

SKRIPSI

**DESAIN DAN SIMULASI NUMERIK TURBIN
ANGIN *PROPELLER* SKALA RENDAH DENGAN
AIRFOIL NACA 4412**



MUHAMMAD ALHUDARI

03051282025047

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

SKRIPSI

**DESAIN DAN SIMULASI NUMERIK TURBIN
ANGIN *PROPELLER* SKALA RENDAH DENGAN
AIRFOIL NACA 4412**

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



MUHAMMAD ALHUDARI

03051282025047

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

HALAMAN PENGESAHAN

**DESAIN DAN SIMULASI NUMERIK TURBIN
ANGIN *PROPELLER* SKALA RENDAH DENGAN
AIRFOIL NACA 4412**

PROPOSAL SKRIPSI

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

Oleh:
MUHAMMAD ALHUDARI
03051282025047

Palembang, Juli 2024
Mengetahui Diperiksa dan
disetujui oleh
Pembimbing Skripsi



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

: 112/TM/Ak/2024

: 15 Agustus 2024

: 

SKRIPSI

NAMA : MUHAMMAD ALHUDARI
NIM : 03051282025047
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL SKRIPSI : DESAIN DAN SIMULASI NUMERIK
TURBIN ANGIN PROPELLER SKALA
RENDAH DENGAN AIRFOIL NACA 4412
DIBUAT TANGGAL : 29 APRIL 2023
SELESAI TANGGAL : 24 JULI 2024

Palembang, 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

HALAMAN PERSETUJUAN

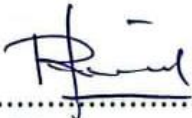
Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “DESAIN DAN SIMULASI NUMERIK TURBIN ANGIN *PROPELLER* SKALA RENDAH DENGAN *AIRFOIL* NACA 4412.” telah dipertahankan di hadapan Tim penguji karya tulis ilmiah Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 24 Juli 2024.

Palembang, 24 Juli 2024

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Berupa Skripsi:


Ketua :

1. Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc,Ph.D
NIP. 195606041986021001


(.....)

Sekretaris :

2. Ellyanie, S.T., M.T.
NIP. 196905011994122001


(.....)

Anggota :

3. Dr. Dendy Adanta, S.Pd, M.T.
NIP. 199306052019031016


(.....)



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

Diperiksa dan disetujui oleh
Dosen Pembimbing



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

KATA PENGANTAR

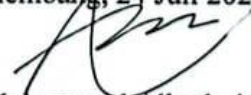
Puji dan syukur ke hadirat Allah SWT, atas dengan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik yang berjudul “Desain Dan Simulasi Numerik Turbin Angin *Propeller* Skala Rendah Dengan *Airfoil* NACA 4412”.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dalam penyusunan skripsi ini tentunya penulis tidak bekerja sendirian. Akan tetapi dapat bantuan serta dukungan dari orang-orang secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih pada pihak terkait, antara lain:

1. Terima kasih kepada kedua orang tua saya, Bapak Muhammad Sofian dan Ibu Sri Fatmi yang telah mendukung saya selama penyusunan proposal skripsi ini
2. Terima kasih kepada Ketua Jurusan bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D. dan dosen-dosen serta staf Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya yang telah membekali saya dengan ilmu yang bermanfaat sebelum menyusun proposal skripsi ini
3. Terima kasih kepada bapak Prof. Dr. Ir. Kaprawi, DEA. yang merupakan pengajar sekaligus dosen pembimbing saya.

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

Palembang, 24 Juli 2024



Muhammad Alhudari
NIM 03051282025047

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Alhudari

NIM : 03051182025047

Judul : DESAIN DAN SIMULASI NUMERIK TURBIN ANGIN
PROPELLER SKALA RENDAH DENGAN *AIRFOIL* NACA
4412.

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, 24 Juli 2024



Muhammad Alhudari
NIM. 03051282025047

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:


Nama : Muhammad Alhudari
NIM : 03051282025047
Judul : DESAIN DAN SIMULASI NUMERIK TURBIN ANGIN
PROPELLER SKALA RENDAH DENGAN AIRFOIL NACA
4412.

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, 24 Juli 2024



Muhammad Alhudari
NIM. 03051282025047

RINGKASAN

DESAIN DAN SIMULASI NUMERIK TURBIN ANGIN PROPELLER
SKALA RENDAH DENGAN AIRFOIL NACA 4412.

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 24 Juli 2024

Muhammad Alhudari, dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Kaprawi, DEA. xxxii + 93
Halaman, 15 Tabel, 65 Gambar, 12 Lampiran

Dalam menghadapi ketidakpastian energi global dan dampak negatif bahan bakar fosil, Indonesia mencari solusi inovatif dan berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan energi. Pertumbuhan ekonomi yang pesat meningkatkan konsumsi energi secara signifikan, dengan ketergantungan pada bahan bakar fosil seperti minyak dan batu bara. Dampak lingkungan dan keterbatasan sumber daya fosil menjadi isu kritis yang memerlukan solusi berkelanjutan. Oleh karena itu, peralihan dari energi konvensional ke energi terbarukan menjadi fokus utama. Indonesia memiliki potensi besar dalam energi terbarukan, termasuk energi angin, meskipun pemanfaatannya masih kecil, yaitu 3,09 GW dari potensi 57 GW. Teknologi yang tepat dan efisien, seperti turbin angin dengan desain optimal, diperlukan untuk meningkatkan kontribusi energi angin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Tip Speed Ratio (TSR) optimum untuk desain turbin angin NACA 4412, model turbulensi yang tepat dalam simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) turbin angin horizontal, membandingkan C_p , torsi, dan daya pada desain sudu turbin angin dengan twist dan non-twist, serta menjelaskan pengaruh sudut serang (AoA) optimum pada desain NACA 4412 terhadap koefisien lift (C_l) dan koefisien drag (C_d). Hasil penelitian menunjukkan bahwa model turbulensi K-epsilon RNG menghasilkan koefisien daya (C_p) tertinggi sebesar 44,93% pada TSR 7, sedangkan model K-omega SST mencapai C_p tertinggi sebesar 34,95% pada TSR 6. Model K-epsilon RNG lebih direkomendasikan untuk simulasi turbin angin horizontal. Pada simulasi sudu

turbin angin dengan twist dibandingkan non-twist, sudu dengan twist mencapai torsi tertinggi sebesar 3,7364104 Nm, daya tertinggi sebesar 672,553872 W, dan C_p sebesar 34,95% pada AoA $5,35^\circ$, kecepatan aliran 10 m/s, dan kecepatan putar 60 rad/s. Sudu tanpa twist menghasilkan torsi 0,2857777 Nm, daya 549,900738 W, dan C_p 28,58%. Variasi AoA menunjukkan bahwa AoA $5,35^\circ$ memberikan koefisien daya tertinggi (C_p), mencerminkan konversi energi angin ke energi mekanik paling efisien. Ini sesuai dengan nilai perbandingan Cl/Cd tertinggi dari NACA 4412, menunjukkan semakin besar nilai Cl/Cd , semakin tinggi efisiensi yang diperoleh. Desain sudu turbin angin horizontal yang dihasilkan memiliki diameter 1 m, profil airfoil NACA 4412, sudut serang optimal $5,35^\circ$, dan jumlah sudu 3. Penelitian diharapkan dapat berkontribusi dalam pengembangan teknologi turbin angin di Indonesia, memperkuat keberlanjutan energi baru terbarukan.

Kata kunci : turbin angin sumbu horizontal, CFD, simulasi, airfoil

Kepustakaan : 24

SUMMARY

DESIGN AND NUMERICAL SIMULATION OF SMALL-SCALE PROPELLER WIND TURBINE WITH NACA 4412 AIRFOIL

Scientific Writing in the form of a Thesis, July 24th 2024

Muhammad Alhudari, Supervised by Prof. Dr. Ir. Kaprawi, DEA. xxxii + 93 Pages, 15 Tables, 65 Figures, 12 Apendices

In response to global energy uncertainties and the negative impact of fossil fuels, Indonesia seeks innovative and sustainable solutions to meet its energy needs. Rapid economic growth has significantly increased energy consumption, with a reliance on fossil fuels such as oil and coal. Environmental impacts and limited fossil fuel resources are critical issues that require sustainable solutions. Therefore, the shift from conventional to renewable energy sources is a primary focus. Indonesia has great potential for renewable energy, including wind energy, although its utilization is still small, at 3.09 GW out of a potential 57 GW. Efficient and appropriate technology, such as optimally designed wind turbines, is needed to enhance wind energy contribution. This study aims to determine the optimum Tip Speed Ratio (TSR) for the NACA 4412 wind turbine design, the appropriate turbulence model in Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation of horizontal wind turbines, compare C_p , torque, and power in the blade design of wind turbines with and without twist, and explain the effect of the optimal Angle of Attack (AoA) on the NACA 4412 design on the lift coefficient (C_l) and drag coefficient (C_d). The results indicate that the K-epsilon RNG turbulence model produces the highest power coefficient (C_p) of 44.93% at TSR 7, while the K-omega SST model reaches a maximum C_p of 34.95% at TSR 6. The K-epsilon RNG model is more recommended for horizontal wind turbine simulations. In the blade simulation of twisted versus non-twisted wind turbines, the twisted blades achieved the highest torque of 3.7364104 Nm,

highest power of 672.553872 W, and C_p of 34.95% at an AoA of 5.35° , wind speed of 10 m/s, and rotational speed of 60 rad/s. Non-twisted blades produced a torque of 0.2857777 Nm, power of 549.900738 W, and C_p of 28.58%. The AoA variation indicates that an AoA of 5.35° provides the highest power coefficient (C_p), reflecting the most efficient conversion of wind energy to mechanical energy. This aligns with the highest C_l/C_d ratio value from NACA 4412, showing that a higher C_l/C_d ratio results in greater efficiency. The designed horizontal wind turbine blade has a diameter of 1 m, NACA 4412 airfoil profile, optimal attack angle of 5.35° , and 3 blades. This research is expected to contribute to the development of wind turbine technology in Indonesia, strengthening renewable energy sustainability.

Keywords : horizontal axis wind turbine, CFD, simulation, airfoil

Literature : 24

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	v
SKRIPSI	vii
HALAMAN PERSETUJUAN	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	xiii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	xv
RINGKASAN	xvii
SUMMARY	xix
DAFTAR ISI	xxi
DAFTAR GAMBAR	xxv
DAFTAR TABEL	xxix
DAFTAR LAMPIRAN	xxxii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
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.....	8
2.3 Prinsip Konversi Energi	8
2.4 Daya Angin	16
2.5 Kecepatan Poros.....	17
2.6 Radius Lokal dan Hub.....	18
2.7 Gaya Aerodinamis.....	19
2.8 Pendekatan Segitiga Kecepatan <i>Airfoil</i>	20

2.9	Aerodinamika Rotor	21
2.9.1	Jumlah Sudu Rotor	22
2.9.2	Bentuk Optimum Sudu Rotor	23
2.9.3	Puntiran Sudu Rotor	26
2.9.4	Profil <i>Airfoil</i> sudu rotor	27
2.10	Profil <i>Airfoil</i> NACA (<i>National Advisory Committee for Aeronautics</i>).....	28
BAB 3 METODE PENELITIAN		31
3.1	Diagram Alir	31
3.2	Pemilihan <i>Airfoil</i>	32
3.3	Merancang Geometri Sudu.....	32
3.3.1	<i>Lift</i> dan <i>Drag</i> terhadap AoA <i>Airfoil</i>	32
3.3.2	TSR.....	34
3.3.3	Sudut <i>Twist</i> dan <i>Pitch</i>	35
3.3.4	Nilai Kecepatan Aksial dan Kecepatan Relatif Sudu	35
3.3.5	Panjang <i>Chord</i> Optimum.....	35
3.4	Perancangan 3D.....	36
3.5	Simulasi <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD).....	39
3.5.1	Diagram Alir Simulasi.....	39
3.5.2	Pembuatan Daerah Datangnya Angin.....	40
3.5.3	Proses Diskritisasi Elemen	40
3.6	Proses <i>Setup</i> Simulasi.....	42
3.7	CFD- <i>post</i>	48
BAB 4 HASIL DAN DISKUSI.....		49
4.1	Desain Sudu.....	49
4.1.1	Perhitungan Daya Sudu atau Rotor	49
4.1.2	Radius Hub dan Radius Lokal	51
4.1.3	TSR Optimum	52
4.1.4	Sudut <i>Twist</i> dan <i>Pitch</i>	52
4.1.5	Nilai Kecepatan Aksial dan Kecepatan Relatif Sudu	53
4.1.6	Panjang <i>Chord</i> Optimum.....	54
4.2	Hasil Simulasi	56

4.2.1	Grid Convergency Indeks (GCI)	56
4.2.2	AoA (α) vs C_l/C_d	58
4.2.3	Perbandingan model turbulen.....	61
4.2.4	Hubungan TSR terhadap Torsi, Daya Turbin, dan C_p	62
4.2.5	Hasil Simulasi pada Desain Sudu <i>twist</i> dengan Variasi AoA	66
4.2.6	Hasil Simulasi pada Desain Sudu <i>plat</i> dengan Variasi AoA.....	67
4.3	Visualisasi Simulasi Aerodinamika Sudu Turbin	69
4.3.1	Visualisasi distribusi Tekanan pada AoA optimum	69
4.3.2	Visualisasi Kontur Kecepatan AoA optimum	71
4.3.3	Visualisasi Fenomena Turbulensi pada AoA optimum.....	72
4.3.4	Distribusi Tekanan pada Variasi TSR	73
4.3.5	Distribusi Kecepatan Udara Pada Variasi TSR.....	76
4.3.6	Fenomena Turbulensi pada Variasi TSR.....	78
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		81
5.1	Kesimpulan	81
5.2	Saran.....	82
DAFTAR PUSTAKA.....		83
LAMPIRAN		87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Turbin angin horizontal (Hau, 2013).....	7
Gambar 2. 2 Turbin angin vertikal (Hau, 2013).....	8
Gambar 2. 3 Kondisi aliran udara (Hau, 2013)	9
Gambar 2. 4 Koefisien daya terhadap perbandingan kecepatan (Hau, 2013) ..	14
Gambar 2. 5 Kondisi aliran pada disk shaped converter ideal (Hau, 2013).....	15
Gambar 2. 6 Koefisien daya pada beberapa jenis turbin angin (Hau, 2013)....	16
Gambar 2. 7 Gaya lift dan drag pada airfoil (Hau, 2013)	19
Gambar 2. 8 Skema segitiga kecepatan airfoil (Umar dkk., 2022)	20
Gambar 2. 9 Teori momentum dengan rotating wake (Hau, 2013)	21
Gambar 2. 10 Pengaruh jumlah sudu terhadap koefisien daya rotor (Hau, 2013)	23
Gambar 2. 11 Elemen sudu turbin (Burton dkk., 2001)	24
Gambar 2. 12 Bentuk kontur hiperbolik sudu (Hau, 2013).....	25
Gambar 2. 13 Pengaruh puntiran sudu terhadap koefisien daya (Hau, 2013)..	27
Gambar 2. 14 Pengaruh rasio gaya lift dan drag pada koefisien daya motor (Hau, 2013)	28
Gambar 2. 15 Terminologi Airfoil (Wibisono dkk., 2013).....	29
Gambar 3. 1 Diagram alir desain.....	31
Gambar 3. 2 Airfoil NACA 4412.....	32
Gambar 3. 3 Pemasukan parameter bilangan Reynold, Mach dan Ncrit	33
Gambar 3. 4 Batasan sudut serang pada iterasi lift dan drag	34
Gambar 3. 5 Chord pada Airfoil.....	36
Gambar 3. 6 Sketsa 2 dimensi Airfoil	37
Gambar 3. 7 Sketsa-sketsa profil airfoil	37
Gambar 3. 8 Proses lofted	38
Gambar 3. 9 Desain total	38
Gambar 3. 10 Diagram alir simulasi	39
Gambar 3. 11 Import model turbin dan membuat sketsa 1/3 lingkaran	40
Gambar 3. 12 Membuat enclosure	40

Gambar 4. 17 Visualisasi vortex pada turbin angin dengan NACA 4412	72
Gambar 4. 18 Kontur distribusi Fenomena Turbulensi pada r/R	73
Gambar 4. 19 Kontur distribusi tekanan pada $r/R = 0,5$	74
Gambar 4. 20 Grafik nilai distribusi tekanan	75
Gambar 4. 21 Kontur Distribusi Kecepatan Udara pada $r/R= 0,5$	76
Gambar 4. 22 Grafik nilai distribusi kecepatan udara.....	77
Gambar 4. 23 Fenomena turbulensi pada $r/R= 0,5$	79
Gambar 4. 24 Grafik nilai turbulence kinetic energy	80

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Tabel Daya sudu.....	50
Tabel 4. 2 Kecepatan poros (ω).....	51
Tabel 4. 3 Jarak tiap titik data	51
Tabel 4. 4 Nilai TSR lokal.....	52
Tabel 4. 5 Sudut twist dan pitch	53
Tabel 4. 6 Kecepatan relatif dan kecepatan aksial	54
Tabel 4. 7 Panjang chord optimum persamaan 1	55
Tabel 4. 8 Panjang chord optimum persamaan 2	55
Tabel 4. 9 Perhitungan Grid Convergency Indeks (GCI).....	58
Tabel 4. 10 Nilai Cl dan Cd simulasi	59
Tabel 4. 11 Tabel perbandingan model turbulence	61
Tabel 4. 12 Perbandingan variasi TSR K-omega SST terhadap torsi, daya mekanik, dan Cp.....	63
Tabel 4. 13 Perbandingan variasi TSR K-epsilon RNG terhadap torsi, daya mekanik, dan Cp.....	63
Tabel 4. 14 Perbandingan variasi AoA twist terhadap torsi, daya mekanik, dan Cp	66
Tabel 4. 15 Perbandingan variasi AoA non-Twists terhadap torsi, daya mekanik, dan Cp.....	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Daya angin.....	87
Lampiran 2. Perhitungan Kecepatan Poros	87
Lampiran 3. Perhitungan RPM.....	88
Lampiran 4. Perhitungan Radius Lokal.....	89
Lampiran 5. Perhitungan TSR lokal.....	89
Lampiran 6. Perhitungan sudut <i>twist</i>	90
Lampiran 7. Perhitungan sudut <i>pitch</i>	91
Lampiran 8. Perhitungan kecepatan aksial	91
Lampiran 9. Perhitungan Kecepatan Relatif	91
Lampiran 10. Perhitungan panjang <i>chord</i>	92
Lampiran 11. Desain turbin angin twist AoA 5,35°	93
Lampiran 12. Desain turbin angin non-twist pada AoA 5,35°	93
Lampiran 13 Form Formulir Konsultasi Tugas Akhir	94
Lampiran 14 Hasil Akhir Similaritas (Turnitin).....	95
Lampiran 15 Surat Pernyataan Bebas Plagiasisme	96
Lampiran 16 Surat Keterangan Pengecekan Similarity	97
Lampiran 17 Form Pengecekan Format Tugas Akhir.....	98

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam era ketidakpastian energi global dan dampak negatif yang ditimbulkan oleh bahan bakar fosil terhadap lingkungan, negara-negara di seluruh dunia terus mencari solusi yang inovatif dan berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan energi mereka. Indonesia, sebagai negara berkembang dengan pertumbuhan ekonomi yang pesat, menghadapi tantangan serius terkait konsumsi energi yang meningkat secara signifikan (Allifah dkk., 2022). Dengan latar belakang ini, perpindahan dari sumber energi konvensional ke energi terbarukan menjadi fokus penting dalam upaya mencapai keberlanjutan energi dan melindungi lingkungan.

Pertumbuhan ekonomi yang pesat di Indonesia menyebabkan peningkatan konsumsi energi secara substansial (Iskandar, 2021). Ketergantungan pada bahan bakar fosil, seperti minyak dan batu bara, menjadi pilihan utama untuk memenuhi kebutuhan energi. Batu bara sendiri masih menjadi pilihan utama sebagai pembangkit listrik dengan persentase 67,21% di tahun 2022 (Kusdiana, 2022). Namun, dampak lingkungan yang merugikan dan keterbatasan sumber daya fosil menjadi isu kritis yang memerlukan solusi yang lebih berkelanjutan. Oleh karena itu, penting untuk mengeksplorasi alternatif energi yang bersih dan dapat diperbaharui.

Dalam menghadapi tekanan global terkait perubahan iklim dan sumber daya alam yang semakin menipis, Indonesia berkomitmen untuk beralih ke sumber energi terbarukan. Inisiatif ini tidak hanya diilhami oleh kebutuhan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca tetapi juga untuk mengamankan pasokan energi yang berkelanjutan. Pemerintah Indonesia telah mengencangkan upaya untuk mempromosikan energi terbarukan melalui kebijakan dan investasi dalam infrastruktur yang mendukung sumber daya energi terbarukan.

Indonesia, dengan topografi yang beragam, memiliki potensi besar untuk memanfaatkan energi angin sebagai sumber energi terbarukan Indonesia memiliki potensi Energi Baru dan Terbarukan (EBT) yang sangat melimpah. Mulai dari energi surya, bayu, hidro, bioenergi, panas bumi, dan juga laut yang total potensinya 3.686 GW (Gigawatt).

Beberapa wilayah di Indonesia dikenal memiliki kecepatan angin yang tinggi, menciptakan peluang besar untuk pengembangan proyek turbin angin (Novri, 2021). Akan tetapi, menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral pemanfaatan angina masih sangat kecil yaitu 3,09 GW dari potensi 57 GW yang dimiliki oleh Indonesia. Pemanfaatan potensi energi angin tidak hanya dapat memperkuat keberlanjutan energi tetapi juga memberikan kontribusi positif terhadap perekonomian lokal.

Salah satu teknologi yang menjadi pusat perhatian dalam konsep pemanfaatan energi angina adalah turbin angin. Turbin angin adalah istilah umum untuk mesin dengan bilah berputar yang mengubah energi kinetik angin menjadi tenaga yang berguna (Khaled, 2017) menjadi solusi yang menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan energi bersih dan berkelanjutan. Turbin angin modern telah mengalami perkembangan signifikan dalam desain dan efisiensi, membuatnya semakin relevan sebagai sumber daya energi Masa depan.

Untuk meningkatkan performa turbin angin, dipilih *Airfoil* NACA 4412 karena relevansinya dengan aplikasi turbin angin dan kinerjanya pada bilangan *Reynolds* rendah (Koca dkk., 2018). Dengan menggunakan perangkat lunak SOLIDWORKS 2018, peneliti merancang turbin angin dengan memanfaatkan profil NACA 4412, memiliki diameter 1 m, dan menggunakan perangkat lunak ANSYS 2022 untuk menerapkan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) agar mendapatkan informasi krusial dalam penelitian berjudul "Desain Dan Simulasi Numerik Turbin Angin *Propeller* Skala Rendah Dengan *Airfoil* NACA 4412".

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan menjadi fokus utama. Pertama mengetahui pengaruh AOA (*Angle of Attack*) pada variasi 3° , 4° , 5° , 6° , dan 7° terhadap performansi turbin angin serta penggunaan sudut puntir (*twist*). Kedua mengetahui pengaruh *Tip Speed Ratio* dan kecepatan angin pada performansi turbin angin. Pengaruh ini dianalisis menggunakan metode analitik dan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk menganalisis parameter daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin.

1.3 Batasan Masalah

Dalam ini, permasalahan dibatasi agar penelitian yang dilakukan tidak keluar dari ruang lingkup kajian. Berikut batasan Masalah dalam tugas sarjana ini:

1. Simulasi dijalankan dalam 3D
2. Pendekatan *steady* menggunakan *Rotating Frame*
3. Pendekatan satu Phasa menggunakan udara
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. Besar AOA yang divariasikan yaitu 3° , 4° , 5° , 6° , dan 7°
7. Jumlah *Element Mesh* sebesar 1000000 – 1300000 *element*

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas sarjana ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui TSR (*Tip Speed Ratio*) optimum untuk rancangan desain turbin angin NACA 4412.

2. Mengetahui model turbulensi yang tepat dalam simulasi CFD (*Computational fluid dynamics*) turbin angin horizontal.
3. Membandingkan C_p , torsi, dan daya pada desain sudu turbin angin yang menggunakan *twist* dan *non-twist*
4. Menjelaskan pengaruh sudu serang (AoA) optimum pada desain NACA 4412 terhadap *coefficient of lift* (C_l) dan *coefficient of drag* (C_d)

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 yang menggunakan dan tidak menggunakan sudut puntir atau *twist*.
3. Memberikan pengetahuan tentang turbin angin sumbu horizontal skala mikro sebagai salah satu alternatif energi terbarukan yang dapat diterapkan pada daerah terpencil.

DAFTAR PUSTAKA

- Allifah, S., Syaikat, Y., & Wijayanti, P. (2022). Dampak Tenaga Air Dan Bahan Bakar Fosil Terhadap Implementasi Ekonomi Hijau Di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 9(3), 102–112. <https://doi.org/10.21776/Ub.Jsal.2022.009.03.3>
- 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.p13-23>
- Arpino, F., Cortellessa, G., Frattolillo, A., Iannetta, F., & Scungio, M. (2019). Numerical And Experimental Investigation Of The Flow Over A Car Prototype For The Shell Eco Marathon. *Journal Of Applied Fluid Mechanics*, 12(1), 207–218. <https://doi.org/10.29252/jafm.75.253.28884>
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., & Bossanyi, E. (2001). *Wind Energy Handbook*.
- 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>
- Hau, E. (2013). *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics*. In *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics* (Vol. 9783642271519). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-27151-9>
- Hidayat, M. F. (2014). *Analisa Aerodinamika Airfoil Naca 0021 Dengan Ansys Fluent*.
- Iskandar, I. (2021). Kausalitas Konsumsi Listrik Per Kapta Dan Pdb Per Kapita Di Indonesia Causality Of Electricity Consumption Per Capta And Gdp Per Capita In Indonesia. In *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan* (Vol. 12).
- Jamieson, P., & Hassan, Garrad. (2011). *Innovation In Wind Turbine Design*. Wiley.
- Jespersen, D. C., Pulliam, T. H., & Childs, M. L. (N.D.). *Overflow Turbulence Modeling Resource Validation Results*.

- Khusnawati, N., Wibowo, R., & Kabib, M. (2022). Analisa Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudu. In *Jurnal Crankshaft* (Vol. 5, Issue 2). Online.
- Koca, K., Genç, M. S., Açikel, H. H., Çağdaş, M., & Bodur, T. M. (2018). Identification Of Flow Phenomena Over Naca 4412 Wind Turbine Airfoil At Low Reynolds Numbers And Role Of Laminar Separation Bubble On Flow Evolution. *Energy*, 144, 750–764.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.045>
- Kusdiana, D. (2022). Content-Laporan-Kinerja-Direktorat-Jenderal-Energi-Baru-Terbarukan-Dan-Konservasi-Energi-Tahun-2022. Laporan Kinerja Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan Dan Konservasi Energi Tahun 2022.
<https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-laporan-kinerja-direktorat-jenderal-energi-baru-terbarukan-dan-konservasi-energi-tahun-2022.pdf>
- Mulyadi, M. (2013). Analisis Aerodinamika Pada Sayap Pesawat Terbang Dengan Menggunakan Software Berbasis Computational Fluid Dynamics (Cfd). *Jurnal Teknik Mesin Universitas Gunadarma*.
- Novri, R. R. (2021). The Analisis Potensi Energi Angin Tambak Untuk Menghasilkan Energi Listrik. *Journal Of Research And Education Chemistry*, 3(2), 96.
[https://doi.org/10.25299/jrec.2021.vol3\(2\).7165](https://doi.org/10.25299/jrec.2021.vol3(2).7165)
- Oukassou, K., El Mouhsine, S., El Hajjaji, A., & Kharbouch, B. (2019c). Comparison Of The Power, Lift And Drag Coefficients Of Wind Turbine Blade From Aerodynamics Characteristics Of Naca0012 And Naca2412. *Procedia Manufacturing*, 32, 983–990.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.312>
- Rashed, M. R., Abdellatif, O. E., Rabbo, M. F. A., Khalil, E. E., & Shahin, I. (2020). Turbulence Modeling Comparative Analysis For Vertical Axis Wind Turbines. In *Engineering Research Journal (Erj)* (Vol. 1, Issue 44).
- Roache, P. J. (1998). Verification Of Codes And Calculations. *Aiaa Journal*, 36(5), 696–702. <https://doi.org/10.2514/2.457>
- Sayma, A. (2009). *Computational Fluid Dynamics* (1st Ed.). Abdulnaser Sayma & Bookboon.Com.
<https://bookboon.com/en/computational-fluid-dynamics-ebook?mediatype=ebook>
- Sormin, J. S. (N.D.). Desain, Simulasi, Dan Pembuatan Turbin Angin Sumbu Horizontal Diameter Dua Meter Dengan Airfoil Nrel S833, S834, Dan S83.
- Umar, D. A., Yaw, C. T., Koh, S. P., Tiong, S. K., Alkahtani, A. A., & Yusaf, T. (2022). Design And Optimization Of A Small-Scale

Horizontal Axis Wind Turbine Blade For Energy Harvesting At Low Wind Profile Areas. *Energies*, 15(9).
<https://doi.org/10.3390/en15093033>

Wahyudi, Y., & Agung, M. (2021). Pengaruh Distribusi Tekanan Terhadap Gaya Lift Airfoil Naca 23012 Pada Berbagai Variasi Angle Of Attack. In *Jurnal | Mechanical Engineering*.

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, Vol. 2*.

Yogatama, M., & Trisno, R. (2018). Studi Koefisien Drag Aerodinamika Pada Model Ahmed Body Terbalik Berbasis Metode Numerik. *Jurnal Teknik Mesin (Jtm)*, 7.