



**ANALISIS PERBANDINGAN KEKUATAN BILAH TURBIN ANGIN  
HORIZONTAL DAN VERTIKAL MENGGUNAKAN METODE  
ELEMEN HINGGA**

**SKRIPSI**

**RAIHAN HANDI ANANDA**

**1910311039**

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**2026**



**ANALISIS PERBANDINGAN KEKUATAN BILAH TURBIN ANGIN  
HORIZONTAL DAN VERTIKAL MENGGUNAKAN METODE  
ELEMEN HINGGA**

**SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**RAIHAN HANDI ANANDA**

**1910311039**

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**2026**

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi Diajukan Oleh:

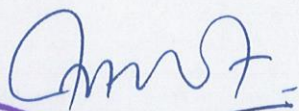
Nama : Raihan Handi Ananda  
NIM : 1910311039  
Program Studi : S1 Teknik Mesin  
Judul Skripsi : ANALISIS PERBANDINGAN KEKUATAN BILAH  
TURBIN ANGIN HORIZONTAL DAN VERTIKAL  
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.



**M. Arifudin Lukmana, S.T., M.T.**

**Penguji Utama**



**Ir. Fahrudin, S.T., M.T.**

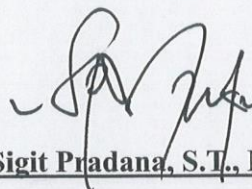
**Penguji Lembaga**



**Dr. Eng. Ir. Teguh Firmansyah,**

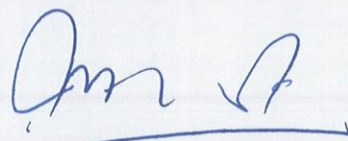
**S.T., M.T., IPM**

**Dekan Fakultas Teknik**



**Sigit Pradana, S.T., M.T**

**Penguji III (Pembimbing I)**



**Ir. Fahrudin, S.T., M.T**

**Kepala Program Studi**

**Teknik Mesin**

Ditetapkan di : **Jakarta**

Tanggal Ujian : **9 Januari 2026**

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Skripsi diajukan oleh:

Nama : Raihan Handi Ananda  
NIM : 1910311039  
Program Studi : S1 Teknik Mesin  
Judul Skripsi : ANALISIS PERBANDINGAN KEKUATAN BILAH  
TURBIN ANGIN HORIZONTAL DAN VERTIKAL  
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Telah dikoreksi dan diperbaiki oleh penulis atas arahan dari dosen pembimbing.

Menyetujui,



Sigit Pradana, S.T., M.T.

Pembimbing I



Dr. Damora Rhakasywi. S.T., M.T.

Pembimbing II

Mengetahui,



Ir. Fahrudin, S.T., M.T

Kepala Program Studi Teknik Mesin

## LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya sendiri, dan semua sumber yang dikutip mapupun dirujuk telah saya nyatakan dengan.

Nama : Raihan Handi Ananda  
NIM : 1910311039  
Program Studi : S1 Teknik Mesin

Bilamana dikemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan persyaratan saya ini, maka saya bersedia untuk dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 9 Januari 2026

Yang menyatakan,



Raihan Handi Ananda

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Raihan Handi Ananda

NIM : 1910311039

Fakultas : Teknik

Program Studi : S1 Teknik Mesin

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul

**ANALISIS PERBANDINGAN KEKUATAN BILAH TURBIN ANGIN  
HORIZONTAL DAN VERTIKAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN  
HINGGA**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Ini, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai peneliti/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya,

Jakarta 9 Januari 2026

Yang menyatakan,



Raihan Handi Ananda

# ANALISIS PERBANDINGAN KEKUATAN BILAH TURBIN ANGIN HORIZONTAL DAN VERTIKAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

**Raihan Handi Ananda**

## ABSTRAK

Kebutuhan energi terbarukan di Indonesia mendorong pemanfaatan energi angin skala kecil, namun kendala biaya investasi dan manufaktur bilah menjadi tantangan utama. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan kekuatan struktur bilah turbin angin sumbu horizontal (*HAWT*) dengan profil SG6043 *untwisted* dan sumbu vertikal (*VAWT*) tipe H-Darrieus dengan profil *NACA* 0018 menggunakan material kayu mahoni dan plastik *PETG*. Metode penelitian menggunakan simulasi *Finite Element Method (FEM)* pada perangkat lunak ANSYS Workbench 2025 R1 dengan variasi kecepatan angin 12 m/s, 25 m/s, dan 50 m/s serta kecepatan rotasi konstan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa desain *VAWT* dengan tumpuan dua sisi (*fixed-fixed*) memiliki kekakuan struktural yang jauh lebih tinggi dibandingkan *HAWT* (*cantilever*). Pada kondisi badai (50 m/s), deformasi maksimum *VAWT* bermaterial *PETG* hanya sebesar 8,29 mm, sementara *HAWT* mencapai 110,74 mm. Fenomena unik ditemukan pada *HAWT* bermaterial *PETG*, di mana fleksibilitas material menyebabkan pelengkungan bilah (*blade flexing*) yang menurunkan tegangan maksimum menjadi 13,72 MPa dibandingkan kayu mahoni yang mencapai 29,27 MPa. Seluruh skenario penggunaan *PETG* dinyatakan aman dengan Faktor Keamanan (*Safety Factor*) di atas 2,0. Kesimpulannya, *PETG* merupakan material substitusi yang layak untuk bilah turbin skala kecil, dan konfigurasi *VAWT* lebih optimal dalam menjaga stabilitas dimensi saat menggunakan material polimer

**Kata Kunci:** *HAWT*, *VAWT*, *PETG*, Kayu Mahoni Metode Elemen Hingga, *Safety Factor*.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STRENGTH OF  
HORIZONTAL AND VERTICAL WIND TURBINE BLADES  
USING THE FINITE ELEMENT METHOD**

**Raihan Handi Ananda**

**ABSTRACT**

*The demand for renewable energy in Indonesia has encouraged the utilization of small-scale wind energy, yet high investment costs and blade manufacturing complexities remain primary obstacles. This study aims to analyze and compare the structural strength of Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) blades with an untwisted SG6043 profile and Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) H-Darrieus blades with a NACA 0018 profile using Mahogany wood and PETG polymer. The research method utilizes Finite Element Method (FEM) simulations via ANSYS Workbench 2025 R1 with wind speed variations of 12 m/s, 25 m/s, and 50 m/s at constant rotational velocities. Simulation results demonstrate that the VAWT design with double-sided support (fixed-fixed) possesses significantly higher structural stiffness compared to the HAWT (cantilever). Under storm conditions (50 m/s), the maximum deformation for PETG VAWT blades was only 8.29 mm, whereas the HAWT reached 110.74 mm. A unique phenomenon was observed in the PETG HAWT, where material flexibility led to blade flexing, effectively reducing the maximum stress to 13.72 MPa compared to 29.27 MPa for Mahogany wood. All PETG scenarios were deemed safe, maintaining a Safety Factor (SF) above 2.0. In conclusion, PETG is a viable substitute material for small-scale turbine blades, and the VAWT configuration is more optimal for maintaining dimensional stability when utilizing polymer materials.*

**Keywords:** HAWT, VAWT, PETG, Mahogany, Finite Element Method, Safety Factor.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat-Nya penulis dapat mengerjakan serta menyelesaikan proposal skripsi dengan judul “Analisis Perbandingan Kekuatan Bilah Turbin Angin Horizontal dan Vertikal Menggunakan Metode Elemen Hingga” dengan lancar. Tujuan penulisan proposal skripsi ini adalah sebagai salah satu prasyarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik, Jurusan Teknik Mesin.

Pada kesempatan ini, penulis ingin berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, membimbing serta mendukung dalam penyelesaian skripsi ini. Terlebih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat-Nya kepada penulis sehingga skripsi ini dapat tersusun dengan baik.
2. Kepada keluarga yang selalu mendukung serta memberikan semangat, sehingga penulisan skripsi dapat berjalan lancar.
3. Bapak Ir. Fahrudin, ST., MT. selaku Kepala Program studi Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.
4. Bapak Sigit Pradana, ST., MT. selaku dosen pembimbing 1 dalam penulisan skripsi.
5. Bapak Dr. Damora Rhakasywi, ST, MT selaku dosen pembimbing 2 dalam penulisan skripsi.
6. Serta seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung yang telah membantu sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi.

Penulis menyadari penyusunan skripsi ini tidak luput dari kesalahan, oleh karenanya penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca agar penelitian ini menjadi lebih baik di masa yang akan datang. Dengan demikian, penulis juga berharap skripsi ini dapat bermanfaat serta menginspirasi pembaca.

Jakarta, Januari 2026

Penulis,

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	<b>xv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 Teori Energi Angin .....	6
2.1.1 Teorema Betz .....	7
2.2 Prinsip Kerja Turbin Angin Horizontal dan Vertikal.....	8
2.3 Airfoil .....	10
2.3.1 Karakteristik <i>Airfoil</i> SG6043 dan <i>NACA</i> 0018.....	11

2.4	Pembebanan Aerodinamika dan Sentrifugal.....	12
2.5	Kayu Mahoni dan <i>PETG</i> .....	14
2.6	Teknologi Manufaktur Bilah Turbin dengan 3D print.....	15
2.7	Teori Metode Elemen Hingga .....	16
2.7.1	Tegangan-Regangan.....	16
2.7.2	Deformasi .....	17
2.7.3	Tegangan Von Misses.....	17
2.7.4	Safety Factor.....	18
2.8	Teori Tegangan Lentur dan Kekakuan Struktur.....	18
2.8.1	Tegangan Lentur .....	18
2.8.2	Hubungan Kekakuan dan Defleksi .....	18
<b>BAB 3</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>19</b>
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian .....	19
3.2	Penelitian Terdahulu .....	19
3.3	Skematik Penelitian .....	19
3.4	Diagram Alir Penelitian .....	20
3.5	Perangkat Penelitian .....	23
3.6	Data Material .....	23
3.6.1	Massa Internal Bilah .....	24
3.7	Variabel Penelitian.....	24
3.8	Nilai Pembebanan Aerodinamika Bilah Turbin Angin .....	25
3.8.1	Persamaan Dasar Aerodinamika .....	25
3.8.2	Nilai Pembebanan Pada Turbin Sumbu Horizontal .....	26
3.8.3	Nilai Pembebanan pada Turbin Sumbu Vertikal ( <i>VAWT</i> ).....	28
3.8.4	Dasar Pemilihan Kecepatan Rotasi ( <i>Rotational Velocity</i> ) .....	29
3.9	Desain 3D Bilah Menggunakan Inventor .....	30
3.10	Setup Simulasi di ANSYS Workbench.....	34

3.10.1 Input Data Material dan Geometri .....	34
3.10.2 Meshing.....	35
3.10.3 Kondisi Batas ( <i>Boundary Conditions</i> ).....	36
3.10.4 Pembebanan .....	37
3.10.5 Pengaturan Solusi ( <i>Analysis Settings</i> ).....	38
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>39</b>
4.1 Hasil Simulasi.....	39
4.2 Analisis Distribusi Tegangan ( <i>Von-Mises Stress</i> ) .....	40
4.2.1 Perbandingan Tegangan Maksimum.....	40
4.3 Analisis Deformasi Total.....	43
4.3.1 Perbandingan Karakteristik Deformasi.....	43
4.4 Analisis Faktor Keamanan .....	45
4.4.1 Perbandingan Safety Factor .....	45
4.5 Validasi Hasil Simulasi .....	47
4.5.1 Validasi Linearitas Beban Angin.....	47
4.5.2 Validasi Efek Sentrifugal ( <i>Centrifugal Stiffening</i> ) .....	48
4.6 Komparasi Desain .....	48
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>50</b>
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran.....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Hukum Betz .....	7
<b>Gambar 2. 2</b> <i>Airfoil</i> .....	11
<b>Gambar 2. 3</b> Grafik Tegangan Regangan.....	17
<b>Gambar 3. 1</b> Sketch <i>Airfoil</i> SG 6043 .....	31
<b>Gambar 3. 2</b> Tampak Atas Bilah Horizontal.....	31
<b>Gambar 3. 3</b> Tampak Bilah Horizontal .....	32
<b>Gambar 3. 4</b> Sketch <i>Airfoil</i> NACA 0018 .....	32
<b>Gambar 3. 5</b> Tampak 3D Bilah Vertikal .....	33
<b>Gambar 3. 6</b> Split Bilah Vertikal .....	34
<b>Gambar 3. 7</b> Engineering Data.....	34
<b>Gambar 3. 8</b> <i>Mesh</i> Pada Bilah.....	36
<b>Gambar 3. 9</b> <i>Fixed Support</i> Kedua Bilah.....	37
<b>Gambar 3. 10</b> <i>Rotational Velocity</i> Bilah <i>HAWT</i> .....	37
<b>Gambar 3. 11</b> Tekanan Pada Bilah <i>HAWT</i> .....	38
<b>Gambar 4. 1</b> Tegangan Bilah <i>HAWT</i> Kayu Mahoni Pada 50 m/s .....	42
<b>Gambar 4. 2</b> Tegangan Bilah <i>HAWT</i> <i>PETG</i> Pada 50 m/s .....	42
<b>Gambar 4. 3</b> Distribusi Kontur Deformasi pada Bilah <i>VAWT</i> .....	45

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3. 1</b> Nilai Properti Mekanis Material.....	23
<b>Tabel 3. 2</b> Massa Internal Bilah .....	24
<b>Tabel 3. 3</b> Variabel Penelitian .....	25
<b>Tabel 3. 4</b> Nilai Tekanan Aerodinamika <i>HAWT</i> .....	27
<b>Tabel 3. 5</b> Nilai Tekanan <i>VAWT</i> .....	29
<b>Tabel 4. 1</b> Rekapitulasi Data Hasil Simulasi.....	39
<b>Tabel 4. 2</b> Validasi Hasil Simulasi <i>HAWT</i> Kayu Mahoni.....	47
<b>Tabel 4. 3</b> Komparasi Hasil.....	48

## **DAFTAR GRAFIK**

<b>Grafik 4. 1</b>	Grafik Perbandingan Tegangan Von-Mises Pada 12 m/s.....	40
<b>Grafik 4. 2</b>	Grafik Perbandingan Tegangan Von-Mises Pada 25 m/s.....	40
<b>Grafik 4. 3</b>	Grafik Perbandingan Tegangan Von-Mises Pada 50 m/s.....	41
<b>Grafik 4. 4</b>	Grafik Perbandingan Deformasi Pada 12 m/s.....	43
<b>Grafik 4. 5</b>	Grafik Perbandingan Deformasi Pada 25 m/s.....	43
<b>Grafik 4. 6</b>	Grafik Perbandingan Deformasi Pada 50 m/s.....	44
<b>Grafik 4. 7</b>	Grafik Perbandingan Safety Factor Pada 12 m/s .....	45
<b>Grafik 4. 8</b>	Grafik Perbandingan Safety Factor Pada 25 m/s .....	46
<b>Grafik 4. 9</b>	Grafik Perbandingan Safety Factor Pada 50 m/s .....	46