,43	43	172	61
11:40	2,15	23	92	10
11:50	12,02	53	212	54
12:00	6,46	24	96	48
12:10	2,65	26	104	11

Gambar 4. Kecepatan angin dan putaran rotor dengan sudut masuk $\alpha = 30^{\circ}$



Gambar 5. Kecepatan angin dan luaran tegangan pada sudut masuk $\alpha = 30^\circ$

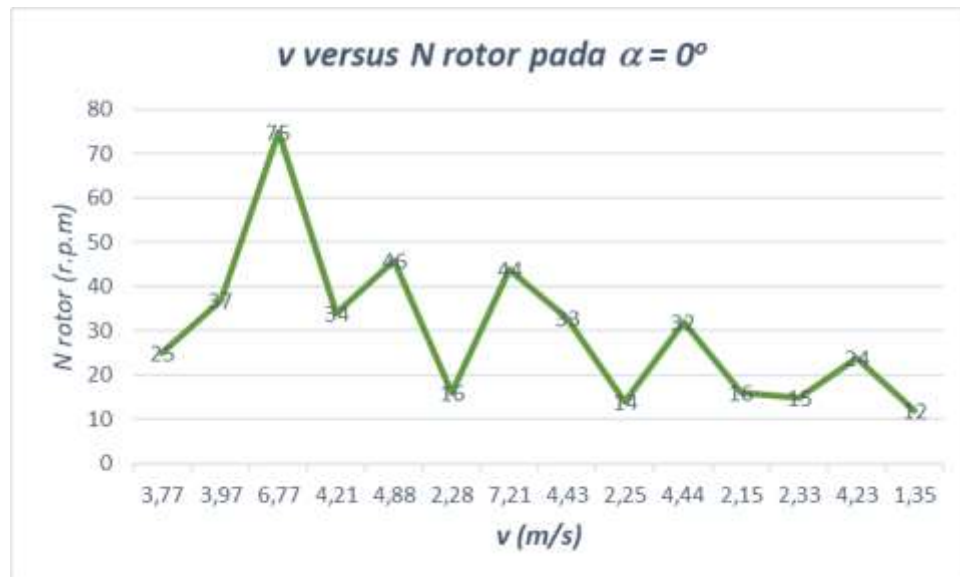


Gambar 6. Uji kestabilan dan pengambilan data kecepatan angin dan luaran tegangan pada sudut masuk $\alpha = 0^\circ$

Tabel 4.

Data putaran rotor dan tegangan dengan variasi Angle of Attack (α) 0°

Waktu	v (m/s)	putaran rotor (r.p.m)	putaran generator (r.p.m)	Output (volts)
12:40	3,77	25	100	14
12:50	3,97	37	148	12
13:00	6,77	75	300	12
13:10	4,21	34	136	31
13:20	4,88	46	184	15
13:30	2,28	16	64	11
13:40	7,21	44	176	50
13:50	4,43	33	132	39
14:00	2,25	14	56	32
14:10	4,44	32	128	35
14:20	2,15	16	64	7
14:30	2,33	15	60	32
14:40	4,23	24	96	28
14:50	1,35	12	48	8

Gambar 7. Kecepatan angin dan putaran rotor dengan sudut masuk $\alpha = 0^\circ$

SIMPULAN

Kecepatan angin sangat berpengaruh signifikan terhadap tegangan, dan stabilitas daripada turbin angin apung. Semakin besar kecepatan angin output tegangan menjadi juga besar dan pengaruh terhadap lingkungan seperti arah angin, korosi, uap air diudara dan beban mekanik mempengaruhi kinerja turbin angin apung. Pada sudut masuk (α) 0° dengan v angin terendah yaitu 1,35 m/s dihasilkan tegangan 8 volt DC, sedangkan pada kecepatan tertinggi yakni 6,67 m/s menghasilkan tegangan 75 volt DC. Pada sudut masuk (α) 30° dengan v angin terendah yaitu 2,15 m/s dihasilkan tegangan 25 volt DC, sedangkan pada kecepatan tertinggi yakni 11,4 m/s menghasilkan tegangan 92 volt DC. Hasil dari pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, dapat di ambil dari kesimpulan sebagai berikut:

- Kecepatan angin berpengaruh signifikan terhadap tegangan
- Semakin besar kecepatan angin output tegangan menjadi besar
- Faktor lingkungan seperti arah angin, korosi, uap air diudara dan beban mekanik mempengaruhi performa wind turbin.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J. D. (2003) Fundamentals of Aerodynamics. 4th edition. McGraw-Hill International Editions.
- Andrew R Henderson, David Witcher, Colin A Morgan, (2009) "Floating Support Structures Enabling New Markets for Offshore Wind Energy", European Wind Energy Conference, Marseille, France.
- Burton, T.; Sharpe, D.; Jenkins, N.; Bossanyi, E. (2001). Wind Energy Handbook. New York: Wiley.
- Denis Matha, April (2010), "Model Development and Loads Analysis of an Offshore Wind Turbine on a Tension Leg Platform, with a Comparison to Other Floating Turbine Concepts", Subcontract Report NREL/SR-500-45891
- European Wind Energy Association (EWEA). (2008) "Offshore Statistics 2008." EWEA
- Patrick J. Moriarty and Sandy B. Butterfield (2009), "Wind Turbine Modeling Overview for Control Engineers", American Control Conference Hyatt Regency River front, St. Louis, MO, USA June 10-12.
- Robert B. Zubaly (1999) "Applied Naval Architecture", Cornell Maritime Press, Centreville, Maryland, copyright
- Sheldahl, Robert E., Klimas, Paul C., (1981). "Aerodynamic Characteristics of Seven Symmetrical Airfoil Sections Through 180-Degree Angle of Attack for Use in

Aerodynamic Analysis of Vertical Axis Wind Turbines”, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM., USA.

Hapsoro, R. A. (2016). Optimasi Jarak Antar Tumpuan pada Menara Turbin Angin Sumbu Horizontal Rangka Batang Baja Tinggi 30 M. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Adlie, T. A., Rizal, T. A., dan Arjuanda. (2015). Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Sudu dengan Daya Output 1 kW. *Jurnal Ilmiah Jurutera*. 2 (2). 72 – 78.