

ANALISIS KEKUATAN BILAH TURBIN ANGIN DARRIEUS H-ROTOR MENGUNAKAN AIRFOIL NACA 0012

1st Muhammad Farenzi Rahmantlya
Teknik Mesin
UPN Veteran Jakarta
Jakarta, Indonesia
1910311073@mahasiswa.upnvj.ac.id

2nd Sigit Pradana
Teknik Mesin
UPN Veteran Jakarta
Jakarta, Indonesia
sigitpradana@upnvj.ac.id

3rd Armansyah.
Teknik Mesin
UPN Veteran Jakarta
Jakarta, Indonesia
armansyah@upnvj.ac.id

Bilah memainkan peran utama dan penting bagi turbin, termasuk pada turbin darrieus tipe H-rotor dimana harus dipastikan untuk memperoleh desain yang baik hingga optimal dalam mengeluarkan daya. Maka dari itu, penulis memutuskan memilih penelitian untuk menganalisa tegangan material dan perubahan bentuk di rancangan desain sudu turbin angin pada dua material yang berbeda. Penelitian ini diawali dengan menentukan pemodelan desain satu sampai tiga sudu, kemudian perhitungan gaya yang diterima oleh bilah dan analisa simulasi untuk menentukan material mana yang lebih baik. Metode simulasi yang digunakan hanya struktur statis dengan tiga kecepatan angin, dan daya kapasitas maksimum turbin sebesar 125 W. Setelah simulasi dilakukan pada kedua desain, sudu turbin angin darrieus berbahan aluminium lebih kuat 1.67 kali dibanding desain dengan bahan balsa. Meskipun balsa mempunyai nilai tegangan maksimum yang lebih tinggi, dengan tegangan maksimum sebesar 24,4 MPa dan daya 227,2 W pada angin 8m/s tetapi melebihi tegangan titik luluhnya yang sebesar 20 MPa dan memiliki deformasi yang cenderung besar, yakni sebesar 5,1 mm serta faktor pengaman 0,8.

Kata kunci : Turbin angin Darrieus, H-Rotor, Material bilah, Tegangan, Deformasi

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan kekhawatiran akan habisnya sumber energi fosil dan potensi bahaya lingkungan yang ditimbulkan oleh penggunaan bahan bakar fosil, energi terbarukan kini menjadi perhatian. Sumber energi ini salah satunya dapat bersumber dari angin. Energi angin memiliki sumber energi yang cukup fleksibel karena diterapkan di banyak tempat seperti di daerah datar, daerah pegunungan, dan di laut. Dengan struktur sederhana, desain kompak, portabel, dan suara yang rendah (Cooper dkk., 2010 & Hirahara dkk. 2005) turbin angin kecil kini menjadi perangkat ekstraksi energi angin yang vital di daerah pedesaan. Turbin angin kecil telah diintegrasikan di atap rumah domestik, pertanian, komunitas terpencil, dan perahu (Ozgener O. & Ozgener L., 2007). Berbeda dengan turbin angin sumbu horizontal (HAWT) yang lebih besar

yang terletak di area yang ditentukan oleh kondisi angin yang optimal, turbin angin kecil diharuskan untuk memproduksi daya tanpa harus memiliki kondisi angin terbaik (Faser H. & Gross A., 2011 dan Mayer dkk., 2001)

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Turbin Angin

Turbin angin atau juga dikenal sebagai kincir angin merupakan mesin yang mampu mengubah energi angin menjadi listrik. Turbin angin berfungsi untuk mengubah energi kinetik angin menjadi gerakan dalam bentuk rotasi rotor dan poros; energi gerakan yang dihasilkan dari angin kemudian diteruskan sebagai gerakan dan torsi ke poros generator, yang kemudian menghasilkan energi listrik. Berdasarkan sumbu gerakannya, turbin angin dibagi menjadi dua jenis, yaitu turbin angin sumbu horizontal dan vertikal. Sementara itu, berdasarkan gaya aerodinamis, turbin angin dibagi menjadi dua jenis: *lift* dan *drag*.

B. Perhitungan Pada Turbin

1) Daya Angin

Nilai daya pada angin dapat diperoleh dari persamaan berikut.

$$P_{\text{angin}} = \frac{1}{2} \rho v^3 A \quad (1)$$

Dimana,

P_{angin} = Daya keluaran (W)

ρ = Densitas udara (kg/m³)

v = Kecepatan (m/s)

2) Daya Mekanik

Sementara itu, nilai dari daya mekanik turbin juga bisa didapat dari rumus dibawah.

$$P_{\text{mekanik}} = \omega \cdot T \quad (2)$$

Dengan,

P_{mekanik} = Daya mekanik (W)

ω = Kecepatan putaran turbin (rad/s)

T = Torsi (Nm)

3) Luas Sapuan Permukaan Turbin

Luas sapuan pada sudu turbin dapat ditemukan dengan persamaan berikut:

$$A_{\text{swept}} = \pi \times D \times H \quad (3)$$

Dimana,

D= Diameter turbin

H= Panjang bilah

4) Kecepatan Rotasi

n atau kecepatan rotasi turbin (RPM), dapat ditentukan oleh persamaan berikut:

$$n = \frac{60 V}{\pi 2R} \quad (4)$$

Dimana:

V = Kecepatan angin

R = Radius dari rotor

5) Torsi

T merupakan torsi pada turbin, yang dinyatakan dalam persamaan ini:

$$T = 9,55 \times \frac{P}{n} \quad (5)$$

Dimana:

F = Torsi bilah (Newton meter)

P = Daya yang dikirim ke rotor (Watt)

n = Kecepatan sinkron (rpm)

9,55=konstanta

6) Gaya

Untuk gaya pada bilah dinyatakan dalam persamaan berikut

$$F = \frac{T}{R} \quad (6)$$

Dimana,

F= Gaya (Newton)

T= Torsi (Nm)

R= Radius turbin (meter).

C. Stress dan Displacement

Tegangan atau stress dapat didefinisikan sebagai gaya atau reaksi per unit area, yang menyebabkan deformasi pada suatu objek. Hal ini dapat mengukur intensitas gaya dan terdiri dari dua jenis: engineering stress dan true stress (Lammirta & Tediato, 2018). Hubungan antara stres, gaya, dan luas area dapat dijelaskan dengan persamaan tertentu

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dimana,

σ = Tegangan

F = Gaya yang diberikan

A = Luas penampang

Regangan adalah perubahan panjang suatu struktur akibat gaya yang diterapkan. yakni perbedaan antara panjang awal material dan panjang material setelah akibat adanya gaya tarik atau tekan. Regangan memiliki batas, di mana sifat elastis berhenti, dan tegangan serta

regangan tidak lagi berhubungan secara linier setelah material mencapai plastisitas.

$$\epsilon = \frac{\delta l}{l}$$

Dimana,

δl = Perubahan panjang benda

l = Panjang benda asli

D. Teori Von Misses

Von Mises (1913) mencatat bahwa yielding terjadi ketika energi distorsi atau energi regangan geser dari suatu material mencapai nilai kritis. Energi distorsi adalah bagian dari total energi regangan per unit volume yang terlibat dalam perubahan bentuk. Konsep ini dapat dirumuskan menjadi persamaan Von Mises stres atau equivalent tensile stress, σ , yaitu:

$$\sigma_{vm} = \left\{ \frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 + \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \right\}^{0.5}$$

Dimana,

σ_1 = tegangan axial/maximum principal stress

σ_2 = tegangan radial/intermediate principal stress

E. σ_3 =tegangan tangensial/minimum principal stress

F. Safety Factor

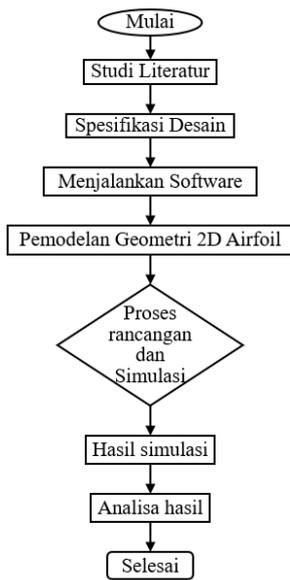
Kekuatan suatu material dibagi oleh faktor desain untuk menentukan tegangan desain (σ_d), atau dapat disebut juga dengan tegangan yang diizinkan (allowed stress). Maka dari itu, tegangan aktual pada suatu komponen harus tetap di bawah tegangan desain. Nilai faktor desain untuk peralatan biasanya adalah

Tabel 1 Faktor keselamatan umum secara keseluruhan

FOS - Factors of Safety - Equipment	
Equipment	Factor of Safety - FOS -
Aircraft components	1.5 - 2.5
Boilers	3.5 - 6
Bolts	8.5
Engine components	6 - 8
Heavy duty shafting	10 - 12
Lifting equipment - hooks	8 - 9
Pressure vessels	3.5 - 6
Turbine components - static	6 - 8
Turbine components - rotating	2 - 3
Spring, large heavy-duty	4.5
Structural steel work in bridges	5 - 7
Wire ropes	8 - 9

III. METODE PENELITIAN

A. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

B. Material yang digunakan

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aluminium alloy 1060 dan kayu balsa

Tabel 3 Sifat mekanik Aluminium

Property	Value	Units
Elastic Modulus	6.9e+10	N/m ²
Poisson's Ratio	0.33	N/A
Shear Modulus	2.7e+10	N/m ²
Mass Density	2700	kg/m ³
Tensile Strength	68935600	N/m ²
Compressive Strength		N/m ²
Yield Strength	27574200	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	2.4e-05	/K

Tabel 2 Sifat mekanik Balsa

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2999999232	N/m ²
Poisson's Ratio	0.29	N/A
Shear Modulus	299999910.5	N/m ²
Mass Density	159.989899	kg/m ³
Tensile Strength		N/m ²
Compressive Strength		N/m ²
Yield Strength	19999972	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient		/K
Thermal Conductivity	0.05	W/(m.K)

C. Prosedur penelitian

Penelitian ini mengikuti tahapan-tahapan berikut:

1. Tahap Pertama

Peneliti mengidentifikasi masalah dan merumuskan isu berdasarkan judul skripsi, serta melakukan tinjauan pustaka tentang analisis tegangan dan perpindahan pada bilah turbin angin

2. Tahap kedua

Peneliti menentukan dimensi dari turbin angin Darrieus yang akan dianalisis, seperti yang dijelaskan dalam tabel 4

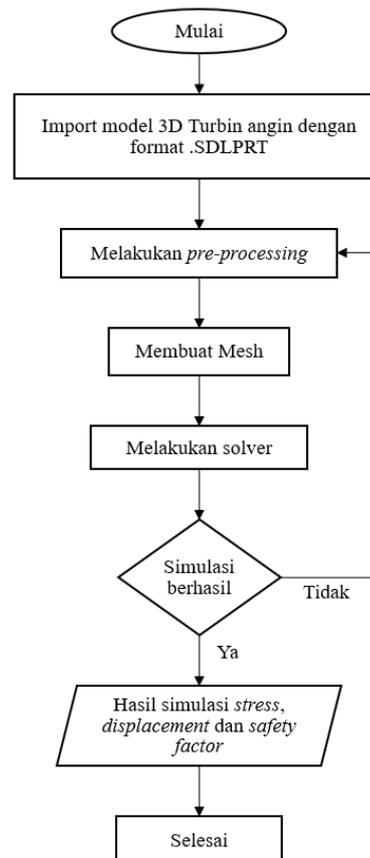
3. Tahap Ketiga

Peneliti menggunakan metode elemen hingga dalam perangkat lunak CAD untuk mensimulasikan dan memperoleh hasil distribusi tegangan dan perpindahan untuk analisis.

D. Spesifikasi Turbin Angin

No	Jenis Turbin	Darrieus H
1	Jenis Axis	Vertical Axis Wind Turbin
2	Diameter	0,96 meter
3	Panjang Chord	30 cm
4	Tinggi Blade	107 cm
5	Material Blade	Kayu Balsa & Aluminium Alloy 1060
6	Jumlah Blade	3 buah
7	Nomor NACA	0012

E. Langkah-langkah simulasi



Gambar 2 Langkah-langkah simulasi

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Awal

Kapasitas daya maximum turbin angin adalah:
 $P_w = 125 \text{ W}$

Kecepatan angin untuk dapat mengekstraksi daya tersebut:

$$V_w \text{ (m/s)} = 4 \text{ m/s}$$

Agar stabil, rasio diameter terhadap tinggi blade adalah $D/H = 0.9$, $D = 0.9H$

$$A_{swept} = \pi \times D \times H = \pi \times 0.9 \times H^2$$

$$P_w = 0.5 \times A_{swept} \times \rho_{udara} \times V^3$$

$$125 = 0.5 \times \pi \times 0.9 \times H^2 \times 1.225 \times 4^3$$

$$125 = 109,18 \times H^2$$

Sehingga dapat dihitung,

$$H^2 = (125/109.18)$$

$$H = 1.0699 \text{ m}$$

Maka diameter (D) yang diperoleh yaitu:

$$D = 0.9H$$

$$D = 0.96 \text{ m}$$

Kemudian dapat dilakukan perhitungan chord. Besarnya nilai solidity untuk penelitian VAWT ini adalah 0.4, maka panjang chord minimum untuk jumlah blade 3 buah dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

$$\sigma = NB \times C \times r$$

$$0.4 = 3 \times C \times 0.48$$

$$C = 0.277 \text{ m}$$

Maka dapat ditentukan bahwa tinggi dari blade, $H = 1.07 \text{ m}$ dan diameter dari VAWT, $D = 0.96 \text{ m}$. Sehingga $D/H = 0.96/1.07 = 0.89$. Kemudian besarnya luasan sapuan dari bilah adalah:

$$A_{swept} = \pi \cdot R \cdot H$$

$$A_{swept} = \pi \cdot 0,48 \cdot 1,07$$

$$A_{swept} = 1,61 \text{ m}^2$$

Tekanan angin dapat diketahui dengan cara mengkonversi kecepatan angin menggunakan persamaan 1. Nilai Torsi pada turbin juga dapat dicari melalui persamaan 5. Untuk memenuhi persamaan dan menentukan gaya yang bekerja pada bilah turbin angin, perhitungan tersebut dituliskan sebagai berikut:

Perhitungan pada turbin dengan kecepatan angin 4 m/s :

$$\text{Daya : } P = 0,5 \cdot \rho \cdot A_{swept} \cdot C_p \cdot v^3$$

$$P = 0,5 \cdot \frac{1,225g}{l} \cdot 1,61 \text{ m}^2 \cdot 0,45 \cdot \left(4 \frac{m}{s}\right)^3 = 28,4 \text{ W} = 0,28 \text{ kW}$$

$$\text{Rotasi putaran (n): } n = \frac{60 \lambda v}{\pi 2R}$$

$$n = \frac{60 \cdot 5,4m/s}{\pi \cdot 2 \cdot 0,48} = 397,88 \text{ RPM}$$

$$\text{Torsi (T) : } T = 9,55 \times \frac{P}{n}$$

$$T = 9,55 \times \frac{28,4}{397,88} = 0,68 \text{ Nm}$$

$$\omega = \frac{P}{T}$$

$$\omega = \frac{28,4}{0,68} = 41,7 \text{ rad/s}$$

$$\text{Gaya: } F = \frac{T}{R}$$

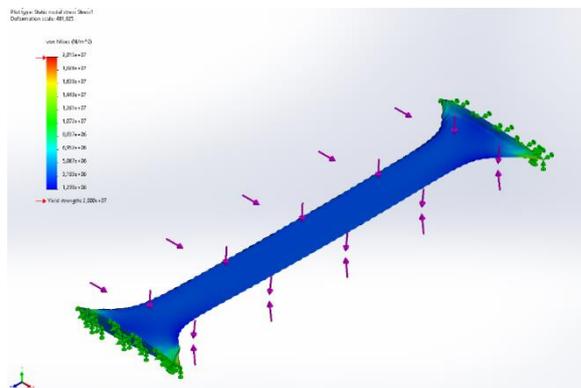
$$F = \frac{0,68 \text{ N.m}}{0,48 \text{ m}} = 1,41 \text{ N}$$

Tabel 4 Nilai gaya turbin Darrieus H-Rotor NACA 0012

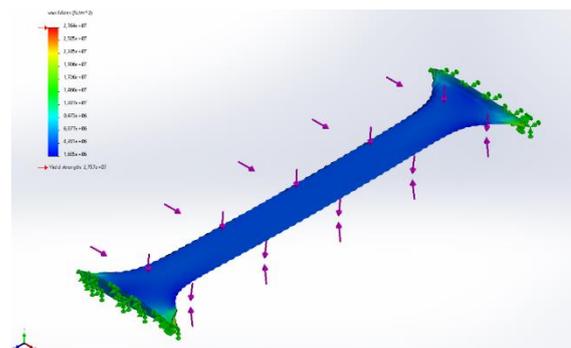
No	V (m/s)	P (W)	Torsi (Nm)	F (N)	ω	rpm
1	8	227,2	2,72	5,6	83,5	795,7
2	6	95,8	1,53	3,18	62,6	596,8
3	4	28,4	0,68	1,41	41,7	397,88

B. Simulasi tegangan von misses stress pada satu sudu

Salah satu tujuan dari penelitian ini adalah meneliti kekuatan bahan material sudu turbin angin darrieus tipe H-rotor. Maka dari itu cara yang pertama adalah *test force* (kekuatan) atau dengan kata lain menguji model turbin dengan diberi beban sebesar x Newton, sampai salah satu dari kedua material mengalami deformasi plastis (*fractured*).



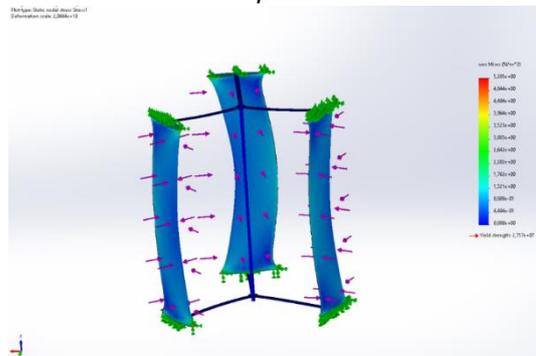
Gambar 3 Material Balsa ketika di uji beban sebesar $4.8 \times 10^3 \text{ N}$



Gambar 4 Material Aluminium ketika di uji beban sebesar $8.05 \times 10^3 \text{ N}$

Dari simulasi pertama ini dapat diketahui kekuatan material dengan membagi beban maksimum dari kedua material yaitu $8.05 \times 10^3 \text{ N}$ dengan $4.8 \times 10^3 \text{ N}$. Maka hasil yang didapatkan dari simulasi pertama ini adalah bahwa material airfoil berbahan dasar aluminium lebih kuat sebesar 1.67 kali lipat dibanding material berbahan kayu balsa.

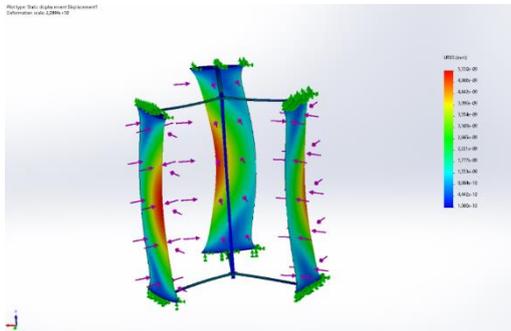
C. Simulasi Von Misses pada material Aluminium



Gambar 5 Tegangan von misses bilah aluminium saat kecepatan angin 4m/s

Hasil perhitungan pada tabel 4 menunjukkan turbin angin Darrieus H-rotor mengalami gaya sebesar 1,41 N saat angin berkecepatan 4 m/s, Dan untuk tegangan Von Mises maksimum pada bilah, ditunjukkan dalam Gambar sebesar 5,2 Mpa.

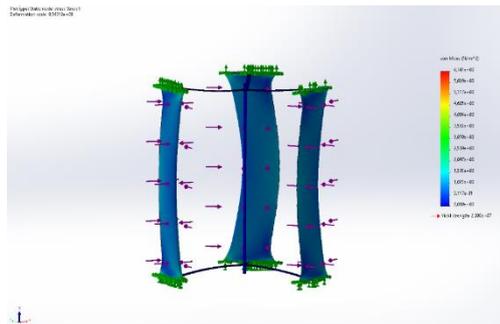
D. Simulasi Displacement pada material Alumunium



Gambar 6 Displacement bilah alumunium yang terjadi saat angin 4m/s

Hasil perhitungan pada table 4.1 menunjukkan gaya sebesar 1,41N pada kecepatan angin sebesar 4m/s dapat diamati displacement yang terjadi pada sudu turbin darrieus tipe h-rotor dari hasil simulasi static pada gambar 0,05 mm.

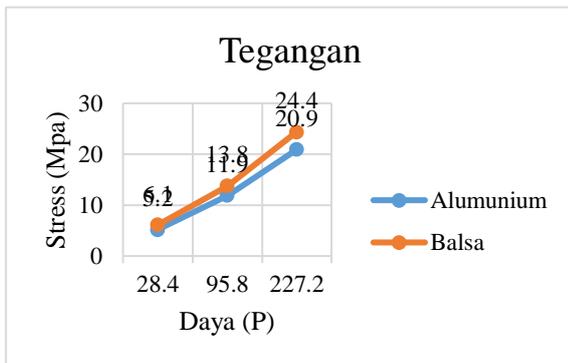
E. Simulasi Von Misses pada material Balsa



Gambar 7 Tegangan von misses bilah balsa saat kecepatan angin 4 m/s

Tegangan yang semakin tinggi ditunjukkan warna yang lebih terang menuju merah dengan nilai yield strength sebesar 27,57 MPa, namun dari hasil simulasi didapat tegangan sebesar 6,1 MPa untuk kecepatan angin 4 m/s. maka dapat dikatakan material aman karena di bawah titik luluh.

F. Hasil Analisis Von misses pada kedua material



Berdasarkan gambar diagram 4.31 turbin angin dengan bahan balsa memiliki nilai tegangan maximum paling besar senilai 24,4 MPa pada saat kecepatan angin 8 m/s dan daya 227,2 W namun melebihi batas izin kekuatan luluh (*yield strength*) dari sifat material kayu balsa sebesar 20 MPa. Sehingga material kayu balsa tidak dapat dikatakan aman pada kecepatan angin 8m/s dan daya 227,2 W. Dengan demikian hasil simulasi menunjukkan selain pada bertambahnya nilai daya dan torsi, desain sudu darrieus tipe H memiliki pengaruh terhadap besarnya distribusi tegangan yang diterima sudu angin savonius yang dapat mempengaruhi pemilihan desain sudu yang optimal.

V. KESIMPULAN

Material dari sudu turbin angin berpengaruh terhadap distribusi tegangan (*stress*) dan deformasi (*displacement*) pada turbin angin. Desain turbin angin berbahan alumunium memiliki nilai yang lebih optimal namun gaya yang diterima pun lebih besar sehingga menyebabkan distribusi tegangan yang terjadi dan *safety factor* lebih besar meskipun memiliki deformasi yang lebih kecil. Sudu dengan material balsa juga mengalami kondisi tegangan *von misses* yang lebih besar di kecepatan angin 4 dan 6 m/s. Namun, pada saat angin berkecepatan 8 m/s nilai tegangan melebihi batas titik luluh (*yield strength*) sehingga material dapat mengalami deformasi plastis, yaitu perubahan bentuk suatu material secara permanen. Dari dua bilah material, yang optimal saat digunakan yaitu desain sudu dengan bahan dasar alumunium hal ini dapat dilihat dari *displacement* yang terjadi pada bilah alumunium jauh lebih kecil dibanding balsa. Kedua material dari sudu turbin ini telah dilakukan simulasi tegangan *von misses* saat kecepatan angin masing-masing berbeda

REFERENCES

- [1] Capecchi, D., Ruta, G., "Strength of Materials and Theory of Elasticity in 19th Century Italy", 2015.
- [2] Urone, P., Hinrichs, R., Dirks, K., & Sharma, M. *College physic by OpenStax*, University of Central Florida, Orlando, Florida; 2016
- [3] Cooper P., Kosasih P., Ledo L., *Roof mounting site analysis for micro-wind turbines*, Renewable Energy 2010; 36:1379-1391
- [4] Hirahara H., Hossain M., Nonomura Y., *Testing basic performance of a very small wind turbine designed for multi – purposes*, Renewable Energy 2005; 30: 1279 – 1297.
- [5] Ozgener O., Ozgener L. *Energy and reliability analysis of wind turbine systems: a case study*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 2007; 11:1811–1826.
- [6] Fasel H., Gross A., *Numerical Investigation of Different Wind Turbine Airfoils*, the University of Arizona, Tucson; 2011
- [7] Mayer C., Bechly M., Hampsey M., and Wood D. *The starting behavior of a small horizontal-axis wind turbine*, Renewable Energy 2001; 22:411-417
- [8] International Renewable Energy Agency Paper., *Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series*; 2012.
- [9] Ahmad Hemami, 2012. *Wind Turbine Technology*. New York: Cengage Learning.
- [10] Mojtaba Ahmadi-Baloutaki, R. Carriveau, and David S.-K. Ting, "Straight-bladed vertical axis wind turbine rotor design

- guide based on aerodynamic performance and loading analysis,”* vol. 228, no. 7, pp. 742–759, Jun. 2014.
- [11] Biadgo, A.M., Simonovic, A., Komarov, D. & Stupar, S., 2013. Numerical and Analytical Investigation of Vertical Axis Wind Turbine. *FME Transactions*, vol. 41, No 1.
- [12] Ebobi, O., 2013. The Influence of Blade Chord on the Aerodynamics and Performance of Vertical Axis Wind Turbines. Thesis, The University of Sheffield.
- [13] Ahmed, Mahmoud & Abdel Gawad, Ahmed., 2016. *Utilization of Wind Energy in Green Buildings*.
- [14] Anonim, 2015. *Dasar-dasar Perancangan Bilah*. PT. Lentera Angin Nusantara
- [15] Lammirta dan Tediato, 2018. Analisis Tegangan dan Defleksi pada Balok Kastela dengan Bukan Rhomb Menggunakan Metode Elemen Hingga, *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, hlm 55-64.
- [16] Hidayat, M.F. (2014) 'Analisa Aerodinamika Airfoil NACA 0012 Dengan ANSYS Fluent, Analisa Aerodinamika Airfoil NACA 0021 Dengan Ansys Fluent, 10(2), pp. 83–92.
- [17] Salafudin, H. (2015). Desain Dan Analisis Kekuatan Pada Rangka Kendaraan Jenis Prototype Sesuai Standar Shell Eco Marathon Asia. 20
- [18] Augustiantyo, B. dan Setiawan, R.'Optimasi Desain Bilah Dengan Metode Linearisasi Chord Dan Twist Terhadap Performa Turbin Angin Sumbu Horizontal'. *Jurnal Media Mesin*, Vol. 22 No. 2