

# Perancangan Protoype Turbin Angin Apung (Floating Wind Turbine) Poros Horisontal Untuk Perairan Dangkal

Tri Tiyasmihadi<sup>1\*</sup>, Ali Imron<sup>1</sup>, Johannes Dawapa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Politeknik Perkapalan  
Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia  
tiyasmihadi\_tri@ppns.ac.id

## Abstract

Lahan di darat yang semakin sempit dan suara yang berisik maka penempatan turbin angin di laut merupakan alternatif lain yang masuk akal dan rasional. Prototype turbin angin apung dengan jenis spar-submersible adalah yang sesuai dengan perairan dangkal karena jenis ini cukup stabil ketika berada pada kondisi gelombang air laut dan fluktuasi kecepatan angin. Kecepatan angin di pantai Kenjeran Surabaya tertinggi 4,93 m/s dan terendah 2,31 m/s sehingga kecepatan angin di daerah Kenjeran termasuk kelas rendah dan menengah, maka untuk itu dirancang sebuah prototype turbin angin dengan rotor putaran rendah dengan jenis HAWT yang dipasang di atas kolom utama turbin apung dengan generator magnet permanen putaran rendah dengan daya 50 watt, maka dihasilkan rancangan turbin angin dengan diameter rotor berdiameter 1,680 m dengan tinggi kolom utama 1,80 m dengan ketinggian 2,0 m dari permukaan air laut. Hasil dari pengujian turbin menghasilkan tegangan rerata 15 VDC.

**Kata kunci:** *floating, rotor, spar-submersible, HAWT*

## I. PENDAHULUAN

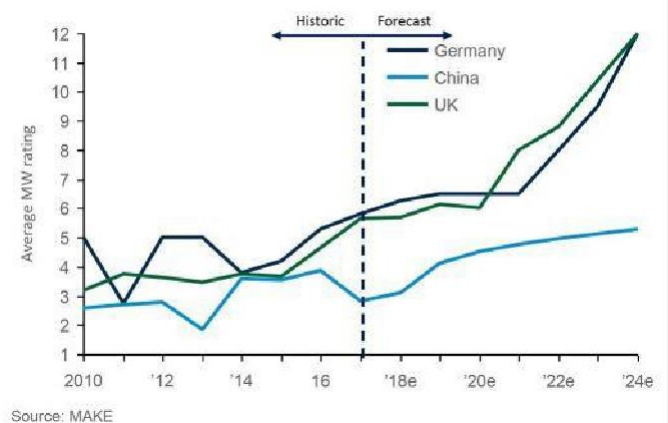
Pada dekade terakhir pembangunan ladang angin terutama di lepas pantai di seluruh dunia menyebar dengan pesat dan energi angin telah menjadi faktor penting untuk mendorong pembangunan berkelanjutan.

Pada gambar 1. proyeksi pasar akan permintaan *offshore wind turbine* khususnya *floating wind turbine* akan meningkat pada tahun 202 di Asia pasific yang dimotori oleh negara China.

Ruang lingkup penelitian ini adalah untuk menunjukkan status saat ini dari ekspansi tenaga angin global serta keadaan terkini dalam bidang teknologi turbin angin. Bagian RAM (keandalan / ketersediaan / pemeliharaan) juga diperiksa dan Biaya Energi yang Tingkatan untuk produksi listrik darat / lepas pantai disajikan. Konsekuensi negatif yang menyertai ekspansi cepat tenaga angin seperti kecelakaan, efek

lingkungan, dll. Disorot. Terutama dampak visual terhadap lanskap dan polusi suara adalah beberapa faktor yang memicu reaksi sosial. Selain itu, proses yang rumit dan panjang yang

## Turbine size projections in major offshore markets



Gambar 1. Proyeksi pasar floating wind turbine

dijinkan dari pembangkit listrik tenaga angin, biaya modal yang tinggi dari investasi dan ketidakstabilan jaringan karena sifat angin yang terputus-putus, juga merupakan hambatan yang signifikan dalam pengembangan produksi energi angin. Tren saat ini di bidang penelitian dan pengembangan produksi tenaga angin darat dan lepas pantai dianalisis. Akhirnya penelitian ini mencoba untuk mencapai estimasi di mana target industri angin untuk tahun-tahun mendatang.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### Turbin angin jenis spar-submersible

Jenis spar-submersible terdiri dari tiga tabung kolom besar yang dihubungkan satu sama lain oleh anggota tubular. Turbin angin diletakkan pada salah satu tabung kolom atau di semua



kolom. Pada penelitian ini turbin angin diletakkan pada pusat geometrik tabung kolom yang didukung dengan penguat lateral. Tabung-tabung kolom diisi dengan air yang dianggap sebagai pemberat yang mana dalam kondisi mengapung akan memberikan stabilitas pada struktur apung tersebut. Berikut ini tinjauan dari jenis-jenis beban mempengaruhi ketika mendesain struktur kolom apung turbin angin.

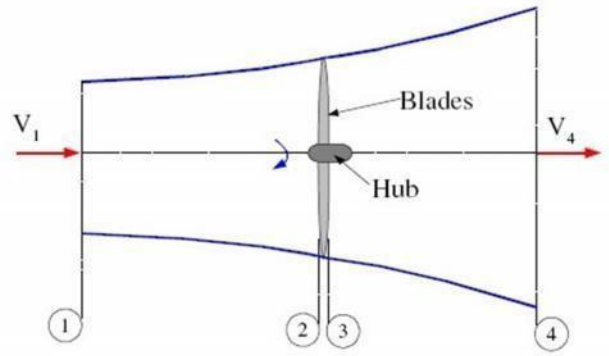


Gambar 3. Lift and drag force on the blade rotor

Kecepatan adalah salah satu aspek dari turbin angin antara lain kecepatan angin ( $V_{\infty}$ ) yang seragam, kecepatan tangensial ( $V_t = \omega R$ ) adalah kecepatan bilah rotor hasil dari perkalian kecepatan angular dan radius rotor turbin angin, kecepatan induksi ( $V_i$ ) adalah kecepatan inlet bilah rotor yang tergantung pada kondisi bangun (*wake condition*) yang mana turbin angin sumbu vertikal memiliki perbedaan kecepatan inlet antara daerah hulu (*upstream*) dan hilir (*downstream*) dan kecepatan relatif ( $W$ ) adalah penjumlahan kecepatan vektor dari kecepatan inlet dan kecepatan tangensial ( $W = V + \mathcal{N}$ ). Tip speed ratio ( $\lambda$ ) adalah perbandingan antara kecepatan tangensial dengan kecepatan angin ( $\lambda = V_t / V_{\infty}$ ). Aspect ratio ( $AR = C/L$ ) adalah perbandingan panjang chord bilah dengan panjang bilah dan *solidity* ( $s$ ) adalah perbandingan luas total bilah dengan keliling luas VAWT.

**Momentum Theory**

Dianggap tabung aliran di sekitar turbin angin yang ditunjukkan pada gambar 1. Empat stasiun ditunjukkan dalam diagram 1, beberapa cara hulu turbin, 2 sebelum bilah, 3 setelah bilah dan 4 beberapa alur bawah bilah. Antara 2 dan 3 energi diekstrak dari angin dan ada perubahan tekanan sebagai hasil. [1]



Gambar 2. Tabung aliran aksial pada turbin angin

Diasumsikan  $P_1 = P_4$  dan  $V_2 = V_3$ , dapat juga diasumsikan bahwa aliran antara 1 dan 2 antara 3 dan 4 adalah aliran tanpa gesekan sehingga dapat diaplikasikan persamaan Bernoulli :

$$p_2 - p_3 = \frac{1}{2} \rho (V_1^2 - V_4^2) \tag{1}$$

Telah diketahui bahwa Gaya adalah tekanan dikali dengan luasan, maka:

$$dF_x = (p_2 - p_3) dA \tag{2}$$

$$dF_x = \frac{1}{2} \rho (V_1^2 - V_4^2) dA \tag{3}$$

Menentukan faktor induksi aksial seperti ;

$$a = (V_1 - V_2) / V_1 \tag{4}$$

dapat juga ditulis :

$$V_2 = V_1 (1 - a) \tag{5}$$

$$V_4 = V_1 (1 - 2a) \tag{6}$$

Dan disubstitusi sehingga:

$$dF_x = \frac{1}{2} \rho V_1^2 [4a(1-a)] 2\pi r dr \tag{7}$$

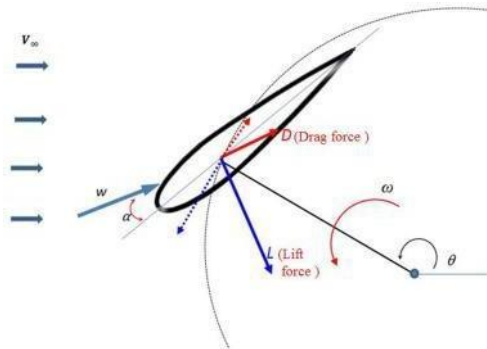
**Power Output**

Kontribusi terhadap total daya dari setiap anulus adalah :

$$dP = \Omega dT \tag{8}$$

$$P = \int_{rh}^R dP dr = \int_{rh}^R \Omega dT dr \tag{9}$$





Gambar 3. Lift and drag force on the blade rotor

III. METODOLOGI

Pengujian terhadap permasalahan yang terjadi, maka perlu dibuatkan metode yang sesuai dengan tujuan penelitian dan tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar 3. Penelitian dilakukan dengan dua tahap, yaitu:

1. Metode simulasi dan model dengan skala pengecilan
2. Metode eksperimen untuk model

Metode Simulasi

Sesudah merumuskan masalah permasalahan seperti menentukan ukuran atau dimensi dengan metode trial and error, maka langkah-langkah yang digunakan secara umum adalah sebagai berikut:

1. Menghitung dimensi blade atau rotor
2. Menghitung Konstruksi

Metode Ekperimen

Pada metode eksperimen dilakukan pembuatan dan pengujian terhadap turbin angin yang sudah dibuat dan validasi data hasil yang berupa luaran tegangan (V) generator magnet permanen serta putaran rotor pada berbagai kecepatan angin.

IV. HASIL PENELITIAN

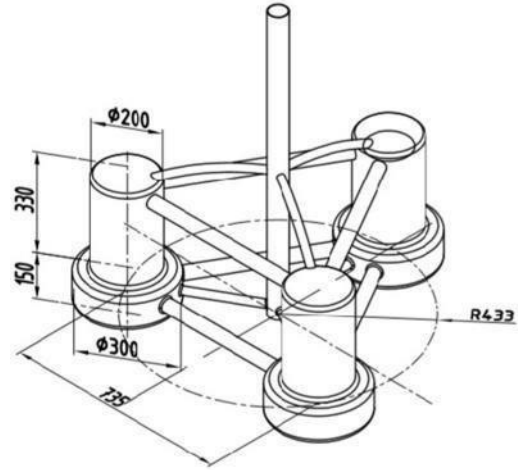
Rancangan Floating Structure.

Floating yang digunakan adalah jenis spar-submesible floating dengan dimensi yang dapat terdapat pada tabel 4.1

Tabel 1. Data struktur apung

Komponen Floating Structure	Dimensi
Main Column	$\varnothing = 0,062$ m dan tinggi = 1,70 m
Offset column	$\varnothing = 0,200$ m dan tinggi = 0,30 m
Jarak sumbu antar offset column	0,745 m
Bottom column	$\varnothing = 0,300$ m dan height= 0,10 m

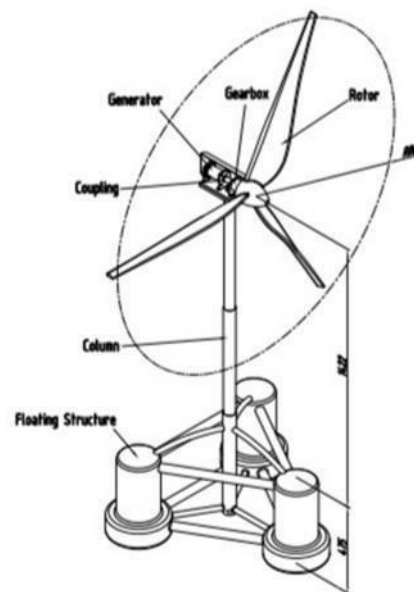
Ponton dan Penguat silang	$\varnothing = 0,032$ m
Draft	0,050 m
Elevasi main column di atas air	1,650 m
Massa wind turbine	2,78 kg



Gambar 4. Rancangan struktur apung jenis spar-submersible

Rancangan Blade Wind Turbine.

Daya atau tenaga angin adalah proposioanal dengan kerapatan udara, area daerah yang dilewati angin dan kecepatan angin. Relasi variable tersebut dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut.



Gambar 4. Rancangan Rotor / Blade



$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V^3 \tag{10}$$

Yang mana  $P_w$  = daya angin (W),  $\rho$  = massa jenis udara ( $\text{kg/m}^3$ ),  $A$  = lingkaran rotor / swept area ( $\text{m}^2$ ),  $V$  = kecepatan angin (m/s). Pada temperature dan tekanan yang standar ( STP = 273 K and 101.3 kPa ), maka persamaan [2] berkurang menjadi :

$$P_w = 0,647 A V^3 \tag{11}$$

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:

$$P_m = \frac{1}{2} \rho \left( \frac{16}{27} A V^3 \right) \tag{12}$$

Dimana,  $P_m$  = mechanical power (W),  $\rho = 1,225$  ( $\text{kg/m}^3$ ),  $A$  = lingkaran rotor / swept area ( $\text{m}^2$ ),  $v$  = kecepatan angin (m/s) dan  $16/27$  = Betz coefficient.

Dari tabel 1 tentang data kecepatan angin pada bulan September di daerah Kenjeran Surabaya dan generator magnet permanet daya 300 W dengan efisiensi 86%, maka diameter rotor turbin angin dapat diperoleh radiusnya dengan persamaan [13].

$$P = \frac{1}{2} \rho \left( \frac{16}{27} A V^3 \right) \tag{13}$$

Untuk VAWT dimana  $A = 2 R L$ ,  $L$  adalah tinggi bilah 0,82 m, sehingga

$$300 \cdot 0,86 = \frac{1}{2} \rho \left( \frac{16}{27} \cdot \pi \cdot 2 R L V^3 \right) \tag{14}$$

$$R = \sqrt{\frac{300 \cdot 0,86}{0,593 \cdot \pi \cdot 0,82 \cdot 1,225 \cdot 4,65^3}} \tag{14}$$

$$R = 1,18\text{m} \tag{15}$$

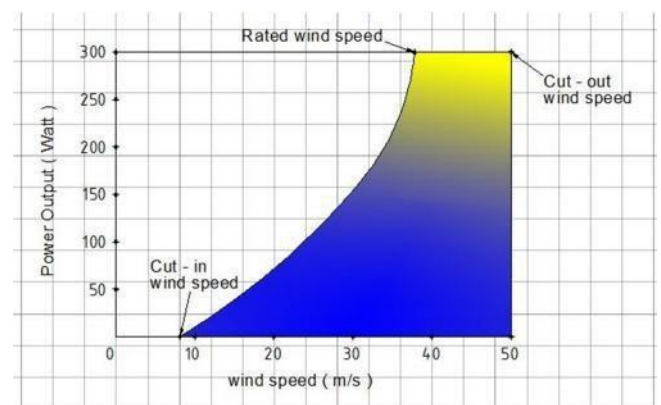
Tabel 1. Data Kecepatan Angin

Bulan	Kecepatan angin rata-rata (m/s)	Arah (°)
Januari	3,62	320
Februari	2,58	300
Maret	3,10	150
April	2,58	70

Mei	3,62	340
Juni	3,62	130
Juli	4,13	140
Agustus	4,65	120
September	4,65	110
Oktober	4,65	110
Nopember	4,65	10
Desember	3,10	330

Gambar 4. Rancangan Rotor / Blade

Gambar 5. Generator Magnet Permanet



Gambar 10. Kurva Power Versus Kecepatan Angin

Hasil data pengukuran kecepatan angin dengan variasi

angle of attack  $-5^\circ$ ,  $0^\circ$  dan  $30^\circ$  dimana kecepatan angin bervariasi disebabkan kecepatan perahu, temperatur udara dan arah angin.

Gambar 11. Rancangan Beban

Gambar 12. Tegangan yang dihasilkan

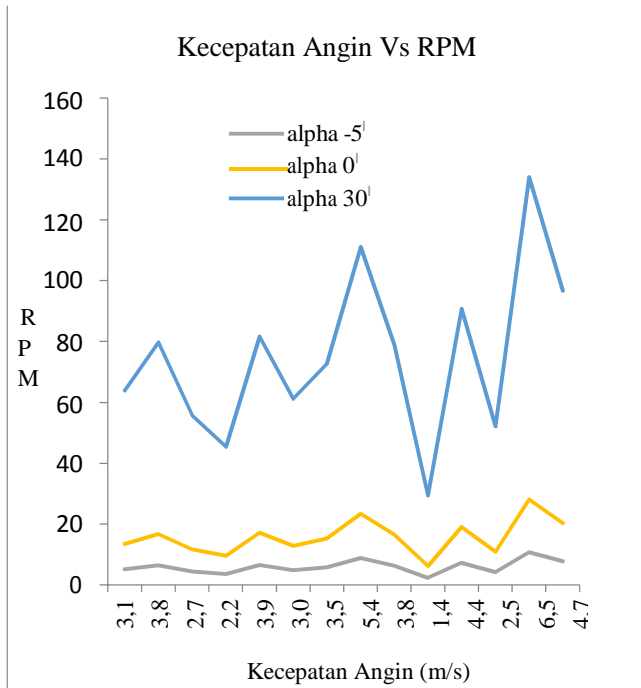
Table 2. Data putaran RPM dengan variasi Angle of Attack

NO	Wind Speed (m/s)	$\alpha = -5^\circ$	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 30^\circ$
1	3,08	5	13	64
2	3,84	6	17	80
3	2,68	4	17	56



4	2,19	4	10	46
5	3,93	7	17	82
6	2,95	5	13	61
7	3,50	6	15	73
8	5,35	9	23	111
9	3,80	6	17	79
10	1,42	2	6	30
11	4,37	7	19	91
12	2,51	4	11	52
13	6,45	11	28	134
14	4,66	8	20	97

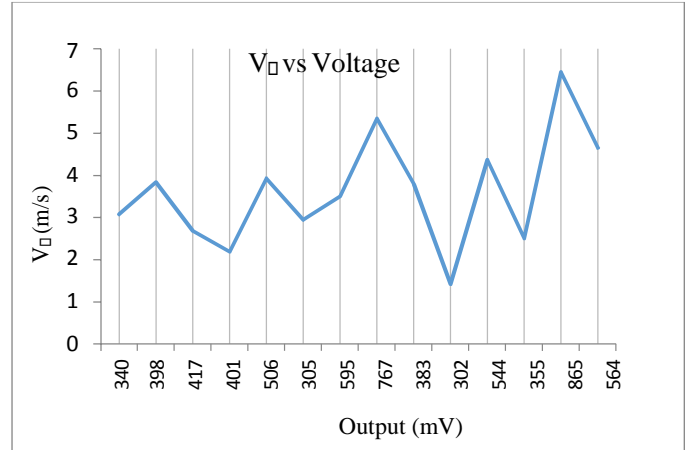
9	3,80	383
10	1,42	302
11	4,37	544
12	2,51	355
13	6,45	865
14	4,66	564



Gambar 11. Kurva RPM, kecepatan perahu dan angle of attack

Table 3. Data kecepatan angin dengan luaran tegangan

NO	Wind Speed (m/s)	Tegangan (mV)
1	3,08	340
2	3,84	398
3	2,68	417
4	2,19	401
5	3,93	506
6	2,95	305
7	3,50	595
8	5,35	767



Gambar 12. Kurva luaran tegangan terhadap kecepatan angin

KESIMPULAN

Kecepatan angin berpengaruh signifikan terhadap tegangan, semakin besar kecepatan angin output tegangan menjadi besar dan faktor lingkungan seperti arah angin, korosi, uap air di udara dan beban mekanik mempengaruhi kinerja turbin angin.

REFERENCES

- [1] A. Balmaceda, C. Maynez, Wind turbines: types, design, and efficiency (John Wiley & Sons, 2010)
- [2] Manwell, J., McGowan, J., and Rogers, A. (2002). *Wind Energy Explained. Theory, Design and Application*. John Wiley and Sons, Ltd.
- [3] 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, 2009.
- [4] Burton, T.; Sharpe, D.; Jenkins, N.; Bossanyi, E. Wind Energy Handbook. New York: Wiley, 2001.
- [5] 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.
- [6] Reuss, R.L., Hoffmann, M.J., Gregorek, G.M., December 1995. 'Effects of Surface Roughness and Vortex Generators on the NACA 4415 Airfoil, The Ohio 48 State University, Columbus, Ohio, USA. Retrieved from [http://wind.nrel.gov/OSU\\_data/reports/7x10/N4415\\_7x10.pdf](http://wind.nrel.gov/OSU_data/reports/7x10/N4415_7x10.pdf) on November 3, 2005.



**Halaman ini sengaja dikosongkan**

