

SKRIPSI

**PENGARUH JUMLAH SUDU NACA 0012 TURBIN
ANGIN *PROPELLER* SKALA RENDAH
MENGUNAKAN METODE CFD DAN ANALITIK**



Oleh:

AHMAD ALFARIZI BARZAH

03051282025037

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

SKRIPSI

**PENGARUH JUMLAH SUDU NACA 0012 TURBIN
ANGIN *PROPELLER* SKALA RENDAH
MENGUNAKAN METODE CFD DAN ANALITIK**

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



OLEH

AHMAD ALFARIZI BARZAH

03051282025037

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH JUMLAH SUDU NACA 0012 TURBIN ANGIN
PROPELLER SKALA RENDAH MENGGUNAKAN METODE
CFD DAN ANALITIK**

SKRIPSI

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

Oleh:

AHMAD ALFARIZI BARZAH
03051282025037

Palimbang, Juli 2024

Diperiksa dan disetujui oleh
Pembimbing Skripsi

Mengetahui,


Ketua Jurusan Teknik Mesin



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197909272003121004

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

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. : 130/TH/AK/2024
Diterima Tanggal : 30 Desember 2024
Paraf : 

SKRIPSI

NAMA : AHMAD ALFARIZI BARZAH
NIM : 03051282025037
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL SKRIPSI : PENGARUH JUMLAH SUDU NACA 0012
TURBIN ANGIN *PROPELLER* SKALA
RENDAH MENGGUNAKAN METODE CFD
DAN ANALITIK
DIBUAT TANGGAL : 22 AGUSTUS 2023
SELESAI TANGGAL : 21 OKTOBER 2024

Palembang, 12 November 2024

Mengetahui,



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D., IPP.

NIP. 197909272003121004

Diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing Skripsi

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

NIP. 199306052019031016

HALAMAN PERSETUJUAN

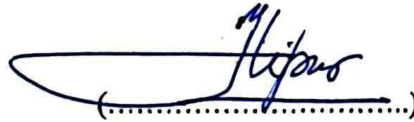
Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Pengaruh Jumlah Sudu NACA 0012 Turbin Angin *Propeller* Skala Rendah Menggunakan Metode CFD Dan Analitik” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 24 Juli 2024.

Palembang, 24 Juli 2024

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Skripsi:

Ketua :

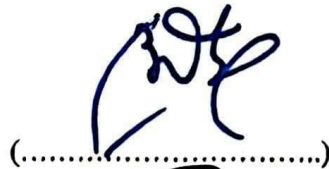
1. Dr. H. Ismail thamrin S.T., M.T.
NIP. 197209021997021001



(.....)

Anggota :

2. Ir. Barlin S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 198106302006041001
3. Zulkarnain ST., M.Sc., Ph.D.
NIP. 198105102005011005



(.....)



(.....)

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Mesin

Diperiksa dan disetujui oleh
Pembimbing Skripsi

Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197909272003121004



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

KATA PENGANTAR

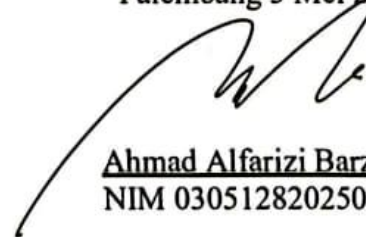
Puji dan syukur atas rahmat Allah SWT, atas dengan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik yang berjudul “Pengaruh jumlah sudu NACA 0012 Turbin Angin Propeller Skala Rendah Menggunakan Metode CFD Dan Analitik”

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. 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 Mulyadi dan Ibu Marz Yuldanella yang telah mendukung saya selama penyusunan skripsi ini.
2. Terima kasih kepada Ketua Jurusan Teknik Mesin Bapak Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D. dan dosen serta staf Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya yang telah membekali saya dengan ilmu yang bermanfaat sebelum Menyusun skripsi ini.
3. Terima Kasih kepada Bapak Dr. Dendy Adanta, S.Pd., M.T., IPP. yang merupakan pengajar dan sekaligus dosen pembimbing saya.

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

Palembang 3 Mei 2024



Ahmad Alfarizi Barzah
NIM 03051282025075

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Alfarizi Barzah

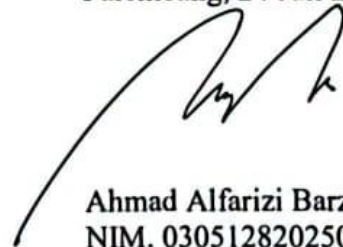
NIM : 03051282025037

Judul : Pengaruh jumlah sudu NACA 0012 Turbin Angin Propeller Skala Rendah Menggunakan Metode CFD Dan Analitik

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



Ahmad Alfarizi Barzah
NIM. 03051282025037

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Alfarizi Barzah

NIM : 03051282025037

Judul : Pengaruh jumlah sudu NACA 0012 Turbin Angin *Propeller* Skala Rendah Menggunakan Metode CFD Dan Analitik

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




Ahmad Alfarizi Barzah
NIM. 03051282025037

RINGKASAN

PENGARUH JUMLAH SUDU NACA 0012 TURBIN ANGIN PROPELLER SKALA RENDAH MENGGUNAKAN METODE CFD DAN ANALITIK

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 21 Oktober 2024

Ahmad Alfarizi Barzah, dibimbing oleh Dr. Dendy Adanta, S.Pd, M.T, IPP
xxxii + 112 Halaman, 18 Tabel, 50 Gambar, 28 Lampiran

Latar belakang penelitian ini berfokus pada pentingnya energi terbarukan sebagai solusi keterbatasan energi fosil, di mana energi angin menjadi salah satu sumber energi bersih yang potensial. Penelitian ini mengkaji kinerja turbin angin horizontal skala kecil dengan menggunakan profil *airfoil* NACA 0012 dan variasi jumlah sudu, yaitu 3 dan 4 sudu, untuk mengetahui pengaruhnya terhadap efisiensi konversi energi angin menjadi energi listrik.

Metode yang digunakan adalah kombinasi simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan metode analitik. Perangkat lunak SOLIDWORKS digunakan untuk merancang geometri 3D turbin, sementara ANSYS Fluent digunakan untuk simulasi aliran udara. Parameter yang dikaji meliputi *Tip Speed Ratio* (TSR), sudut serang (*Angle of Attack*), serta koefisien daya (C_p), gaya angkat (C_l), dan gaya hambat (C_d). Hasil penelitian menunjukkan bahwa turbin angin dengan 3 sudu memiliki performa lebih baik dibandingkan turbin 4 sudu. TSR optimum untuk turbin 3 sudu adalah 7, sedangkan turbin 4 sudu memiliki TSR optimum sebesar 6. Dari segi daya yang dihasilkan, turbin dengan 3 sudu mampu menghasilkan daya sebesar 1040,819 W dengan efisiensi mencapai 54,1%, sementara turbin dengan 4 sudu hanya menghasilkan daya sebesar 927,288 W dengan efisiensi 48,2%.

Selain itu, simulasi menunjukkan bahwa model turbulensi k-epsilon RNG memberikan hasil paling akurat dalam memprediksi kinerja turbin. Visualisasi

aliran udara mengungkap bahwa turbin dengan 4 sudu mengalami lebih banyak aliran *vortex*, yang menyebabkan kerugian energi lebih besar dibandingkan turbin 3 sudu. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa turbin angin horizontal skala kecil dengan 3 sudu memberikan performa lebih optimal dibandingkan dengan 4 sudu menggunakan *airfoil* NACA 0012. Simulasi CFD terbukti efektif dalam menganalisis karakteristik aliran udara serta pengaruh variasi jumlah sudu terhadap efisiensi daya turbin. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan simulasi lanjutan dengan variasi model turbulensi, memperpanjang *boundary* simulasi, serta menginvestigasi pengaruh kecepatan angin yang lebih luas terhadap kinerja turbin. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan teknologi turbin angin skala kecil sebagai solusi energi terbarukan di Indonesia.

Kata kunci : turbin angin sumbu horizontal, CFD, sudut puntir, *airfoil*
Kepustakaan : 30

SUMMARY

THE EFFECT OF THE NUMBER OF NACA 0012 BLADES ON LOW-SCALE *PROPELLER* WIND TURBINES USING CFD AND ANALYTICAL METHODS

Scientific Writing in the form of a Thesis, October 21th 2024

Ahmad Alfarizi Barzah, Supervised by Dr. Dendy Adanta, S.Pd, M.T, IPP xxxi + 112 Pages, 18 Tables, 50 Figures, 28 Apendices

The background of this research focuses on the importance of renewable energy as a solution to the limitations of fossil energy, where wind energy is identified as one of the most promising clean energy sources. This study examines the performance of small-scale horizontal-axis wind turbines using the NACA 0012 *airfoil* profile and variations in the number of blades—3 and 4 blades—to determine their impact on energy conversion efficiency.

The research methodology combines *Computational Fluid Dynamics* (CFD) simulation with analytical methods. SOLIDWORKS software was used to design the 3D geometry of the turbine, while ANSYS Fluent was employed for airflow simulation. The parameters analyzed include *Tip Speed Ratio* (TSR), angle of attack (AoA), power coefficient (Cp), lift coefficient (Cl), and drag coefficient (Cd). The results showed that the wind turbine with 3 blades performed better than the 4-blade turbine. The optimal TSR for the 3-blade turbine is 7, while the 4-blade turbine achieves its optimum TSR at 6. In terms of power output, the 3-blade turbine produced 1040.819 W with an efficiency of 54.1%, whereas the 4-blade turbine generated only 927.288 W with an efficiency of 48.2%.

Furthermore, the simulation revealed that the k-epsilon RNG turbulence model provided the most accurate results in predicting turbine performance. Airflow visualization indicated that the 4-blade turbine experienced more *vortex* flow, which resulted in greater energy losses compared to the 3-blade turbine. The

study concluded that the 3-blade small-scale horizontal-axis wind turbine provides better performance than the 4-blade design using the NACA 0012 *airfoil*. CFD simulation proved effective in analyzing airflow characteristics and the impact of blade number variations on turbine power efficiency. Recommendations for future research include conducting further simulations with different turbulence models, extending the simulation boundary, and investigating the effects of a broader range of wind speeds on turbine performance. This study is expected to serve as a reference for the development of small-scale wind turbine technology as a renewable energy solution in Indonesia.

Keywords : horizontal axis wind turbine, CFD, twist angle, *airfoil*

Literature : 30

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	v
SKRIPSI.....	vii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	xiii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	xv
RINGKASAN.....	xvii
SUMARRY.....	xix
DAFTAR ISI.....	xxi
DAFTAR GAMBAR.....	xxv
DAFTAR TABEL.....	xxix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxxii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Studi Literatur.....	3
1.3 Rumusan Masalah.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Energi Angin.....	7
2.2 Turbin Angin.....	7
2.2.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal.....	8
2.2.2 Prinsip Kerja Turbin Angin.....	9
2.3 Prinsip Konversi Energi.....	10
2.4 Daya Angin.....	18
2.5 Kecepatan Poros.....	19
2.6 Gaya Aerodinamis.....	20

2.7	Pendekatan Segitiga Kecepatan <i>Airfoil</i>	21
2.8	Aerodinamika Rotor	23
2.8.1	Jumlah Sudu Rotor	24
2.8.1.1	Turbin Angin 3 Sudu dan 4 Sudu	25
2.8.2	Radius Hub dan Radius Lokasi	25
2.8.3	Bentuk Optimum Sudu Rotor	26
2.8.4	Twist (θ) dan Pitch (β)	28
2.8.5	Profil <i>Airfoil</i> Sudu Rotor	29
2.9	Profil <i>airfoil</i> NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) 30	
2.10	Simulasi Ansys	32
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		33
3.1	Diagram Alir	33
3.2	Pemilihan <i>Airfoil</i>	35
3.3	Merancang Geometri sudu	36
3.3.1	Tip <i>Speed Ratio</i> Optimum (TSR Optimum)	36
3.3.2	Angle <i>f Attack</i> α	37
3.4	Perancangan 3D	37
3.5	Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD)	40
3.5.1	Diagram Alur Simulasi	40
3.5.2	Pembuatan Daerah Datangnya Angin (Inlet)	41
3.5.3	Proses Diskritasi Elemen	42
3.5.4	Proses Setup Simulasi	43
3.6	CFD post	50
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		51
4.1	Hasil Analisis	51
4.1.1	Perhitungan Daya Angin	51
4.1.2	Radius Hub dan Radius Lokal	53
4.1.3	TSR Lokal λr	54
4.1.4	Sudut Twist θ dan Pitch β	55
4.1.5	Nilai Kecepatan Aksial dan Kecepatan Relatif Sudu	57
4.1.6	Panjang Chord Optimum	58
4.2	Hasil Simulasi	60
4.2.1	Grid <i>Convergency Indeks</i> (MIT)	61

4.2.2	Sudut Serang (α) vs C_l/C_d	63
4.2.3	Perbandingan Model Turbulen	65
4.2.4	Hubungan TSR Terhadap Torsi, Daya Mekanik, dan C_p	66
4.2.5	Sudut α° vs C_p	68
4.3	Pembahasan	70
4.3.1	Visualisasi Kontur Tekanan.....	70
4.3.2	Visualisasi Kontur Kecepatan.....	74
4.3.3	Visualisasi Model Vortex	77
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 sumbu horizontal	9
Gambar 2.2 Kondisi Aliran Udara (Hau & Von Renourd, 2013)	10
Gambar 2.3 Koefisien daya terhadap rasio kecepatan (Hau & Von Renourd, 2013)	16
Gambar 2.4 Kondisi aliran pada <i>disk shaped converter ideal</i> (Hau & Von Renourd, 2013)	17
Gambar 2.5 Koefisien daya pada beberapa jenis turbin angin (Hau & Von Renourd, 2013)	18
Gambar 2.6 Gaya <i>lift</i> dan <i>drag</i> pada <i>airfoil</i> (Hau & Von Renourd, 2013).....	20
Gambar 2.7 Skema segitiga kecepatan <i>airfoil</i>	22
Gambar 2.8 Teori momentum dengan <i>rotating wake</i> (Hau & Von Renourd, 2013)	23
Gambar 2.9 pengaruh jumlah sudu terhadap koefisien daya rotor (Hau & Von Renourd, 2013).....	25
Gambar 2.10 Elemen sudu turbin (Burton dkk., 2001).....	27
Gambar 2.11 Bentuk kontur hiperbolik sudu (Hau & Von Renourd, 2013).....	28
Gambar 2.12 Pengaruh rasio gaya <i>lift</i> dan <i>drag</i> pada koefisien daya motor (Hau & Von Renourd, 2013).....	30
Gambar 2.13 Terminologi <i>Airfoil</i> (Wibisono dkk., 2013)	31
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 3.2 Diagram alir analitik.....	34
Gambar 3.3 <i>Airfoil</i> NACA 0012	36
Gambar 3.4 Koordinat <i>airfoil</i>	38
Gambar 3.5 Sketsa 2 dimensi <i>airfoil</i>	38
Gambar 3.6 Sketsa-sketsa profil <i>airfoil</i>	39
Gambar 3.7 Proses <i>Lofted</i>	39
Gambar 3.8 Diagram alur simulasi	40
Gambar 3.9 Import model turbin dan pembuatan sketsa 1/3 lingkaran untuk <i>boundary</i>	41

Gambar 3.10 pembuatan ekstrude <i>boundary</i>	42
Gambar 3.11 penamaan beberapa bagian <i>boundary</i> , (a) <i>outlet</i> , (b) <i>inlet top</i> , (c) <i>inlet</i> , (d) <i>rotating region</i>	43
Gambar 3.12 Tampilan <i>Fluent launcher</i>	44
Gambar 3.13 Pemilihan model simulasi.....	45
Gambar 3.14 Pendefinisian kondisi.....	46
Gambar 3.15 Mendefinisikan kecepatan putar <i>rotating region</i>	47
Gambar 3.16 Pendefinisian <i>boundary condition</i> untuk <i>blade</i>	47
Gambar 3.17 Kondisi batas <i>inlet</i>	48
Gambar 3.18 Kondisi batas	48
Gambar 3.19 Proses <i>Hybrid Initialization</i>	49
Gambar 3.20 Menentukan jumlah iterasi	49
Gambar 3.21 Menu WORKBENCH	50
Gambar 4.1 <i>Airfoil</i> pada turbin.....	58
Gambar 4.2 konsep 3 sudu (a) sketsa, (b) lofted dan (c) Runner	60
Gambar 4.3 konsep 4 sudu (a) sketsa, (b) lofted dan (c) Runner	60
Gambar 4.4 Distribusi <i>Mesh</i>	63
Gambar 4.5 Grafik AoA (α) vs C_l NACA 0012	64
Gambar 4.6 Grafik AoA (α) vs C_d NACA 0012	64
Gambar 4.7 Grafik AoA (α) vs C_l/C_d NACA 2412.....	64
Gambar 4.8 Grafik perbandingan model turbulence	65
Gambar 4.9 TSR vs C_p	67
Gambar 4.10 TSR vs Torsi.....	67
Gambar 4.11 TSR vs Daya mekanik	68
Gambar 4.12 Grafik sudut serang, α° vs C_p	69
Gambar 4.13 Kontur tekanan pada <i>blade</i> turbin 3 sudu bagian belakang dan depan dengan nilai max 3524,19 Pa dan min -4060 Pa	70
Gambar 4.14 Kontur tekanan pada <i>blade</i> turbin 3 sudu a. R/r 1m b. R/r 0,75 m c. R/r 0,5 m d. R/r 0,25 m.....	71
Gambar 4.15 Kontur tekanan pada <i>blade</i> turbin 4 sudu pada bagian depan dan belakang dengan nilai max 2314,29 Pa dan min -4415,53 Pa.....	72
Gambar 4.16 Kontur tekanan pada <i>blade</i> turbin 4 sudu a. R/r 1m b. R/r 0,75 m c.	

R/r 0,5 m d. R/r 0,25 m	73
Gambar 4.17 Kontur <i>kecepatan</i> pada <i>blade</i> turbin 3 sudu dengan nilai max 96,876 m/s dan min 0 m/s	74
Gambar 4.18 Kontur kecepatan pada <i>blade</i> turbin 3 sudu a. R/r 1m b. R/r 0,75 m c. R/r 0,5 m d. R/r 0,25 m.....	75
Gambar 4.19 Kontur kecepatan pada <i>blade</i> turbin 4 sudu dengan nilai max 86,4753 m/s dan min 0 m/s	76
Gambar 4.20 Kontur kecepatan pada <i>blade</i> turbin 4 sudu a. R/r 1m b. R/r 0,75 m c. R/r 0,5 m d. R/r 0,25 m.....	77
Gambar 4.21 Model visualisasi <i>vortex</i> pada turbin 3 sudu NACA 0012.....	78
Gambar 4.22 Model visualisasi <i>vortex</i> pada turbin 4 sudu NACA 0012.....	79
Gambar 4.23 Model visualisasi <i>vortex</i> pada turbin validator	79

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Tabel daya sudu	51
Tabel 4.2 Kecepatan Poros 4 Sudu (ω	52
Tabel 4.3 Kecepatan Poros 3 Sudu	53
Tabel 4.4 Jarak tiap titik data	53
Tabel 4.5 Nilai TSR lokal	54
Tabel 4.6 Nilai TSR Lokal 4 sudu	55
Tabel 4.7 Sudut twist dan pitch 3 sudu	56
Tabel 4.8 Sudut twist dan pitch 4 sudu	56
Tabel 4.9 Kecepatan relatif dan kecepatan aksial 3 sudu.....	57
Tabel 4.10 Kecepatan relatif dan kecepatan aksial 4 sudu.....	58
Tabel 4.11 Panjang chord optimum 3 sudu.....	59
Tabel 4.12 Panjang <i>chord</i> optimum 4 sudu	59
Tabel 4.13 Perhitungan <i>Grid Convergency Indeks</i> (GCI).....	62
Tabel 4.14 Tabel perbandingan model turbulance	65
Tabel 4.15 Tabel hubungan TSR terhadap torsi, daya, dan C_p 3 sudu	66
Tabel 4.16 Tabel hubungan TSR terhadap torsi, daya, dan C_p 4 sudu.....	66
Tabel 4.17 Tabel hasil simulasi k-w SST turbin 3 sudu	69
Tabel 4.18 Tabel hasil simulasi k-w SST turbin 4 sudu	69

XXX

XXX

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Turbin angin 3 sudu AoA $6,5^\circ$	87
Lampiran 2. Turbin angin 3 sudu AoA $8,5^\circ$	87
Lampiran 3. Turbin angin 4 sudu AoA $6,5^\circ$	88
Lampiran 4. Turbin angin 4 sudu AoA $8,5^\circ$	88
Lampiran 5. Tabel hasil simulasi <i>airfoil</i> NACA 0012 xfoil QBlade	89
Lampiran 6. Kerangka awal dalam proses desain bilah turbin	94
Lampiran 7. Perhitungan hasil analitik kecepatan angin terhadap daya angin	94
Lampiran 8. Perhitungan hasil analitik kecepatan angin terhadap kecepatan poros 3 sudu	95
Lampiran 9. Perhitungan hasil analitik kecepatan angin terhadap kecepatan poros 4 sudu	95
Lampiran 10. Perhitungan hasil analitik RPM terhadap kecepatan poros	95
lampiran 11. Perhitungan hasil analitik radius lokal	96
Lampiran 12. Perhitungan hasil analitik TSR lokal 3 sudu	97
Lampiran 13. Perhitungan hasil analitik TSR lokal 4 sudu	97
Lampiran 14. Perhitungan hasil analitik twist 3 sudu	98
Lampiran 15. Perhitungan hasil analitik twist 4 sudu	99
Lampiran 16. Perhitungan hasil analitik pitch 3 sudu	100
Lampiran 17. Perhitungan hasil analitik pitch 4 sudu	100
Lampiran 18. Perhitungan hasil analitik kecepatan aksial 3 sudu	100
Lampiran 19. Perhitungan hasil analitik kecepatan aksial 4 sudu	101
Lampiran 20. Perhitungan hasil analitik kecepatan relatif 3 sudu	101
Lampiran 21. Perhitungan hasil analitik kecepatan relatif 4 sudu	102
Lampiran 22. Perhitungan hasil analitik panjang chord 3 sudu	103
Lampiran 23. Perhitungan hasil analitik panjang chord 4 sudu	104
Lampiran 24. Lembar Konsultasi Tugas Akhir.....	105
Lampiran 25. Hasil Akhir Similaritas (Turnitin)	106

Lampiran 26. Surat Pernyataan Bebas Plagiarisme.....	107
Lampiran 27. Surat Keterangan Pengecekan Similaritas	108
Lampiran 28. Form Pengecekan Format Tugas Akhir	109

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan sumber energi fosil semakin menurun seiring berjalannya waktu, yang pada akhirnya bisa menyebabkan kenaikan harga. Kenaikan ini berpotensi memengaruhi biaya listrik karena sebagian besar pembangkit listrik di Indonesia bergantung pada energi dari bahan bakar fosil. Menurut informasi dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), batubara menyumbang sekitar 65,93 persen dari pembangkit listrik nasional hingga November 2021, diikuti oleh gas sebesar 17,48 persen, bahan bakar minyak 3,86 persen, air 6,78 persen, panas bumi 5,54 persen, biomassa 0,22 persen, dan sumber lainnya 0,19 persen (Martha, 2020). Pada tahun 2022, total penjualan energi listrik mencapai 273.761,48 GWh. Dari jumlah tersebut, sektor Industri menggunakan 88.483,30 GWh (32,32%), Rumah Tangga mengonsumsi 116.095,41 GWh (42,41%), Bisnis menggunakan 50.532,19 GWh (18,46%), dan sektor lainnya (termasuk sosial, gedung pemerintah, dan penerangan jalan umum) mengonsumsi 18.650,58 GWh (6,81%). Pada akhir tahun 2022, jumlah pelanggan mencapai 85.636.198, naik sebesar 3,75% dari akhir tahun 2021 (PT PLN, 2022). Untuk mengatasi permintaan energi listrik yang terus bertambah dan memenuhi kebutuhan akan sumber energi yang ramah lingkungan, efisien, serta berkelanjutan, penting untuk terus meningkatkan penggunaan sumber energi terbarukan

Energi terbarukan merupakan jenis energi yang berasal dari sumber daya alam dan dapat diperbaharui secara alami tanpa batas. Energi angin adalah energi yang relatif baik karena merupakan sumber energi bersih dan terbarukan. Sumber energi ini tidak begitu populer di Indonesia dan belum banyak diaplikasikan secara komersil dan termasuk dalam kategori energi terbarukan serta dapat diubah menjadi energi listrik melalui pembangunan pembangkit listrik tenaga angin. Di Indonesia, angin biasanya bergerak dalam rentang kecepatan antara 3 m/s hingga 7 m/s. rentang

kecepatan angin ini dianggap sesuai untuk menggunakan pembangkit listrik tenaga angin dalam skala kecil (10 kW) dan menengah (10-100 kW) untuk keperluan energi seperti lampu, pompa air, perangkat elektronik, dan kebutuhan lainnya (Safi'i, 2020). Menurut Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 mengenai Kebijakan Energi Nasional, pada tahun 2025, target untuk energi yang berasal dari sumber baru dan terbarukan adalah setidaknya 23%, dan di tahun 2050 akan mencapai 31%. Pada tahun 2025, target kapasitas PLT-Angin (Pembangkit Listrik Tenaga Angin) adalah sebesar 255 MW. Sampai tahun 2020, PLT-Angin yang telah terpasang mencapai sekitar 135 MW, dengan rincian 75 MW di daerah Sidrap dan 60 MW di daerah Janeponto (EBTKE, 2023). Turbin angin telah menarik perhatian yang besar karena dimensinya yang kecil serta kemampuannya untuk beradaptasi, Khususnya dalam menyuplai energi untuk wilayah luas dan peralatan dengan kebutuhan daya yang rendah (Wang dkk., 2023). Dengan demikian penggunaan turbin angin pembangkit listrik menjadi salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan tersebut

Terdapat dua jenis turbin angin yang diklasifikasikan berdasarkan sumbu putarnya, yang pertama adalah VAWT (vertical axis wind turbine) dengan sumbu vertical, dan yang kedua adalah HAWT (horizontal axis wind turbine) dengan sumbu horizontal. sumbu horizontal merupakan model yang paling umum digunakan (Yonggi Puriza & Latief, 2018), Turbin angin dengan sumbu horizontal merupakan jenis turbin angin yang paling umum dan sering dipakai karena teknologi ini memiliki keunggulan dalam menangkap angin yang kuat karena posisinya yang tinggi, efisiensi rotor yang lebih tinggi dibandingkan dengan tipe vertikal, kemampuan untuk menghadap arah angin, dan sistem perlindungan terhadap angin yang dapat merusak. Kelebihan teknologi ini sangat cocok dengan topografi Indonesia yang memiliki kecepatan angin relatif rendah (Hidayatullah dkk., 2016). Pada turbin angin diperlukan *airfoil* untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik, ada beberapa alasan diperlukannya *airfoil* pada turbin angin yaitu untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi hambatan, mengontrol stabilitas, dan memaksimalkan potensi energi angin. Ada beberapa jenis *airfoil* yang digunakan pada turbin angin salah satunya adalah *airfoil* NACA 0012

Airfoil NACA0012 sering kali digunakan dalam riset aerodinamika karena kinerjanya yang tercatat dengan baik. Para peneliti telah menggunakan simulasi dinamika fluida komputasi (CFD) untuk mengevaluasi bagaimana *airfoil* NACA0012 berperilaku pada berbagai sudut serangan dan nilai Reynolds. Mereka telah mengamati koefisien *lift* dan *drag* dari *airfoil* ini, juga responsnya terhadap berbagai model turbulensi. Selain itu, *airfoil* NACA0012 telah menjadi subjek studi untuk memahami bagaimana gelembung laminar terpisah dan efek turbulensi aliran bebas mempengaruhi aliran udara di sekitarnya. Bentuk khusus dari *airfoil* NACA0012 ternyata dapat mengurangi pemisahan aliran, menyebabkan peningkatan angkat dan pengurangan hambatan. Keseluruhannya, *airfoil* NACA0012 telah menjadi subjek penelitian yang mendalam karena kinerjanya yang tercatat dengan baik, dan relevansinya dalam memahami prinsip-prinsip aerodinamika serta efek turbulensi (Sadikin dkk., 2018).

Dengan memanfaatkan perangkat lunak SOLIDWORK 2018, penulis merancang turbin angin menggunakan profil NACA 0012 yang memiliki diameter 33 cm. Metode *computational fluid dynamics* (CFD) juga digunakan untuk mendapatkan informasi penting yang diperlukan dalam penelitian yang berjudul “Pengaruh Jumlah Sudu NACA 0012 Turbin Angin Propeller Skala Rendah Menggunakan Metode CFD Dan Analitik”

1.2 Studi Literatur

Meskipun turbin angin dapat menghasilkan listrik dari tenaga angin, kinerja mereka dalam menangkap energi angin hanya 59,3%, yang dikenal sebagai fenomena limit betz (Zhang, dkk., 2022).

Penelitian oleh Abhishiktha Tummala dan rekan-rekannya menunjukkan bahwa beberapa komponen, termasuk TSR (*tip speed ratio*), kecepatan rotor, dan sudut *pitch* pada *airfoil* tertentu, memengaruhi fokus kinerja turbin angin horizontal skala rendah. Meskipun demikian, hanya sedikit orang yang melakukan penelitian lebih lanjut tentang masalah ini. Untuk mencapai efisiensi daya yang tinggi, desain harus ditempatkan secara ideal terhadap arah angin untuk memaksimalkan gaya total yang diterima turbin angin (Tummala dkk., 2016). Oleh karena itu, faktor-

faktor seperti TSR (*tip speed ratio*), kecepatan rotor, dan sudut *pitch* dan sudut *twist* pada *airfoil* sangat penting dalam penelitian tentang turbin angin horizontal untuk mencapai kinerja dan efektivitas yang optimal.

Ada sebuah studi yang membandingkan performa aerodinamis dari turbin angin poros horizontal (HAWT) dengan bilah yang bergerak ke depan (*forward*) dan yang bergerak ke belakang (*backward*). Kesimpulannya adalah bahwa turbin angin dengan bilah yang bergerak ke depan mengalami peningkatan gaya sebesar 2,9%. Sementara itu, pada bilah yang bergerak ke belakang, terjadi penurunan koefisien dorong hingga 5,4% pada desain TSR. (Kaya, dkk., 2018). Akibatnya, bilah yang bergerak ke depan memiliki kemampuan untuk meningkatkan kinerja, sedangkan bilah yang bergerak ke belakang memiliki kecenderungan untuk mengurangi kinerja turbin angin itu sendiri.

Dalam penelitian (Deghoum dkk., 2023) dapat disimpulkan bahwa simulasi dan komputasi dalam merancang turbin angin sangat penting untuk mencapai performa yang diinginkan. Bersamaan dengan itu, metode Betz (BEMT) digunakan untuk merancang chord utama dan sudut belok bilah. Namun, jika hanya mengandalkan teori ini dalam merancang turbin, ada kelemahan karena tidak menghasilkan desain chord dan sudut belok yang linear. Oleh karena itu, analisis komputasi dan simulasi digunakan untuk mengoptimalkan desain bilah angin sesuai dengan pendekatan linearisasi. Begitu juga dengan studi yang dilakukan (Bai & Wang, 2016) yang menginvestigasi kinerja aerodinamis dari turbin angin sumbu horizontal dalam skala mikro. Mereka menggunakan pendekatan eksperimental dan metode numerik seperti CFD dan BEM.

Dalam penelitian (Eltayesh dkk., 2021) membandingkan koefisien daya dari turbin angin dengan variasi jumlah sudu 3, 5, dan 6 dengan hasil yang menunjukkan bahwa pengurangan jumlah bilah meningkatkan koefisien daya, dengan turbin 3 bilah menunjukkan koefisien daya tertinggi dibandingkan dengan turbin dengan 5 dan 6 bilah. Selain itu, penelitian ini diperluas untuk memeriksa dampak soliditas pada medan aliran menggunakan perhitungan numerik, memberikan wawasan berharga untuk mengoptimalkan kinerja turbin angin skala kecil, penelitian ini juga menyimpulkan bahwa peningkatan jumlah blade memiliki dua efek utama, yaitu meningkatkan torsi dan kerugian gesekan.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan studi literatur, rumusan masalah studi ini adalah apakah turbin angin jenis horizontal skala *small* NACA 0012 dengan rancangan 3 sudu lebih baik dibandingkan rancangan 4 sudu menggunakan metode *computational fluid dynamics* (CFD).

1.4 Batasan Masalah

Penelitian tugas sarjana ini membatasi topik penelitian agar tidak melampaui ruang lingkup kajian. Batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jumlah sudu yang dipilih adalah 3 sudu dan 4 sudu
2. Nilai AOA yang divariasikan yaitu $6,5^\circ$, $7,5^\circ$, dan $8,5^\circ$
3. Fluida yang bekerja adalah udara dengan $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$
4. Simulasi dijalankan dengan bentuk 3D
5. Pendekatan *transient* menggunakan *rotating frame*
6. Dalam simulasi, kondisi diterapkan melalui metode *pressure-based*, dengan mengasumsikan bahwa densitas fluida kerja tetap konstan terhadap waktu
7. Pendekatan satu fasa menggunakan udara
8. Kecepatan angin yang digunakan adalah 10 m/s

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas sarjana ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh jumlah sudu turbin angin horizontal NACA 0012
2. Mengetahui model turbulen yang tepat untuk turbin angin jenis horizontal skala rendah.
3. Mengetahui TSR optimum untuk turbin angin horizontal 3 sudu dan 4 sudu
4. Menjelaskan pengaruh AoA optimum untuk rancangan sudu dengan NACA 0012 terhadap gaya *lift* dan gaya *drag*.

1.6 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan, penelitian ini diharapkan memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya dalam perancangan turbin angin sumbu horizontal skala *Small*.
2. Sebagai referensi perbandingan daya yang dihasilkan turbin angin sumbu horizontal skala *Small* dengan jumlah sudu 3 dan 4.

Memberikan pengetahuan tentang turbin angin sumbu horizontal skala *Small* sebagai salah satu alternatif energi terbarukan yang dapat diterapkan pada daerah terpencil.

DAFTAR PUSTAKA

- 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*, 22,23-25 <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2024.100665>
- Ahdiat, adi. (2023, Februari 23). Konsumsi Listrik Penduduk Indonesia Naik pada 2022, Capai Rekor Baru. *Databoks*. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2023/02/23/konsumsi-listrik-penduduk-indonesia-naik-pada-2022-capai-rekor-baru>, 23, 52-58
- 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>
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., & Bossanyi, E. (2001). *Wind Energy Handbook* (2nd ed.). 34, 21-23 John Wiley & Sons, Ltd. <https://books.google.co.id>
- Baliska, D. Z., Bisono R. M., Salim A. T. A., Sulistyono, & Nurdiansyah R. T.. (2023). Metode CFD untuk Pengolahan Data Pengukuran Temperatur dan Analisis Distribusi Temperatur Ruangan KRDE. *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur (JETM)*, 06(1), 37 44. <https://doi.org/doi.org/10.33795/jetm.v6i01.1843>
- 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>
- Deghoum, K., Gherbi, M. T., Sultan, H. S., Jameel Al-Tamimi, A. N., Abed, A. M., Abdullah, O. I., Mechakra, H., & Boukhari, A. (2023). Optimization of Small Horizontal Axis Wind Turbines Based on Aerodynamic, Steady-State, and

Dynamic Analyses. *Applied System Innovation*, 6(2).
<https://doi.org/10.3390/asi6020033>

Eltayesh, A., Hanna, M. B., Castellani, F., Huzayyin, A. S., El-Batsh, H. M., Burlando, M., & Becchetti, M. (2019). Effect of wind tunnel blockage on the performance of a horizontal axis wind turbine with different blade number. *Energies*, 12(10).
<https://doi.org/10.3390/en12101988>

Hau, E., & Von Renourd, H. (2013). Wind turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics. Dalam *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics* (3rd ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 3, 17-18.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-27151-9>

Hidayat, M. F. (2016). Analisa Aerodinamika *Airfoil* NACA 0021 dengan Ansys Fluent. *Journal Kajian Teknik Mesin UTA'45*, 1(1), 45–50.
<https://doi.org/10.52447/jktm.v1i1.332>

Jamieson, P., & Hassan, Garrad. (2011). *Innovation in Wind Turbine Design* (1 ed.). A John Wiley & Sons, 1, 2-3. <https://doi.org/10.1002/9781119975441>

Johari, M. K., Jalil, M. A. A., & Shariff, M. F. M. (2018). Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT). *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, 7(4), 74–80.
<https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.13.21333>

Kaminsky, C., Filush, A., Kasprzak, P., & Mokhtar, W. (2012). A CFD Study of Wind Turbine Aerodynamics, 3, 13-14.

Kaya, M. N., Kose, F., Ingham, D., Ma, L., & Pourkashanian, M. (2018). Aerodynamic Performance of a Horizontal Axis Wind Turbine with Forward and Backward Swept Blades. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 176, 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.03.023>

Khusnawati, N., Wibowo, R., & Kabib, M. (2022). Analisa Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudu. *Jurnal Crankshaft*, 5(2), 2623–0755.
<https://doi.org/10.24176/crankshaft.v5i2.7683>

- Kriswanto, Romadlon, F., Al-Janan, D. H., Aryadi, W., Naryanto, R. F., Anis, S., Sukoco, I., & Jamari. (2022). Rotor Power Optimization of Horizontal Axis Wind Turbine from Variations in *Airfoil* Shape, Angle of Attack, and Wind Speed. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 94(1), 138–151. <https://doi.org/10.37934/arfmts.94.1.138151>
- 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>
- Kusdiana, D. (2022). Laporan Kinerja Ditjen EBTKE 2022. Dalam Laporan Kinerja Direktorat Jenderal 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, 2, 12-15.
- 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(12 December). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242485>
- Novri, R. R. (2021). 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. (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>
- Praditya, A., Abdilla, T., Damayanti, A. H., Marciano, I., Simamora, P., Mursanti, E., Arinaldo, D., Giwangkara, J., & Adiatma, J. C. (2019). Indonesia Clean Energy Outlook Tracking Progress and Review of Clean Energy Development in Indonesia., 4,7 -9 www.iesr.or.id
- Qunfeng, L., Jin, C., & Jiangtao, C. (2011). Study of CFD Simulation of a 3-D Wind

Turbine. China National Nature Science Fund, 5(5).
<https://doi.org/10.1109/ICMREE.2011.5930883>

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.). Abdunaser Sayma & Bookboon.com. [https://bookboon.com/en/computational fluid dynamics-ebook, 1, 5-6?mediaType=ebook](https://bookboon.com/en/computational-fluid-dynamics-ebook,1,5-6?mediaType=ebook)

Setiawan, J., & Darmawan dan Harto Tanujaya, S. (2022). Komparasi Simulasi CFD Pada Turbin Cross-Flow Dengan Model Turbulen k- ϵ STD dan RNG k- ϵ . *Jurnal Asimetri: Jurnal Ilmiah Rekayasa dan Inovasi*, 4(2), 153–162. <https://doi.org/10.35814/asiimetrik.v4i1.3100>

Tummala, A., Velamati, R. K., Sinha, D. K., Indraja, V., & Krishna, V. H. (2016). A review on small scale wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 13511371. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.027>

Wahyudi, Y., & Agung, M. (2021). Pengaruh Distribusi Tekanan Terhadap Gaya Lift *Airfoil* NACA 23012 Pada Berbagai Variasi Angle Of Attack [Thesis (S1), Universitas Negeri Makassar]. Dalam *Jurnal | Mechanical Engineering*, 5, 17-23. <http://eprints.unm.ac.id/19675/>

Wibisono, Y., Nugroho, G., & Hantoro, R. (2013). Studi Karakteristik Aliran Tiga Dimensi Dan Perpindahan Panas Pada Cascade *Airfoil* Dengan Pengaruh Clearance. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1). <https://doi.org/10.12962/J23373539.V2I1.3255>

Zhang, H., Wen, J., Zhan, J., & Xin, D. (2022). Effects of blade number on the aerodynamic performance and wake characteristics of a small horizontal-axis wind turbine. *Energy Conversion and Management*, 273, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116410>