



**ANALISIS KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU  
HORIZONTAL MENGGUNAKAN *AIRFOIL* NACA  
4412 TERHADAP VARIASI DEFLEKSI SUDUT *FIXED*  
*TRAILING EDGE FLAP* DENGAN SIMULASI CFD**

**SKRIPSI**

**ICHRAM MUHAMMAD**

**2010311006**

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN**

**2025**



**ANALISIS KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU  
HORIZONTAL MENGGUNAKAN *AIRFOIL* NACA  
4412 TERHADAP VARIASI DEFLEKSI SUDUT *FIXED*  
*TRAILING EDGE FLAP* DENGAN SIMULASI CFD**

**SKRIPSI**

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

**ICHRAM MUHAMMAD**

**2010311006**

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN**

**2025**

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi diajukan oleh:

Nama : Ichram Muhammad  
NIM : 2010311006  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Analisis Kinerja Turbin Angin Sumbu Horizontal Menggunakan Airfoil NACA 4412 Terhadap Variasi Defleksi Sudut *Fixed Trailing Edge Flap* Dengan Simulasi CFD

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



Fahrudin, S.T., MT.

Penguji Utama



Fitri Wahyuni, S.Si., M.Eng.

Penguji Lembaga



Dr. Ir. Muchamad Oktaviandri, S.T.,  
M.T., IPM, ASEAN Eng.

Plt. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Damora Rhakasywi, S.T., MT.

Penguji III (Pembimbing)



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

Kepala Program Studi S-1 Teknik Mesin

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 13 Januari 2025

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Skripsi diajukan oleh:

Nama : Ichram Muhammad

NIM : 2010311006

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Analisis Kinerja Turbin Angin Sumbu Horizontal  
Menggunakan Airfoil NACA 4412 Terhadap Variasi  
Defleksi Sudut *Fixed Trailing Edge Flap* Dengan Simulasi  
CFD

Telah dikoreksi atau diperbaiki oleh penulis sesuai arahan dari dosen pembimbing dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.

Menyetujui



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

Pembimbing I



Dr. James Julian, S.T., M.T.

Pembimbing II

Mengetahui,



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

Kepala Program Studi S-1 Teknik Mesin

## LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Ichram Muhammad

NIM : 2010311006

Prodi : Teknik Mesin

Bilamana dikemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan saya ini maka saya bersedia dituntut dan diproses dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 13 Januari 2025

Yang Menyatakan



Ichram Muhammad

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

Sebagai civitas akademik Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, saya yang akan bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ichram Muhammad

Nrp : 2010311006

Program Studi : Teknik Mesin

Jenis Karya : Skripsi

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 skripsi saya yang berjudul:

**" Analisis Kinerja Turbin Angin Sumbu Horizontal Menggunakan *Airfoil*  
NACA 4412 Terhadap Variasi Defleksi Sudut *Fixed Trailing Edge Flap*  
Dengan Simulasi CFD "**

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 penulis/pencipta dan sebagai Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 13 Januari 2025



Yang Menyatakan,  
Ichram Muhammad

# ANALISIS KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL MENGUNAKAN AIRFOIL NACA 4412 TERHADAP VARIASI DEFLEKSI SUDUT FIXED TRAILING EDGE FLAP DENGAN SIMULASI CFD

**Ichram Muhammad**

## ABSTRAK

Perkembangan pesat energi terbarukan salah satunya ialah pemanfaatan energi angin yang dapat diubah menjadi energi listrik untuk kebutuhan manusia. Fokus penelitian ini menganalisis pengaruh *fixed trailing edge flap* pada turbin angin sumbu horizontal skala kecil dengan bilah berjenis *taperless* dan menggunakan profil *airfoil* NACA 4412. Variasi yang dilakukan yaitu mengaplikasikan *flap* berjenis *fixed trailing edge* dengan variasi defleksi sudut  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ . Penelitian ini dilakukan dengan kecepatan angin 12 m/s dan nilai TSR 7. Penelitian ini menggunakan metode simulasi dengan metode CFD melalui bantuan *software Ansys Fluent*. Hasil simulasi memperoleh adanya nilai  $C_p$  berbeda antar variasi dimana variasi bilah *taperless* tanpa *flap* menghasilkan  $C_p=0.418$  pada simulasi CFD. Hasil simulasi pada variasi bilah *taperless* dengan *flap*  $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$  memiliki nilai  $C_p$  dengan nilai  $C_p=0.455$  ;  $C_p=0.433$  ;  $C_p=0.339$ . Hasil simulasi dari keempat variasi *flap* menunjukkan efisiensi tertinggi dihasilkan dari variasi dengan *flap*  $5^\circ$  dengan nilai  $C_p=0.455$ . Hal ini membantu penangkapan energi angin dengan baik tanpa menghasilkan *drag* yang signifikan untuk menurunkan efisiensi.

**Kata Kunci** : HAWT, Airfoil, NACA 4412, Taperless, Coefficient Power, CFD, Fixed Trailing Edge Flap

**PERFORMANCE ANALYSIS OF HORIZONTAL AXIS WIND  
TURBINE USING NACA 4412 AIRFOIL TOWARDS VARIATION  
OF FIXED TRAILING EDGE FLAP ANGLE DEFLECTION  
WITH CFD SIMULATION**

**Ichram Muhammad**

**ABSTRACT**

*One of the rapid developments in renewable energy is the utilization of wind energy which can be converted into electrical energy for human needs. The focus of this research analyzes the effect of fixed trailing edge flaps on small-scale horizontal axis wind turbines with taperless blades and using the NACA 4412 airfoil profile. The variation carried out is the application of a fixed trailing edge flap type with a variation of angular deflection of 5 °, 10 °, 15 °. This research was conducted with a wind speed of 12 m/s and a TSR value of 7. This research uses the CFD simulation method with the help of Ansys Fluent software. The simulation results obtained different Cp values between variations where the variation of taperless blades without flaps produces Cp = 0.418 in CFD simulations. The simulation results on the variation of taperless blades with flaps of 5°, 10°, 15° have Cp values with Cp=0.455; Cp=0.433; Cp=0.339. The simulation results of the four flap variations show that the highest efficiency is generated from the variation with 5° flaps with a value of Cp=0.455. This helps capture wind energy well without producing significant drag to reduce efficiency.*

**Keywords:** HAWT, Airfoil, NACA 4412, Taperless, Power Coefficient, CFD, Fixed Trailing Edge Flap



## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada ALLAH SWT karena atas rahmat-Nya dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul ” *ANALISIS KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL MENGGUNAKAN AIRFOIL NACA 4412 TERHADAP VARIASI DEFLEKSI SUDUT FIXED TRAILING EDGE FLAP DENGAN SIMULASI CFD*” . Skripsi ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan akademis untuk memperoleh gelar Sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta. Dalam proses penulisan skripsi ini, penulis menyadari akan segala kekurangan yang ada mengingat keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki oleh penulis. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan banyak terimakasih kepada berbagai pihak yang telah turut membantu, membimbing, mendoakan, memotivasi, dan memberi semangat dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini. Dengan sangat bersyukur, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas segala rahmat, karunia, nikmat sehat dan jasmani yang telah diberikan.
2. Kedua orangtua saya, yaitu Iqbal Tanjung dan Prima Loly Yang senantiasa menemani penulis melalui hari-hari penuh tantangan sejak awal perkuliahan hingga proses penyusunan skripsi ini, yang selalu memberikan dukungan, semangat, serta doa terbaik bagi penulis.
3. Pakdang Gulam, Kakak Nisa, Abang Iwan, Kak Meme, Keponakan ku Shafa, Nenek Mama, Nte Mimi, Om Jay, Nte Ya dan Adek Kanza yang selalu mendoakan dan menyemangati Penulis.
4. Bapak Dr. Damora Rhakasywi, S.T. , M.T., IPP sebagai dosen Program Studi Teknik Mesin di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta dan dosen pembimbing pertama yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini.

5. Bapak Dr. James Julian, S.T. , M.T. sebagai dosen Program Studi Teknik Mesin di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta dan dosen pembimbing yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh Bapak/Ibu dosen Program Studi Teknik Mesin yang telah memberikan pengetahuan yang sangat bermanfaat selama perkuliahan
7. Teman-teman S1 Teknik Mesin UPNVJ 2020 (Optimis 2020) yang selalu mendukung dan menyemangati skripsi sampai selesai

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan ketidaksempurnaan. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar skripsi ini dapat diperbaiki di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis serta para pembaca.

Jakarta, Januari 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING</b> .....	iii
<b>LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	iv
<b>LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah Penelitian.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
2.1 Energi Angin .....	7
2.2 Turbin Angin .....	7
2.3 Jenis-jenis turbin angin .....	11
2.3.1 HAWT .....	11
2.4 Bilah Turbin .....	12

2.4.1	<i>Airfoil</i> .....	13
2.4.2	<i>Flap</i> .....	15
2.4.3	<i>Coefficient of Power (CP)</i> .....	16
2.4.4	<i>Tip speed ratio (TSR)</i> .....	16
2.5	<i>Computational Fluid Dynamics</i> .....	17
2.5.1	Tahapan CFD .....	18
2.5.2	Mesh.....	19
2.5.3	Mesh independence.....	19
2.5.4	Persamaan CFD.....	20
2.6	Penelitian Terdahulu.....	21
<b>BAB 3</b>	<b>METODE PENELITIAN</b> .....	24
3.1	Waktu dan Tempat Pelaksanaan .....	24
3.1.1	Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	24
3.1.2	Tempat Pelaksanaan Penelitian .....	24
3.2	Software yang digunakan.....	24
3.2.1	Software <i>Blade Element Momentum</i> .....	24
3.2.2	Software <i>Computer Aided Design (CAD)</i> .....	26
3.2.3	Software <i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i> .....	26
3.2.4	Software Pengolahan angka dan <i>tulisan</i> .....	27
3.3	Perancangan Bilah Turbin Angin .....	28
3.4	Metode Simulasi .....	31
3.4.1	<i>Computational Fluid Dynamics</i> .....	31
3.5	Parameter Simulasi.....	32
3.6	Diagram Alir.....	33
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	34
4.1	Mesh Independence Test .....	34

4.2	Validasi Penelitian.....	34
4.3	Perhitungan Geometri Bilah.....	36
4.3.1	Perhitungan Geometri Bilah dan Analisis Karakteristik Airfoil ...	39
4.3.2	Perhitungan Sudut Puntir Bilah Taperless.....	40
4.4	Hasil Simulasi Rotor Untuk Nilai <i>Coefficient of Power</i> (Cp) dan Fenomena Pada Variasi Turbin Angin.....	46
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>57</b>
5.1	Kesimpulan .....	57
5.2	Saran.....	58

**DAFTAR PUSTAKA**

**RIWAYAT HIDUP**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Prinsip Kerja Turbin Angin.....	8
<b>Gambar 2.2</b> Komponen Turbin Angin (Elzarka & Andrews, 2014).....	9
<b>Gambar 2.3</b> Jenis turbin angin (Wiser et al., 2011) .....	11
<b>Gambar 2.4</b> Variasi desain turbin angin sumbu horizontal (Kalpaktsoglou et al., 2019) .....	11
<b>Gambar 2.5</b> Gaya pada <i>Airfoil</i> (Tumewu et al., 2017) .....	13
<b>Gambar 2.6</b> Tata nama pada <i>airfoil</i> (S.Gowda, 2019).....	13
<b>Gambar 3.1</b> Tampilan <i>airfoil</i> NACA 4412 <i>software</i> BEM (Q-Blade).....	25
<b>Gambar 3.2</b> Tampilan <i>airfoil</i> NACA 4412 <i>flap</i> 5° <i>software</i> BEM (Q-Blade).....	25
<b>Gambar 3.3</b> Tampilan <i>airfoil</i> NACA 4412 <i>flap</i> 10° <i>software</i> BEM (Q-Blade)...	25
<b>Gambar 3.4</b> Tampilan <i>airfoil</i> NACA 4412 <i>flap</i> 15° <i>software</i> BEM (Q-Blade)...	25
<b>Gambar 3.5</b> Tampilan <i>software</i> CAD (Autodesk Inventor).....	26
<b>Gambar 3.6</b> Tampilan <i>software</i> CFD (Ansys) .....	27
<b>Gambar 3.7</b> Perhitungan Geometri Rancangan Bilah Turbin.....	28
<b>Gambar 3.8</b> Tampilan Rancangan <i>airfoil</i> NACA 4412.....	29
<b>Gambar 3.9</b> Geometri Rancangan Turbin Angin .....	29
<b>Gambar 3.10</b> Proses Solver pada Ansys CFD .....	31
<b>Gambar 3.11</b> Diagram Alir Penelitian .....	33
<b>Gambar 4.1</b> Grafik Validasi Simulasi CFD Ansys.....	35
<b>Gambar 4.2</b> Grafik Proses Linearisasi <i>Twist</i> .....	44
<b>Gambar 4.3</b> Rancangan Bilah <i>Taperless</i> .....	44
<b>Gambar 4.4</b> <i>Streamline</i> Bilah <i>Taperless</i> .....	46
<b>Gambar 4.5</b> Distribusi Tekanan pada Bilah <i>Taperless</i> .....	46
<b>Gambar 4.6</b> Grafik Cp Bilah <i>Taperless</i> .....	48
<b>Gambar 4.7</b> <i>Streamline</i> Bilah <i>Taperless Flap</i> 5° .....	48
<b>Gambar 4.8</b> Distribusi Tekanan pada Bilah <i>Taperless Flap</i> 10°.....	49
<b>Gambar 4.9</b> Grafik Cp Bilah <i>Taperless Flap</i> 5° .....	50
<b>Gambar 4.10</b> <i>Streamline</i> Bilah <i>Taperless Flap</i> 10° .....	51
<b>Gambar 4.11</b> Distribusi Tekanan pada Bilah <i>Taperless Flap</i> 10°.....	51
<b>Gambar 4.12</b> Grafik Cp Bilah <i>Taperless Flap</i> 10° .....	52

<b>Gambar 4.13</b> <i>Streamline</i> Bilah <i>Taperless Flap</i> $15^\circ$ .....	53
<b>Gambar 4.14</b> Distribusi Tekanan pada Bilah <i>Taperless Flap</i> $15^\circ$ .....	53
<b>Gambar 4.15</b> Grafik $C_p$ Bilah <i>Taperless Flap</i> $15^\circ$ .....	55
<b>Gambar 4.16</b> Analisis Hasil Pengujian .....	56

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Variasi ukuran mesh Sumber (Aspriliansyah & Adiwibowo, 2020).....	20
<b>Tabel 3.1</b> Hasil Perhitungan Geometri Bilah.....	30
<b>Tabel 3.2</b> Hasil Perhitungan Geometri Bilah Lanjutan.....	30
<b>Tabel 3.3</b> Parameter Simulasi CFD .....	32
<b>Tabel 4.1</b> <i>Mesh Independence Test</i> .....	34
<b>Tabel 4.2</b> Spesifikasi Jari-jari bilah .....	36
<b>Tabel 4.3</b> Spesifikasi Jari-jari bilah tambahan.....	36
<b>Tabel 4.4</b> Perhitungan geometri perancangan bilah.....	39
<b>Tabel 4.5</b> Hasil perhitungan geometri lanjutan bilah turbin .....	40
<b>Tabel 4.6</b> Hasil Perhitungan Geometri <i>twist, twist linear 75%, dan twist linear</i> .	43
<b>Tabel 4.7</b> Geometri Bilah <i>Taperless</i> .....	45
<b>Tabel 4.8</b> Geometri Bilah <i>Taperless</i> Lanjutan .....	45



## **DAFTAR LAMPIRAN**

**Lampiran 1** Geometri Turbin Angin Pada *Software* Ansys

**Lampiran 2** Meshing Pada Bilah

**Lampiran 3** Set Up Ansys Fluent

**Lampiran 4** Perhitungan  $C_p$  Pada Turbin Angin Pada TSR 7, Kecepatan angin 12 m/s

**Lampiran 5** Lembar Konsultasi Pembimbing 1

**Lampiran 6** Lembar Konsultasi Pembimbing 2