

ANALISIS KETAHANAN BEBAN DINAMIS MATERIAL TURBIN ANGIN TERHADAP KECEPATAN PUTAR ROTOR (RPM) MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Lasinta Ari Nendra Wibawa

Balai Uji Teknologi dan Pengamatan Antariksa dan Atmosfer
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)
Email: lasinta.ari@lapan.go.id

Dwi Aries Himawanto

Program Studi Magister Teknik Mesin
Universitas Sebelas Maret
Email: dwiarieshimawanto@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji tentang ketahanan beban dinamis material CFRP dan Aluminium 6061 untuk material turbin angin terhadap kecepatan putar rotor (rpm). Desain 3 (tiga) bilah turbin angin menggunakan airfoil NACA 2415 dengan panjang 500 mm. Analisis dilakukan secara numerik dengan menggunakan software Autodesk Inventor Professional 2017. Variasi kecepatan rotor yang digunakan yaitu 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm, dan 400 rpm. Hasil penelitian menunjukkan material CFRP memiliki faktor keamanan yang lebih baik daripada material Aluminium 6061 saat pengujian dengan menggunakan kecepatan rotor 400 rpm.

Kata kunci: turbin angin, naca 2415; metode elemen hingga; *carbon fiber reinforced polymer (cfrp)*; aluminium 6061; rpm.

ABSTRACT

This study examined the dynamic load resistance of CFRP and Aluminum 6061 materials for wind turbine material to rotor speed (rpm). Design 3 (three) wind turbine blades using NACA 2415 airfoil with length of 500 mm. The analysis is done numerically using Autodesk Inventor Professional 2017 software. Variations in rotor speed used are 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm, and 400 rpm. The results showed that the CFRP material had a better safety factor than the Aluminum 6061 material when testing using 400 rpm rotor speed.

Keywords: *wind turbine; naca 2415; finite element method; carbon fiber reinforced polymer (cfrp); aluminum 6061; rpm.*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi dari tahun ke tahun terus meningkat. Hal ini mendorong berbagai pihak untuk meneliti energi alternatif. Salah satu energi alternatif yang tengah diteliti dan dikembangkan saat ini yaitu energi angin. Energi angin memiliki beberapa kelebihan dibandingkan energi alternatif yang lain. Beberapa kelebihan energi angin adalah teknologinya cukup sederhana, tidak menimbulkan emisi, dan dapat dilakukan di berbagai tempat dengan ketersediaan angin yang melimpah.

Kapasitas terpasang Pembangkit Listrik Tenaga Angin/Bayu (PLTB) pada tahun 2016 hanya mencapai sekitar 1,12 MW (1). Kondisi ini terlihat sangat ironis mengingat potensi energi angin di Indonesia yang dapat dikembangkan mencapai 1,6 GW. Jika dibandingkan dengan kapasitas PLTU yang mencapai 29.880,23 MW, kapasitas PLTB hanya mencapai 0,0037 persen dari total kapasitas PLTU. Hal ini seharusnya menjadi perhatian serius mengingat PLTU sangat tergantung pada ketersediaan bahan bakar fosil khususnya batubara untuk proses pembangkitnya.

Turbin angin merupakan media utama yang digunakan untuk mengubah energi angin menjadi energi listrik. Desain turbin angin yang baik sangat menentukan kinerja dari pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB). Struktur turbin angin yang baik harus mampu menahan beban dinamis yang ditimbulkan oleh perubahan lingkungan di sekitar lokasi penempatan turbin.

Beban dinamis adalah beban yang dapat terjadi atau bekerja secara tiba-tiba pada sebuah struktur. Beban dinamis umumnya kecil tetapi berubah-ubah terhadap waktu. Beban dinamis dapat berupa beban

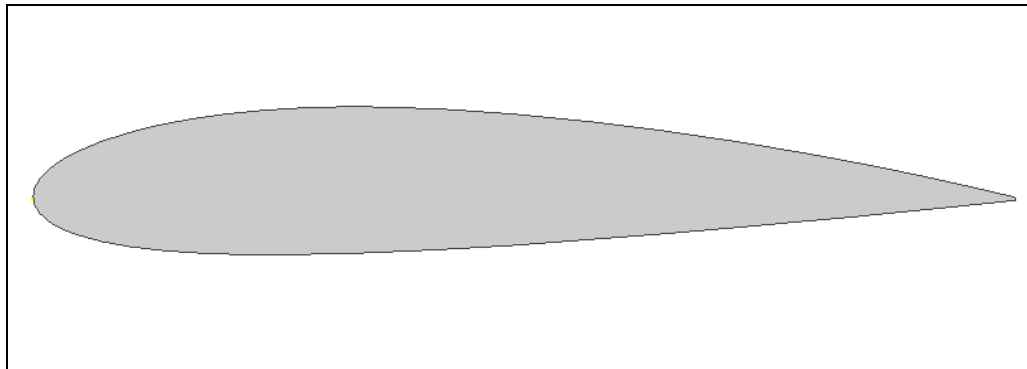
angin, beban seismik, beban *fatigue*, dan frekuensi natural. Faktor kemanan untuk suatu struktur mampu menahan beban dinamis yaitu 2-3 (2).

2. METODOLOGI PENELITIAN

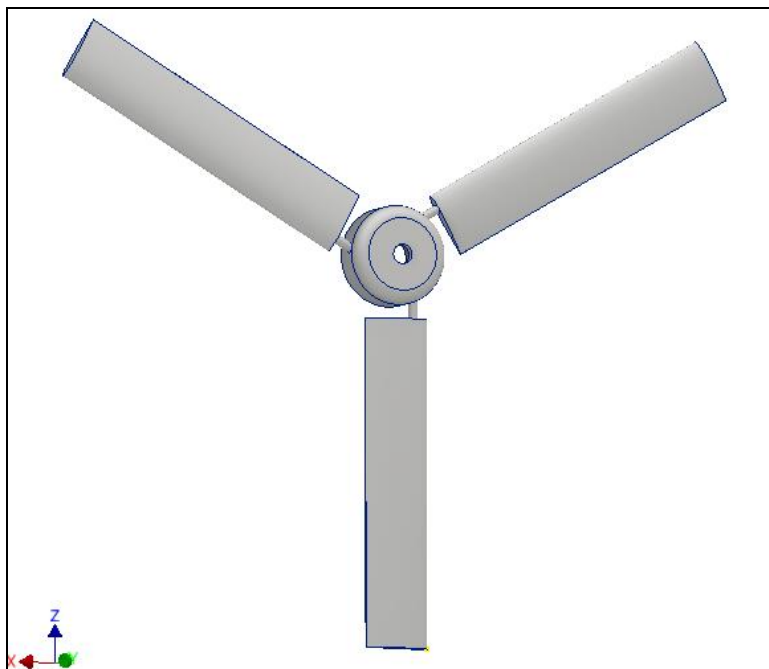
Penelitian ini menggunakan perangkat lunak (*software*) Autodesk Inventor Professional 2017 untuk membuat gambar 3 Dimensi (3D) dan melakukan pengujian analisis tegangan (*stress analysis*) dari baling-baling Turbin Angin.

Autodesk Inventor merupakan perangkat pemodelan parametrik 3D. Parametrik mengacu pada penggunaan parameter desain untuk membangun dan mengendalikan model 3D yang dibuat. Dengan kata lain, untuk memulai sebuah desain terlebih dahulu harus membuat sketsa dasar untuk menentukan profil dari *part*. Dimensi digunakan sebagai parameter untuk mengatur panjang dan lebar. Parameter dimensi memungkinkan untuk menyusun sketsa dengan masukan yang tepat. Hal ini sangat memudahkan kita saat sedang mendesain suatu produk atau rancangan (3).

Analisis elemen hingga adalah teknik numerik matematis untuk menghitung kekuatan dan perilaku struktur teknik. Secara prinsip, analisis elemen hingga adalah analisis dari obyek kompleks yang dipecahkan dengan membagi obyek menjadi jala (*mesh*) elemen yang lebih kecil sehingga kalkulasi dapat diatur dan dijalankan. Analisis tegangan yang dilakukan oleh Autodesk Inventor menggunakan metode ini untuk memungkinkan kita menganalisis desain yang sesuai dengan keinginan kita (4).



Gambar 1. Profil Airfoil NACA 2415



Gambar 2. Desain 3D baling-baling Turbin Angin

Jenis baling-baling yang digunakan adalah *horizontal axis wind turbin blade* dengan *Airfoil NACA 2415* sebanyak 3 bilah (*blade*) dengan panjang tiap bilah yaitu 500 mm (5). Material yang digunakan untuk simulasi yaitu Aluminium 6061 dan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*. Variasi dari kecepatan putar rotor yaitu, 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm, dan 400 rpm. Parameter Analisis Tegangan dengan menggunakan Autodesk Inventor Professional 2017 secara lengkap dapat dilihat dari Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Parameter analisis tegangan

<i>Parameter</i>	<i>Keterangan</i>
Tipe Simulasi	Single Point
Tipe bilah Turbin Angin	<i>Airfoil NACA 2415</i>
Jumlah bilah	3 bilah
Panjang bilah turbin angin	500 mm
<i>Average element size</i>	0,01 mm
<i>Minimum element size</i>	0,01 mm
<i>Safety Factor</i>	Berdasarkan <i>yield strength</i>
Jumlah node	8811
Jumlah elemen	4476

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Sifat Fisik Material

Tabel 2 menunjukkan sifat fisik dari material Aluminium Al 6061 dan CFRP. Data menunjukkan bahwa densitas material CFRP sebesar 1,43 gram/cm³ atau lebih kecil daripada Aluminium yang sebesar 2,7 gram/cm³. Hal ini berdampak pada massa material CFRP sebesar 3,492 kg, sedangkan Aluminium sebesar 6,593 kg. Hal ini menunjukkan bahwa material CFRP lebih baik ketimbang material Aluminium 6061 karena memiliki massa yang lebih ringan.

Nilai *yield strength*, *ultimate tensile strength*, *young modulus*, *poisson ratio*, dan *shear modulus* menunjukkan bahwa material CFRP lebih unggul daripada material Aluminium 6061. Tabel 2 menunjukkan sifat fisik material CFRP dibandingkan dengan material Aluminium 6061.

Tabel 2. Perbandingan sifat fisik material

<i>Material</i>	<i>CFRP</i>	<i>Aluminum 6061</i>
<i>Density</i>	1,43 g/cm ³	2,7 g/cm ³
<i>Mass</i>	3,4917 kg	6,59273 kg
<i>Area</i>		385077 mm ²
<i>Volume</i>		2441750 mm ³
<i>Center of Gravity</i>		x=51,9613 mm y=0,920456 mm z=595,469 mm
<i>Yield Strength</i>	300 MPa	275 MPa
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	577 MPa	310 MPa
<i>Young's Modulus</i>	133 GPa	68,9 GPa
<i>Poisson's Ratio</i>	0,39 ul	0,33 ul
<i>Shear Modulus</i>	47,8417 GPa	25,9023 GPa

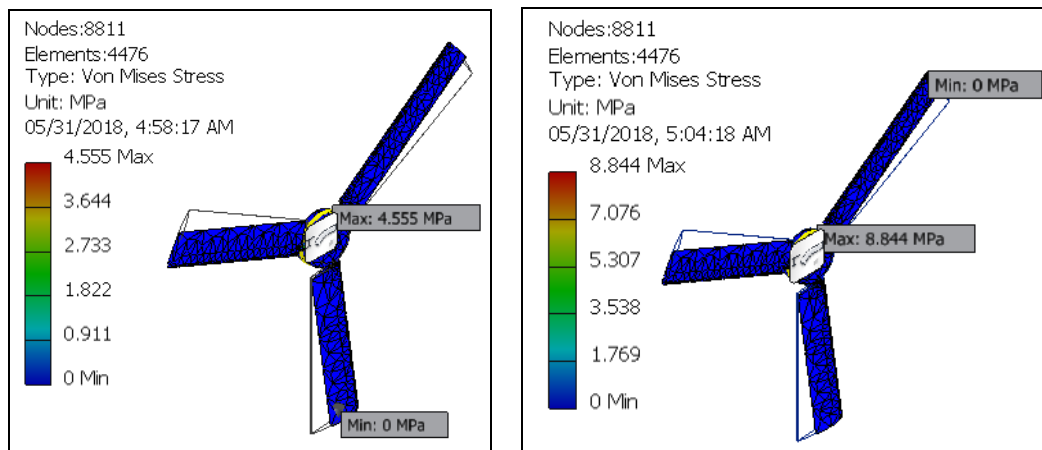
3.2 Analisis Tegangan

Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6 menunjukkan analisis tegangan material CFRP dan Aluminium 6061 terhadap variasi kecepatan rotor 100, 200, 300, dan 400 rpm. Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5 dapat diamati bahwa material CFRP dan Aluminium 6061 cukup aman untuk menahan beban dinamis karena nilai *safety factor* yang dipersyaratkan material untuk menahan beban dinamis yaitu 2-3.

Tabel 6. menunjukkan bahwa material Aluminium 6061 tidak cukup aman untuk menahan beban dinamis saat kecepatan putaran rotor 400 rpm. Hal ini dapat dilihat dari nilai *safety factor* Aluminium 6061 yang hanya sebesar 1,94. Sedangkan material CFRP cukup aman karena memiliki faktor kemandan sebesar 4,12.

Tabel 3. Analisis tegangan pada kecepatan putar 100 rpm

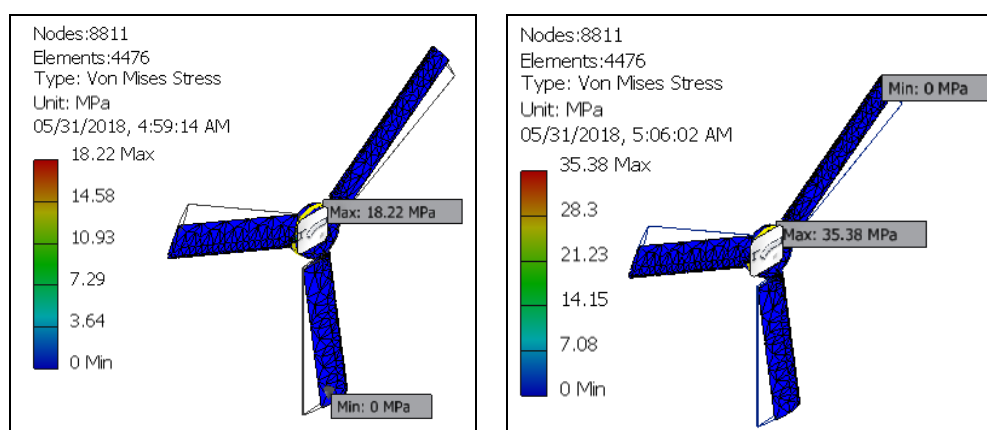
Nama	CFRP		Aluminium 6061	
	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
Von Mises Stress	0,000071065 MPa	4,55497 MPa	0,00011935 MPa	8,84435 MPa
Displacement	0 mm	0,0540732 mm	0 mm	0,199982 mm
Safety Factor	15 ul	15 ul	15 ul	15 ul



Gambar 3. Tegangan Von Mises Material CFRP (Kiri) dan Aluminium 6061 (Kanan) Pada Putaran 100 rpm

Tabel 4. Analisis tegangan pada kecepatan putar 200 rpm

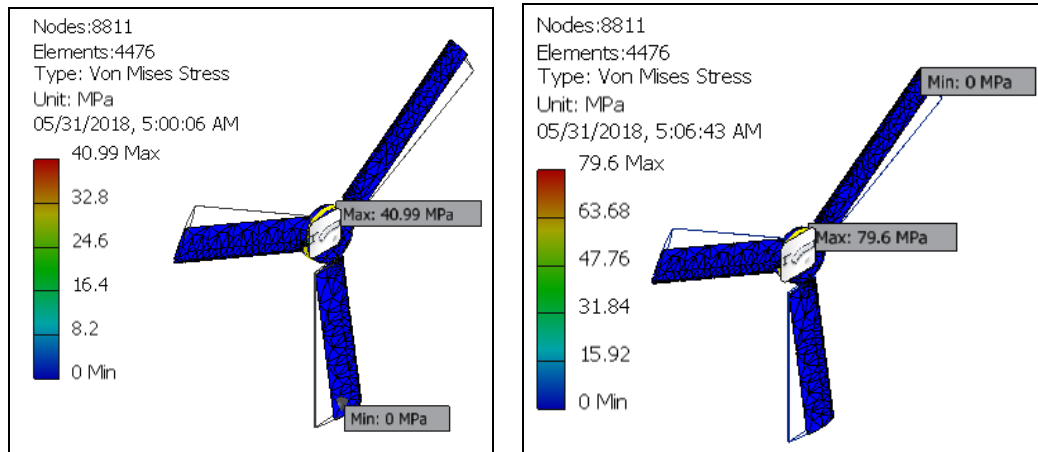
Nama	CFRP		Aluminium 6061	
	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
Von Mises Stress	0,000293813 MPa	18,2199 MPa	0,000500913 MPa	35,3772 MPa
Displacement	0 mm	0,216294 mm	0 mm	0,799923 mm
Safety Factor	15 ul	15 ul	7,77337 ul	15 ul



Gambar 4. Tegangan Von Mises Material CFRP (Kiri) dan Aluminium 6061 (Kanan) Pada Putaran 200 rpm

Tabel 5. Analisis tegangan pada kecepatan putar 300 rpm

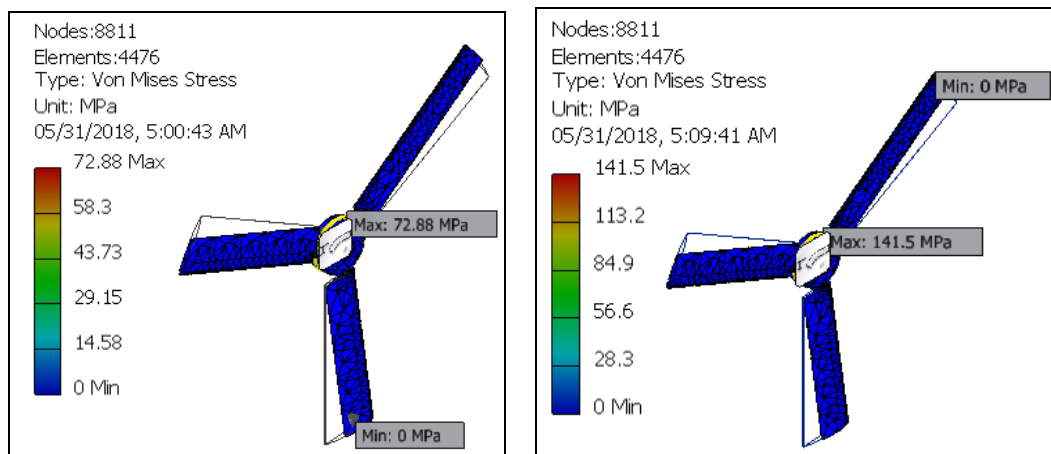
Nama	CFRP		Aluminium 6061	
	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
Von Mises Stress	0,000640083 MPa	40,9949 MPa	0,0010915 MPa	79,5973 MPa
Displacement	0 mm	0,486661 mm	0 mm	1,7998 mm
Safety Factor	7,31798 ul	15 ul	3,45489 ul	15 ul



Gambar 5. Tegangan Von Misses material CFRP (Kiri) dan Aluminium 6061 (Kanan) Pada Putaran 300 rpm

Tabel 6. Analisis Tegangan pada kecepatan putar 400 rpm

Nama	CFRP		Aluminium 6061	
	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
Von Mises Stress	0,00113423 MPa	72,8795 MPa	0,00197908 MPa	141,51 MPa
Displacement	0 mm	0,86517 mm	0 mm	3,19967 mm
Safety Factor	4,11638 ul	15 ul	1,94332 ul	15 ul



Gambar 6. Tegangan Von Misses Material CFRP (Kiri) dan Aluminium 6061 (Kanan) Pada Putaran 400 rpm

4. KESIMPULAN

- a) Desain turbin angin dengan menggunakan material CFRP memiliki massa yang lebih ringan dibandingkan Aluminium 6061. Massa material CFRP sebesar 3,492 kg, sedangkan Aluminium sebesar 6,593 kg.
- b) Nilai *yield strength*, *ultimate tensile strength*, *young modulus*, *poisson ratio*, dan *shear modulus* material CFRP lebih besar daripada material Aluminium 6061.
- c) Pada putaran rotor 400 rpm, material CFRP masih memiliki *safety factor* sebesar 4,12 sehingga cukup aman saat menahan beban dinamis.
- d) Pada putaran rotor 400 rpm, material CFRP memiliki nilai defleksi yang lebih rendah daripada Aluminium 6061. Defleksi material CFRP sebesar 0,865 mm, sedangkan Aluminium 6061 sebesar 3,199 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Statistik Ketenalistrikan 2016. Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kemnterian ESDM; 2017.
- [2] Dobrovolsky V, Zablonsky K. Machine Elements. Peace Publisher; 1982.
- [3] Wibawa, L.A.N. Merancang Komponen Roket 3D dengan Autodesk Inventor Professional 2017. Surakarta: Buku Katta: 2018.
- [4] Wibawa, L.A.N. Simulasi Kekuatan Komponen Sarana Pengujian Roket Menggunakan Autodesk Inventor Professional 2017. Surakarta: Buku Katta: 2018.
- [5] NACA 2415 (naca2415-il) [Internet]. [cited 2018 Oct 16]. Available from: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca2415-il>