

**SKRIPSI**

**PERBANDINGAN *PROFILE* NACA 6412 DAN NACA  
4412 TURBIN ANGIN *PROPELLER* SKALA  
RENDAH MENGGUNAKAN METODE CFD**



**OLEH  
MEGAWATI  
03051182025005**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2024**



**SKRIPSI**

**PERBANDINGAN *PROFILE* NACA 6412 DAN NACA  
4412 TURBIN ANGIN *PROPELLER* SKALA  
RENDAH MENGGUNAKAN METODE CFD**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana  
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**OLEH  
MEGAWATI  
03051182025005**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2023**



HALAMAN PENGESAHAN

**PERBANDINGAN *PROFILE* NACA 6412 DAN NACA  
4412 TURBIN ANGIN *PROPELLER* SKALA  
RENDAH MENGGUNAKAN METODE CFD**

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar sarjana Teknik Mesin  
Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:  
**MEGAWATI**  
03051182025005

Palembang, 22 Juli 2024

Diperiksa dan disetujui oleh  
**Pembimbing Skripsi**

Mengetahui  
**Ketua Jurusan Teknik Mesin**



**Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.**  
NIP. 197112251997021001

**Prof. Dr. Ir. Kaprawi, DEA**  
NIP. 195701181985031004



JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No.  
Diterima Tanggal  
Paraf

:TAR/tm/An/2024

:

:



## SKRIPSI

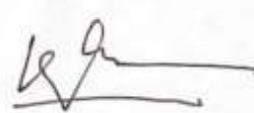
NAMA : MEGAWATI  
NIM : 030511182025005  
JURUSAN : TEKNIK MESIN  
JUDUL SKRIPSI : PERBANDINGAN PROFILE NACA 6412  
DAN NACA 4412 TURBIN ANGIN  
PROPELLER SKALA RENDAH  
MENGUNAKAN METODE CFD  
DIBUAT TANGGAL : 10 OKTOBER 2023  
SELESAI TANGGAL : 24 JULI 2024

Palembang, Juli 2024

Diperiksa dan disetujui oleh:  
Pembimbing Skripsi



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.  
NIP. 197112251997021001



Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi, DEA  
NIP. 195701181985031004





## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul “Perbandingan *Profile* NACA 6412 dan NACA 4412 Turbin Angin *Propeller* Skala Rendah Menggunakan Metode CFD” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 24 Juli 2024.

Indralaya, 29 Juli 2024

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Skripsi:

Ketua :

1. Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc., Ph.D.

NIP. 195606041986021001

(  
.....)

Anggota :

2. Ellyanie, S.T., M.T..

NIP. 196905011994122001

(  
.....)

3. Dr. Dendy Adanta, S.Pd., M.T., IPP.

NIP. 199306052019031016

(  
.....)



Irsyah Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.  
NIP. 197112251997021001

Diperiksa dan disetujui oleh  
Pembimbing Skripsi

(  
.....)

Prof. Dr. Ir. Kaprawi, DEA  
NIP. 195701181985031004



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT, atas dengan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi dengan baik yang berjudul “Perbandingan *Profile* NACA 6412 dan NACA 4412 Turbin Angin *Propeller* Skala Rendah Menggunakan Metode CFD”

Proposal skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dalam penyusunan proposal skripsi ini tentunya penulis tidak bekerja sendirian. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih pada pihak terkait antara lain:

1. Terima kasih kepada orang tua penulis, Bapak Sunoto (alm) sebagai teladan penulis dalam kehidupan sehari-hari dan Ibu Sri Ermianti yang telah mendukung dan menenangkan penulis selama penyusunan proposal skripsi ini.
2. Terima kasih kepada Galuh Viliyanti selaku kakak kandung penulis yang telah mengorbankan masa muda-nya menjadi tulang punggung untuk penulis dan ibu, semoga segala lelahmu menjadi *lillah*.
3. Terima kasih kepada Ketua Jurusan Teknik Mesin Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.,IPM dan dosen dosen serta staff Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya yang telah membekali saya dengan ilmu yang bermanfaat sebelum menyusun proposal skripsi ini.
4. Terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Kaprawi, DEA. dan Dr. Dendy Adanta, S. Pd., M. T., IPP., yang merupakan pengajar dan sekaligus dosen pembimbing saya.
5. Terima kasih kepada rekan penelitian penulis, Muhammad Bagus Al Fateh, Muhammad Alhudari dan Ahmad Alfarizi Barzah, yang ikut membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini.
6. Terima kasih kepada Klarisa, Najwa, Cindy, Fenny, Tia, dan Ari selaku sahabat dekat yang senantiasa menyemangati, menemani, dan

meyakinkan penulis dalam segala hal, semoga rekan-rekan dilancarkan untuk segala urusan dunia dan akhirat.

7. Terima Kasih kepada teman teman seperjuangan Teknik mesin Universitas Sriwijaya Angkatan 2020 yang telah memberikan dukungan dan pengalaman yang menyenangkan selama menjadi mahasiswa.
8. Terima kasih kepada diri sendiri yang sudah bertahan sejauh ini serta tidak mudah menyerah dengan keadaan, semoga selalu sehat dan kuat.

Semoga proposal skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi dalam dunia pendidikan dan industri.

Palembang, 16 Juli 2024



Megawati

NIM. 03051182025005

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Megawati

NIM : 03051182025005

Judul : Perbandingan *Profile* NACA 6412 dan NACA 4412 Turbin Angin  
*Propeller* Skala Rendah Menggunakan Metode CFD

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Palembang, 29 Juli 2024



Megawati

NIM. 03051182025005



## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Megawati

NIM : 03051182025005

Judul : Perbandingan *Profile* NACA 6412 dan NACA 4412 Turbin Angin  
*Propeller* Skala Rendah Menggunakan Metode CFD

Menyatakan bahwa skripsi saya merupakan hasil karya saya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.



Palembang, 29 Juli 2024



Megawati  
NIM. 03051182025005





## RINGKASAN

### PERBANDINGAN PROFILE NACA 6412 DAN NACA 4412 TURBIN ANGIN PROPELLER SKALA RENDAH MENGGUNAKAN METODE CFD

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 24 Juli 2024

Megawati, dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Kaprawi, DEA, xxix + 86 Halaman, 12 Tabel, 52 Gambar, 15 Lampiran

Energi angin dihasilkan dari pergerakan udara yang didorong oleh perbedaan tekanan di atmosfer akibat variasi pemanasan matahari di permukaan bumi dan rotasi bumi. Turbin angin memanfaatkan energi kinetik angin untuk menghasilkan energi mekanik yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Turbin angin dikategorikan menjadi dua jenis utama berdasarkan orientasi porosnya: turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal. Turbin angin sumbu horizontal memiliki efisiensi yang lebih tinggi karena sudu selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin, namun memerlukan konstruksi menara yang besar. Sebaliknya, turbin angin sumbu vertikal memiliki konstruksi yang lebih sederhana dan tidak memerlukan penyesuaian arah saat angin berubah, namun efisiensinya lebih rendah. Prinsip konversi energi dijelaskan melalui teori momentum elemen Betz yang memodelkan aliran udara dua dimensi yang mengenai rotor turbin angin. Energi kinetik angin yang mengenai rotor diubah menjadi energi mekanik. Daya yang dihasilkan oleh turbin angin dapat dihitung menggunakan persamaan yang melibatkan kecepatan angin, massa jenis udara, dan luas penampang angin yang mengenai rotor. Pada penelitian ini penulis menggunakan turbin angin sumbu horizontal dengan skala rendah yang menggunakan dua jenis *airfoil*, yaitu NACA 4412 dan NACA 6412. Dengan memanfaatkan aliran angin yang rata-ratanya 3-10 m/s maka pada penelitian ini menggunakan nilai kecepatan aliran 10 m/s. Penelitian ini juga menggunakan metode analitik dan juga CFD. Dimana, proses analitik sendiri digunakan dalam

menentukan geometri sudu dan proses simulasi dilakukan untuk didapatkan nilai torsi yang berguna dalam mencari nilai koefisien daya dan juga efisiensi yang dihasilkan turbin. Dalam simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD), efisiensi daya yang dihasilkan oleh *airfoil* NACA 6412 mencapai 52,47%, lebih tinggi dibandingkan dengan NACA 4412 yang hanya mencapai 42,8%. Perbedaan ini terutama disebabkan oleh geometri *airfoil*, di mana NACA 6412 memiliki kelengkungan yang lebih besar, mempengaruhi distribusi tekanan dan efisiensi aerodinamis.

Kata kunci : Turbin angin sumbu horizontal, *Computational Fluid Dynamics*, simulasi, *airfoil*

Kepustakaan : 15

## SUMMARY

### COMPARISON OF NACA 6412 AND NACA 4412 AIRFOIL PROFILES FOR LOW-SCALE PROPELLER WIND TURBINES USING CFD METHOD

Scientific paper in the form of a thesis, July 24, 2024

Megawati, supervised by Prof. Dr. Ir. Kaprawi, DEA, xxix + 86 Pages, 12 Tables, 52 Figures, 15 Appendices

Wind energy is generated from the movement of air driven by pressure differences in the atmosphere due to variations in solar heating of the earth's surface and the earth's rotation. Wind turbines utilize the kinetic energy of the wind to produce mechanical energy, which is then converted into electrical energy by a generator. Wind turbines are categorized into two main types based on the orientation of their shafts: horizontal-axis wind turbines and vertical-axis wind turbines. Horizontal-axis wind turbines have higher efficiency because the blades always move perpendicular to the wind direction, but they require large tower constructions. On the other hand, vertical-axis wind turbines have simpler constructions and do not require adjustments to the wind direction, but they are less efficient. The principle of energy conversion is explained through Betz's momentum theory, which models the two-dimensional airflow impacting the wind turbine rotor. The kinetic energy of the wind hitting the rotor is converted into mechanical energy. The power generated by a wind turbine can be calculated using an equation that involves wind speed, air density, and the cross-sectional area of the wind hitting the rotor. In this study, the author uses a low-scale horizontal-axis wind turbine with two types of airfoils, namely NACA 4412 and NACA 6412. By utilizing an average wind flow of 3-10 m/s, this study uses a flow speed value of 10 m/s. This research also uses analytical methods and CFD. The analytical process is used to determine the blade geometry, and the simulation process is conducted to obtain torque values that are useful for determining the power coefficient and the

efficiency of the turbine. In the Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation, the power efficiency generated by the NACA 6412 airfoil reaches 52.47%, which is higher compared to the NACA 4412, which only reaches 42.8%. This difference is mainly due to the airfoil geometry, where the NACA 6412 has a greater curvature, affecting the pressure distribution and aerodynamic efficiency.

Keywords: Horizontal-axis wind turbine, Computational Fluid Dynamics, simulation, airfoil

References: 15

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	v
SKRIPSI .....	vii
HALAMAN PERSETUJUAN .....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	xiii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS .....	xv
RINGKASAN .....	xvii
SUMMARY .....	xix
DAFTAR ISI .....	xxi
DAFTAR GAMBAR .....	xxv
DAFTAR TABEL .....	xxvii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	3
1.3    Batasan Masalah.....	3
1.4    Tujuan Penelitian .....	4
1.5    Manfaat Penelitian .....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1    Energi Angin .....	5
2.2    Turbin Angin.....	5
2.2.1    Turbin Angin Sumbu Horizontal.....	6
2.2.2    Turbin Angin Sumbu Vertikal.....	7
2.3    Prinsip Konversi Energi .....	8
2.4    Gaya Aerodinamis.....	13
2.5    Pendekatan Segitiga Kecepatan <i>Airfoil</i> .....	15
2.6    Aerodinamika Rotor.....	16
2.6.1    Jumlah Sudu Rotor .....	18
2.6.2    Perhitungan Daya pada Sudu atau Rotor.....	18
2.6.3    Bentuk Optimum Sudu Rotor.....	19

2.6.4	Puntiran Sudu Rotor .....	20
2.6.5	Profil <i>airfoil</i> sudu rotor.....	22
2.7	Profil <i>airfoil</i> NACA ( <i>National Advisory Committee for Aeronautics</i> ).....	23
2.7.1	Profil <i>airfoil</i> NACA 6412.....	23
2.7.2	Profil <i>airfoil</i> NACA 4412.....	24
2.8	Radius Hub.....	24
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....		27
3.1	Diagram Alir .....	27
3.2	Pemilihan <i>Airfoil</i> .....	28
3.3	Merancang Geometri Sudu.....	30
3.3.1	TSR Optimum .....	30
3.3.2	Radius Hub .....	30
3.3.3	Sudut Serang ( $\alpha$ ).....	31
3.3.4	Sudut <i>Twist</i> dan <i>Pitch</i> .....	31
3.3.5	TSR Lokal .....	31
3.3.6	Nilai Kecepatan Aksial dan Kecepatan Relatif Sudu .....	32
3.3.7	Panjang <i>Chord</i> Optimum.....	32
3.4	Perancangan 3D.....	33
3.5	Simulasi <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD).....	33
3.5.1	Pembuatan Daerah Datangnya Angin ( <i>Inlet</i> ).....	33
3.5.2	Proses Diskritasi Elemen.....	35
3.5.3	Proses Setup Simulasi.....	36
3.6	CFD-post .....	43
BAB 4 PEMBAHASAN .....		45
4.1	Desain Turbin Angin.....	45
4.1.1	Perhitungan Daya dan Kecepatan Poros.....	46
4.1.2	Radius Hub dan Radius Lokal .....	47
4.1.3	TSR Optimum .....	48
4.1.4	Sudut <i>Twist</i> dan <i>Pitch</i> .....	49
4.1.5	Kecepatan Aksial dan Kecepatan Relatif .....	51
4.1.6	Panjang <i>Chord</i> Optimum.....	52
4.2	Hasil Simulasi .....	54
4.2.1	<i>Mesh Independency Test</i> (MIT).....	55

4.2.2	Sudut Serang vs $Cl/Cd$ .....	57
4.2.3	Perbandingan model <i>turbulence</i> .....	59
4.2.4	Hubungan TSR terhadap Torsi, Daya mekanik, dan $C_p$ .....	60
4.2.5	Sudut serang ( <i>Angle of Attack</i> ) vs $C_p$ .....	62
4.3	Pembahasan.....	63
4.3.1	Visualisasi Kontur Tekanan .....	63
4.3.2	Visualisasi Kontur Kecepatan .....	65
4.3.3	Visualisasi Model Vortex.....	66
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		69
5.1	Kesimpulan .....	69
5.2	Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA.....		71
LAMPIRAN .....		75





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Turbin angin sumbu horizontal (Kumara & Hettiarachchi, 2014)	7
Gambar 2. 2 Turbin angin sumbu vertikal (Kumara & Hettiarachchi, 2014) ....	8
Gambar 2.3 Kondisi aliran udara (Hau, 2013) .....	9
Gambar 2.4 Koefisien daya terhadap perbandingan kecepatan (Hau, 2013) ...	12
Gambar 2.5 Kondisi aliran pada <i>disk shaped converter</i> ideal .....	12
Gambar 2.6 Koefisien daya pada beberapa jenis turbin angin (Hau, 2013).....	13
Gambar 2.7 Gaya <i>lift</i> dan <i>drag</i> pada <i>airfoil</i> (Hau, 2013) .....	14
Gambar 2.8 Skema segitiga kecepatan <i>airfoil</i> .....	15
Gambar 2.9 Teori momentum dengan <i>rotating wake</i> (Hau, 2013) .....	17
Gambar 2.10 Pengaruh jumlah sudu terhadap $C_p$ rotor (Hau, 2013).....	18
Gambar 2.11 Bentuk kontur hiperbolik sudu (Hau, 2013).....	20
Gambar 2.12 Pengaruh puntiran sudu terhadap $C_p$ (Hau, 2013) .....	21
Gambar 2.13 Pengaruh $L/D$ pada $C_p$ rotor (Hau, 2013) .....	22
Gambar 2.14 Terminologi <i>Airfoil</i> (Wibisono dkk., 2013) .....	23
Gambar 2. 15 Bentuk profil <i>airfoil</i> NACA 6412 .....	24
Gambar 2. 16 Bentuk profil <i>airfoil</i> NACA 4412 .....	24
Gambar 3.1 Diagram alir proses desain sudu turbin .....	27
Gambar 3.2 Diagram alir proses simulasi .....	28
Gambar 3.3 <i>Airfoil</i> NACA 6412 .....	29
Gambar 3.4 <i>Airfoil</i> NACA 4412 .....	29
Gambar 3.5 <i>Chord</i> pada <i>airfoil</i> .....	32
Gambar 3.6 Bilah dan hub turbin angin .....	33
Gambar 3.7 Import model turbin dan pembuatan sketsa <i>boundary</i> .....	34
Gambar 3.8 Pembuatan ekstrude <i>boundary</i> .....	34
Gambar 3.9 (a) <i>outlet</i> , (b) <i>domain</i> , (c) <i>inlet</i> , (d) <i>periodic a</i> dan <i>periodic b</i> ....	35
Gambar 3.10 Proses <i>meshing</i> .....	36
Gambar 3.11 Jumlah <i>Mesh</i> .....	36
Gambar 3.12 Tampilan <i>fluent launcher</i> .....	37
Gambar 3.13 Pemilihan model simulasi.....	38

Gambar 3.14 Pendefinisian kondisi.....	38
Gambar 3.15 Mendefinisikan kecepatan putar <i>rotating region</i> .....	39
Gambar 3.16 Pendefinisian <i>boundary condition</i> untuk <i>blade</i> .....	40
Gambar 3.17 Kondisi batas <i>inlet</i> .....	41
Gambar 3.18 Kondisi batas .....	41
Gambar 3.19 Proses <i>standard initialization</i> .....	42
Gambar 3.20 Menentukan jumlah iterasi .....	42
Gambar 3.21 Menu <i>WORKBENCH</i> .....	43
Gambar 4. 1 <i>Airfoil</i> NACA 4412 dan NACA 6412 .....	45
Gambar 4. 2 <i>Airfoil</i> NACA 6412.....	52
Gambar 4.3 <i>Airfoil</i> NACA 4412.....	52
Gambar 4. 4 Distribusi <i>Mesh</i> .....	57
Gambar 4. 5 Grafik perbandingan sudut serang vs <i>Cl/Cd</i> NACA 4412.....	58
Gambar 4. 6 Grafik perbandingan sudut serang vs <i>Cl/Cd</i> NACA 6412.....	58
Gambar 4.7 Grafik perbandingan model turbulence .....	60
Gambar 4. 8 Grafik perbandingan TSR terhadap torsi kedua <i>airfoil</i> .....	61
Gambar 4. 9 Grafik perbandingan TSR terhadap Daya kedua <i>airfoil</i> .....	61
Gambar 4. 10 Grafik perbandingan TSR terhadap <i>Cp</i> kedua <i>airfoil</i> .....	62
Gambar 4. 11 Grafik sudut serang vs $\tau$ pada NACA 6412 dan NACA 4412...	63
Gambar 4. 12 Kontur tekanan bilah turbin .....	64
Gambar 4. 13 Distribusi tekanan pada <i>airfoil</i> .....	64
Gambar 4. 14 Visualisasi kontur kecepatan pada NACA 6412 .....	65
Gambar 4. 15 Kontur kecepatan pada <i>airfoil</i> .....	65
Gambar 4. 16 Visualisasi vortex pada turbin angin dengan NACA 6412.....	66
Gambar 4. 17 Visualisasi vortex pada turbin angin dengan NACA 4412.....	67

## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Daya Angin .....	46
Tabel 4. 2 Kecepatan poros ( $\omega$ ).....	47
Tabel 4. 3 Jarak tiap titik data .....	48
Tabel 4. 4 Nilai TSR lokal.....	49
Tabel 4. 5 Nilai sudut <i>twist</i> dan <i>pitch</i> pada <i>airfoil</i> NACA 6412.....	50
Tabel 4. 6 Nilai sudut <i>twist</i> dan <i>pitch</i> pada <i>airfoil</i> NACA 4412.....	50
Tabel 4. 7 Data $v_w$ dan $v_w$ NACA 4412 dan NACA 6412.....	51
Tabel 4. 8 Panjang <i>chord</i> optimum NACA 4412.....	53
Tabel 4. 9 Panjang chord optimum NACA 6412 .....	54
Tabel 4. 10 Perhitungan <i>Grid Convergency Indeks</i> (GCI) pada NACA 6412 .	56
Tabel 4. 11 Perhitungan <i>Grid Convergency Indeks</i> (GCI) pada NACA 4412 .	56
Tabel 4. 12 Variasi $\alpha$ dan nilai $Cl/Cd$ .....	59
Tabel 4. 13 Perbandingan model turbulence .....	60



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Desain turbin NACA 4412 .....	75
Lampiran 2. Desain turbin NACA 6412 .....	75
Lampiran 3. Perhitungan daya angin.....	76
Lampiran 4 Perhitungan kecepatan poros turbin.....	76
Lampiran 5 Perhitungan putaran poros rotor .....	77
Lampiran 6. Perhitungan radius lokal .....	78
Lampiran 7. Perhitungan TSR lokal.....	78
Lampiran 8. Perhitungan sudut twist.....	79
Lampiran 9. Perhitungan sudut pitch .....	80
Lampiran 10. Perhitungan kecepatan aksial.....	80
Lampiran 11. Perhitungan kecepatan relative .....	80
Lampiran 12. Perhitungan panjang <i>chord</i> NACA 4412.....	81
Lampiran 13. Perhitungan panjang chord NACA 6412.....	82
Lampiran 14. Data hasil simulasi airfoil naca 6412.....	83
Lampiran 15. Data hasil simulasi airfoil naca 4412.....	84



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi terbarukan merupakan energi yang berasal dan dapat diperoleh kembali secara berkelanjutan dari alam. Sumber daya terbarukan tidak terbatas dalam jangka waktu tertentu, namun terbatas dalam jumlah energi yang tersedia per-unit waktu (Wilson, 2023). Energi terbarukan berperan penting dalam mengurangi impor energi dan penggunaan bahan bakar fosil, yang merupakan salah satu penyumbang sumber emisi gas karbon dioksida terbesar (Harjanto, 2016; Olivier & Peters, 2020). Badan Energi Terbarukan Internasional (IRENA) menargetkan energi terbarukan harus mencakup dua pertiga dari total pasokan energi di dunia pada tahun 2050, target ini diharapkan dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengurangi dampak negatif perubahan iklim pada lingkungan dan manusia (Saygin dkk., 2018).

Energi terbarukan yang mendominasi dalam skala global sendiri adalah pembangkit listrik tenaga air, disusul dengan energi angin sebagai pembangkit listrik yang telah menghasilkan lebih dari 6 persen listrik global pada tahun 2020 dengan kapasitas sebesar 743 GW (Abdelilah dkk., 2021; Hafner & Luciani, 2022; Ye dkk., 2020). Sebagai negara kepulauan yang masuk dalam wilayah ekuator, potensi energi angin yang dimiliki Indonesia cukup memadai. Kondisi ini dapat dimanfaatkan untuk melakukan perkembangan energi angin sebagai alternatif pembangkit listrik sumber energi terbarukan. Dalam laporan *Renewable Energy Roadmap, Renewable Energy Prospects: Indonesia* oleh IRENA (*International Renewable Energy Agency*), Indonesia memiliki potensi energi angin darat mencapai 9,3 GW (Gielen dkk., 2017). Namun, potensi tersebut belum sepenuhnya dimanfaatkan di Indonesia, dikutip dari Indonesia *Investments Report* edisi Oktober 2023, kapasitas listrik terpasang per sumber energi angin di tahun 2021 hanya sebesar 154,3 MW (Hidayat, 2023).

Pembangkit Listrik Tenaga Angin/Bayu mulai dikembangkan oleh pemerintah sejak tahun 2015, hingga saat ini setidaknya sebanyak 150 unit turbin angin telah terpasang di beberapa wilayah di Indonesia. Jenis turbin angin yang dipilih sebagai PLTB di Indonesia sendiri adalah turbin angin sumbu horizontal dengan daya yang dihasilkan sebesar 2,5 Megawatt pada tiap unit turbin. HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbin*) lebih direkomendasikan sebab efisiensi yang ditawarkan relative tinggi dibanding dengan turbin angin sumbu vertikal, serta kemampuan beroperasi pada kecepatan angin tinggi, menjadikan turbin angin sumbu horizontal pilihan tepat untuk pembangkit energi angin skala besar. Selain itu, turbin angin dengan tiga bilah lebih umum digunakan dengan efisiensi puncak 50% (efisiensi maksimum), lebih efisien dibanding dengan turbin angin jenis lain (Eftekhari dkk., 2022; Halek dkk., 2022).

Secara umum, menurut kapasitasnya, turbin angin diklasifikasikan menjadi turbin angin skala kecil (di bawah 50 kW), turbin angin skala sedang (50 kW~250 kW) dan turbin angin skala besar (di atas 250 kW) (Tang, 2012). Turbin angin skala kecil biasa digunakan di lingkungan perkotaan, dimana kecepatan angin rata-rata relatif kecil. Oleh karena itu, prediksi kecepatan angin tahunan yang akurat sangat penting untuk menghitung keluaran listrik dari generator turbin angin kecil (Tzen, 2020). Bilah dari turbin angin menangkap energi angin dan menggerakkan generator, generator inilah yang akan menghasilkan energi listrik.

Perhitungan aerodinamis memiliki pengaruh besar untuk menghasilkan koefisien daya tinggi, karakteristik utama dari aerodinamika profil sudu diantaranya koefisien angkat, koefisien hambat dan efisiensi. Profil sudu turbin angin dengan aerodinamis optimal dipengaruhi berbagai kriteria seperti panjang *chord*, putaran, sudut serang, dan lainnya. Oleh karena itu, pemilihan profil sudu turbin memiliki pengaruh penting dalam perancangan turbin angin untuk menghasilkan daya maksimum.

Pemilihan profil sudu turbin angin yang umum digunakan dalam perancangan sudu turbin angin ialah *airfoil* NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*). *Airfoil* NACA sendiri memiliki bentuk geometri berbeda-beda sesuai dengan nomor serinya, perbedaan nomor seri ini menghasilkan perbedaan pada aerodinamika yang dihasilkan. Perbedaan inilah yang ingin penulis analisis



dalam tugas akhir, dimana penulis membandingkan efisiensi, nilai torsi dan daya keluaran maksimum pada NACA 4412 dan NACA 6412. Dengan menggunakan perangkat lunak SOLIDWORKS 2018 untuk merancang bilah turbin yang memiliki panjang 15 cm dan menggunakan ANSYS 2022 untuk menerapkan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) agar mendapatkan informasi krusial dalam penelitian berjudul “Perbandingan *Profile* NACA 6412 dan NACA 4412 Turbin Angin *Propeller* Skala Rendah Menggunakan Metode CFD”

## 1.2 Rumusan Masalah

Studi ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan aerodinamika *airfoil* antara NACA 4412 dan NACA 6412 pada desain bilah turbin angin sumbu horizontal skala kecil. Serta mengetahui nilai sudut serang atau *Angle of Attack* optimum pada variasi  $4^\circ$ ;  $5,35^\circ$ ;  $5,75^\circ$  dan  $6^\circ$  terhadap performansi turbin angin dengan kecepatan  $10\text{ m/s}$ . Selain itu, metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) digunakan untuk menganalisis pengaruh setiap ukuran dimensi dan sudut serang pada turbin terhadap efisiensi yang dihasilkan.

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, permasalahan dibatasi guna penelitian yang dilakukan tidak keluar dari ruang lingkup kajian. Berikut batasan masalah dalam penelitian ini:

1. Simulasi dijalankan dalam 3D.
2. Pendekatan *transient* menggunakan *rotating frame*.
3. Pendekatan satu fasa udara (*air*).
4. Kondisi dalam simulasi menggunakan pendekatan *pressure-based*, dengan asumsi densitas fluida kerja tidak berubah terhadap waktu.

5. Fluida yang bekerja adalah udara dengan  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$
6. Variasi sudut serang yaitu  $4^\circ$ ;  $5,35^\circ$ ;  $5,75^\circ$  dan  $6^\circ$

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas sarjana ini adalah sebagai berikut:

1. Menilai dan membandingkan karakteristik aerodinamika dari dua profil *airfoil*, yaitu NACA 4412 dan NACA 6412, dalam pengaplikasian pada turbin angin.
2. Menghitung efisiensi dan daya yang dihasilkan oleh turbin angin dengan menggunakan kedua profil *airfoil* pada berbagai kondisi operasi, seperti kecepatan aliran angin, kecepatan putar, dan variasi sudut serang.
3. Mengidentifikasi parameter desain optimal, termasuk panjang chord, sudut *twist*, dan sudut *pitch*, untuk meningkatkan performa dan efisiensi turbin angin.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan, penelitian ini diharapkan memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya dalam perancangan turbin angin sumbu horizontal skala mikro.
2. Sebagai referensi perbandingan daya yang dihasilkan turbin angin sumbu horizontal skala mikro dengan bilah yang menggunakan *airfoil* NACA 4412 dan NACA 6412.
3. Memberikan pengetahuan tentang turbin angin sumbu horizontal skala mikro sebagai salah satu alternatif energi terbarukan yang dapat diterapkan pada daerah perkotaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdelilah, Y., Bahar, H., Briens, F., Bojek, P., Criswell, T., Veerakumar, K., & Rodriguez, G. (2021). *Hydropower Special Market Report*. [www.iea.org/t&c/](http://www.iea.org/t&c/)
- Adanta, D., Sari, D. P., Syofii, I., Thamrin, I., Yani, I., Marwani, Fudholi, A., & Prakoso, A. P. (2024). Configuration Blade Shape for Enhancement Crossflow Turbine Performance by The CFD Method. *International Journal of Thermofluids*, 22, 100665. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2024.100665>
- Al-Rawajfeh, M. A., & Gomaa, M. R. (2023). Comparison Between Horizontal and Vertical Axis Wind Turbine. *International Journal of Applied Power Engineering*, 12(1), 13–23. <https://doi.org/10.11591/ijape.v12.i1.pp13-23>
- Bai, C. J., & Wang, W. C. (2016). Review of Computational and Experimental Approaches to Analysis of Aerodynamic Performance in Horizontal-Axis Wind Turbines (HAWTs). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 506–519. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.078>
- Dajani, S., Shehadeh, M., Saqr, K. M., Elbatran, A. H., Hart, N., Soliman, A., & Cheshire, D. (2017). Numerical Study for a Marine Current Turbine Blade Performance under Varying Angle of Attack. *Energy Procedia*, 119, 898–909. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.143>
- Eftekhari, H., Mahdi Al-Obaidi, A. S., & Eftekhari, S. (2022). Aerodynamic Performance of Vertical and Horizontal Axis Wind Turbines: A Comparison Review. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 7(1), 65–88. <https://doi.org/10.17509/ijost.v7i1.43161>
- Ghofur, M. A., M. I. P, P., & Funny, R. A. (2020). Perancangan Simulasi Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) dengan Variasi Jumlah Blade dan Variasi Sudut Pitch Menggunakan Aplikasi Q-Blade. *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta*, 6. <https://doi.org/10.28989/senatik.v6i0.420>
- Gielen, D., Saygin, D., Rigter, J., & International Renewable Energy Agency. (2017). *Renewable Energy Prospects : Indonesia*.
- Hafner, M., & Luciani, G. (2022). *The Palgrave Handbook of International Energy Economics* (M. Hafner & G. Luciani, Ed.). Springer Nature Switzerland AG.
- Halek, A., Hardi, W., & Hartono, R. (2022). Pengaruh Sudut Pengarah Angin pada Turbin Angin Sumbu Vertikal terhadap Unjuk Kerja Turbin. *Dinamika Jurnal Teknik Mesin Unkhair*, 7(2).
- Haque, M. N., Ali, M., & Ara, I. (2015). Experimental Investigation On The Performance of NACA 4412 Aerofoil with Curved Leading Edge Planform.

- Procedia Engineering, 105, 232–240.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.05.099>
- Harjanto, N. T. (2016). Dampak Lingkungan Pusat Listrik Tenaga Fosil dan Prospek PLTN Sebagai Sumber Energi Listrik Nasional. ISSN, 7–8.
- Hasan, A. S., Abousabae, M., Salem, A. R., & Amano, R. S. (2021). Study of Aerodynamic Performance and Power Output For Residential-Scale Wind Turbines. *Journal of Energy Resources Technology, Transactions of the ASME*, 143(1). <https://doi.org/10.1115/1.4047602>
- Hau, E. (2013). *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics* (3rd ed., Vol. 1). Springer Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-27151-9>
- Hidayat, T. (2023, Oktober). Wind Power Generation in Indonesia; What Are the Challenges & Opportunities? Indonesia Investments Authority. <https://www.indonesia-investments.com/id/news>
- Jamieson, P., & Hassan, Garrad. (2011). *Innovation in Wind Turbine Design* (1st ed.). A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.
- Khusnawati, N., Wibowo, R., & Kabib, M. (2022). Analisa Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudu. Dalam *Jurnal CRANKSHAFT* (Vol. 5, Nomor 2). Online.
- Krogstad, P. -Å., & Lund, J. A. (2012). An Experimental and Numerical Study Of The Performance Of A Model Turbine. *Wind Energy*, 15(3), 443–457. <https://doi.org/10.1002/we.482>
- Kumara, E. A. D., & Hettiarachchi, N. (2014). Design, Fabrication and Testing of A Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) With Wind Deflectors. 4–6. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19162.64962>
- Lawson, M., Jenne, D., Thresher, R., Houck, D., Wimsatt, J., & Straw, B. (2020). An Investigation Into The Potential for Wind Turbines to Cause Barotrauma in Bats. *PLoS ONE*, 15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242485>
- Mulyadi, M. (2013). Analisis Aerodinamika Pada Sayap Pesawat Terbang dengan Menggunakan Software Berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD). *jurnal teknik mesin universitas gunadarma*.
- Olivier, J. G. J., & Peters, J. A. H. W. (2020). Trends in Global CO2 And Total Greenhouse Gas Emissions: 2020 Report. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. [www.pbl.nl/en](http://www.pbl.nl/en).
- Oukassou, K., El Mouhsine, S., El Hajjaji, A., & Kharbouch, B. (2019). Comparison of The Power, Lift and Drag Coefficients of Wind Turbine Blade from Aerodynamics Characteristics Of NACA 0012 and NACA 2412. *Procedia Manufacturing*, 32, 983–990. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.312>

- Roache, P. J. (1998). Verification of Codes and Calculations. *AIAA Journal*, 36(5), 696–702. <https://doi.org/10.2514/2.457>
- Saygin, D., Gielen, D., Gorini, R., Wagner, N., Leme, R., Gutierrez, L., & Prakash, G. (2018). Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050. [www.irena.org](http://www.irena.org)
- Sayma, A. (2009). Computational Fluid Dynamics (1st ed.). Abdalnaser Sayma & Bookboon.com.
- Sormin, J. S. (2016). Desain, Simulasi, dan Pembuatan Turbin Angin Sumbu Horizontal Diameter Dua Meter dengan Airfoil NREL S833, S834, dan S835. Institut Teknologi Bandung.
- Tang, X. (2012). Aerodynamic Design and Analysis of Small Horizontal Axis Wind Turbine Blades. University of Central Lancashire.
- Tzen, E. (2020). Small Wind Turbines for On Grid And Off Grid Applications. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 410(1), 3–4. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/410/1/012047>
- Wibisono, Y., Nugroho, G., & Hantoro, R. (2013). Studi Karakteristik Aliran Tiga Dimensi dan Perpindahan Panas Pada Cascade Airfoil dengan Pengaruh Clearance. *Jurnal Teknik Pomits*, Vol. 2.
- Wilson, J. (2023, Juni 9). What is Renewable Energy? [eia.gov. https://www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy/](https://www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy/)
- Ye, J., Fiertz, Ch., Huang, J., & Valerio, V. (2020). Renewable Energy. Dalam Center for Climate and Energy Solutions. <https://www.c2es.org/>