



ANALISIS AERODINAMIKA DAN AEROAKUSTIK AIRFOIL WORTMANN FX63-137

AERODYNAMIC AND AEROACOUSTIC ANALYSIS OF AIRFOIL WORTMANN FX63-137

Muhammad Zidane Athaya Zulkipli¹⁾, I Kade Wiratama²⁾, IGKN Yudhyadi³⁾

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

email: madzidane.athaya74@gmail.com¹⁾, kwiratama@unram.ac.id^{2)*}, ngurah.yudhyadi@unram.ac.id³⁾

Received:
10 Februari
2025

Accepted:
10 Mei 2025

Published:
28 Mei 2025



Abstrak

Aerodinamika dan aeroakustik airfoil menjadi pertimbangan penting di dalam desain sudu turbin angin. Peningkatan efisiensi turbin angin dengan memaksimalkan daya, perlu mempertimbangkan untuk meminimalkan tingkat kebisingan terhadap kesehatan lingkungan. Studi yang mengintegrasikan analisis aerodinamika menggunakan SST $k-\omega$ dan prediksi kebisingan dengan *Large Eddy Simulation* (LES) pada airfoil Wortmann FX63-137 masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi sudut serang terhadap performa aerodinamika dan tingkat kebisingan pada airfoil. Simulasi dilakukan menggunakan ANSYS Fluent dengan model SST $k-\omega$ untuk mengetahui *aerodynamic performance* airfoil dan LES digunakan untuk analisis aeroakustik pada variasi sudut serang dari 0° hingga 12° . Hasil menunjukkan bahwa peningkatan sudut serang meningkatkan C_L hingga maksimum pada 12° , tetapi juga meningkatkan C_D , yang mengurangi efisiensi aerodinamika. Tingkat kebisingan meningkat dengan bertambahnya sudut serang dan puncak kebisingan terjadi di *trailing edge*. Studi ini memberikan gambaran untuk optimalisasi desain airfoil turbin angin yang lebih efisien dan pertimbangan tingkat kebisingan lingkungan.

Kata Kunci: airfoil, tingkat kebisingan, aerodinamika, aeroakustik

Abstract

The aerodynamics and aeroacoustics of airfoils are important considerations in the design of wind turbine blades. Improving wind turbine efficiency by maximizing power requires consideration of minimizing noise levels for environmental health. There aren't many studies that use the Wortmann FX63-137 airfoil for both noise prediction with Large Eddy Simulation (LES) and aerodynamic analysis using the SST $k-\omega$ model. This study seeks to examine how variations in the angle of attack impact the aerodynamic performance and noise levels of the airfoil. The ANSYS Fluent with the SST $k-\omega$ model was used to simulate the airfoil's aerodynamic performance, and LES was used to analyze the airfoil's aeroacoustic performance as the angle of attack changed from 0° to 12° . The results show that increasing the angle of attack raises the C_L to a maximum at 12° but also increases C_D , which reduces aerodynamic efficiency. Noise levels increase as the angle of attack increases, with peak noise occurring

at the trailing edge. This study provides insights for optimizing the design of more efficient wind turbine airfoils while considering environmental noise levels.

Keywords: airfoil, noise level, aerodynamic, aerocoustics

DOI: 10.20527/sjmekinematika.v10i1.714

How to cite: Zulkipli, M.Z.A., Wiratama, I.K., & Yudhyadi, I.G.N.K., "Analisis Aerodinamika dan Aeroakustik Airfoil Wortmann FX63-137". *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 10(1), 112-124, 2025.

PENDAHULUAN

Tingkat kebisingan berupa tingkat tekanan (kebisingan) yang terjadi pada turbin angin ketika dioperasikan menjadi faktor pertimbangan penting saat penentuan penempatan lokasi turbin angin karena akan menimbulkan gangguan kesehatan masyarakat dalam kurun waktu tertentu dan juga kenyamanan lingkungan[1]. Menurut standar kebisingan di Indonesia untuk peruntukan kawasan dan pemukiman, tingkat kebisingan yang diperbolehkan adalah sebesar 55 dB[2,3]. Karena itu dalam mendesain turbin angin pertimbangan aerodinamika dan aeroakustik dalam memilih jenis airfoil yang digunakan ketika mendesain sudu menjadi dua hal penting. Desain aerodinamika airfoil memegang peranan penting dalam meningkatkan efisiensi turbin angin, terutama dalam memaksimalkan daya yang dihasilkan serta mengurangi kebisingan aeroakustik yang dihasilkan oleh sudu turbin[4]. Airfoil Wortmann FX63-137 merupakan salah satu desain yang banyak diaplikasikan pada turbin angin kecil hingga menengah karena memiliki koefisien angkat yang tinggi pada Reynolds Number rendah hingga sedang[5]. Namun, keberhasilan aplikasi airfoil ini sangat dipengaruhi oleh analisis aerodinamika dan aeroakustik untuk memahami performanya di berbagai kondisi operasi.

Aerodinamika termasuk cabang ilmu yang mempelajari bagaimana udara berinteraksi dengan benda yang bergerak melaluinya, yang mencakup gaya angkat (*lift*) dan gaya hambat (*drag*) yang dihasilkan oleh distribusi tekanan pada permukaan benda, seperti airfoil. Perbedaan kecepatan aliran udara pada permukaan atas dan bawah airfoil menghasilkan perbedaan tekanan yang selanjutnya menghasilkan *coefficient lift* (C_L) dan *coefficient drag* (C_D) [6]. Untuk mengetahui besarnya C_L dan C_D pada airfoil maka dilakukan pengujian di wind tunnel dengan cara mengalirkan udara ke model airfoil untuk menganalisis perilaku aliran yang terjadi[7]. Airfoil seperti Wortmann FX63-137 telah terbukti unggul dalam meningkatkan rasio *lift-to-drag* (L/D), yang menjadi indikator utama efisiensi aerodinamika pada aplikasi seperti turbin angin[5]. Optimalisasi desain airfoil dilakukan menggunakan metode simulasi numerik seperti *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk memprediksi distribusi tekanan dan performa aerodinamika dengan lebih akurat[8]. Salah satu pendekatan yang sering digunakan adalah model turbulensi *Shear Stress Transport* (SST $k-\omega$), yang efektif dalam menganalisis aliran pada berbagai kondisi sudut serang[9]. Studi berbasis simulasi CFD telah membuktikan bahwa desain airfoil dapat disesuaikan untuk mengurangi gaya hambat tanpa mengurangi gaya angkat, sehingga meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem aerodinamika[10].

Aeroakustik merupakan sumber suara yang dihasilkan oleh interaksi antara aliran udara dan struktur, seperti airfoil, yang sering kali menjadi sumber utama kebisingan pada turbin angin[11]. Teknik prediksi berbasis simulasi seperti *Ffowcs-Williams Hawkins* (FW-H) telah digunakan secara luas untuk memahami karakteristik suara di sekitar airfoil, terutama pada berbagai sudut serang dan kecepatan aliran[12]. Selain itu, aplikasi model LES pada airfoil menunjukkan bahwa turbulensi skala besar dapat dipecah menjadi struktur yang lebih kecil, sehingga mempengaruhi spektrum frekuensi suara[14,15].

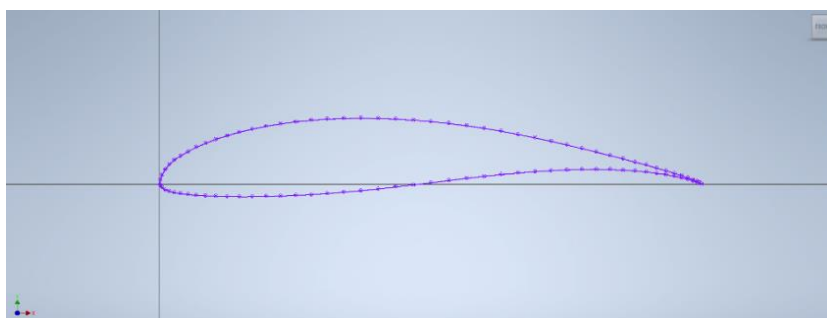
Penelitian mengenai aerodinamika dan aeroakustik airfoil telah mengalami perkembangan signifikan dalam beberapa tahun terakhir, terutama dalam memahami mekanisme transisi aliran dan sumber kebisingan pada berbagai konfigurasi airfoil. Studi mengkaji karakteristik aerodinamika airfoil Wortmann FX63-137 pada berbagai variasi Reynolds Number, menunjukkan bahwa meskipun gaya angkat (C_L) dan gaya hambat (C_D) meningkat seiring bertambahnya Reynolds Number, rasio *lift-to-drag* tetap relatif stabil[6]. Dalam studi lain, analisis aerodinamika airfoil NACA0012 menggunakan model turbulensi SST $k-\omega$, menemukan bahwa peningkatan sudut serang mempengaruhi distribusi tekanan serta transisi aliran hingga mencapai kondisi *stall*[9]. Pada studi terbaru menunjukkan bahwa variasi sudut serang mempengaruhi pembentukan *Laminar Separation Bubble* (LSB), yang berkontribusi terhadap mekanisme umpan balik aeroakustik dan menghasilkan spektrum kebisingan berbeda[15]. Penelitian lebih lanjut mengonfirmasi bahwa pendekatan LES dapat memberikan prediksi yang lebih akurat terhadap spektrum kebisingan dibandingkan metode *Reynolds Averaged Navier Stokes* (RANS) konvensional, terutama dalam memodelkan interaksi turbulen di sekitar permukaan airfoil[12]. Namun, meskipun berbagai penelitian telah membahas aspek aerodinamika dan aeroakustik airfoil, masih terdapat keterbatasan dalam kajian yang mengintegrasikan model turbulensi SST $k-\omega$ untuk analisis aerodinamika dan metode LES untuk prediksi kebisingan pada airfoil Wortmann FX63-137 dalam rentang sudut serang tertentu. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengatasi kesenjangan tersebut dengan menganalisis efek variasi sudut serang terhadap performa aerodinamika menggunakan SST $k-\omega$ dan tingkat kebisingan menggunakan LES. Untuk mengetahui lebih komprehensif karakteristik tingkat kebisingan pada permukaan atas (*near-field*) airfoil dan jarak tertentu dari sumber suara (*far-field*).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menganalisis karakteristik aerodinamika dan aeroakustik airfoil Wortmann FX63-137 dengan menggunakan pendekatan komputasi berbasis *ANSYS Fluent*. Model turbulensi (SST $k-\omega$) digunakan untuk simulasi aerodinamika, sementara metode LES diterapkan untuk analisis akustik. Perhitungan error pada simulasi ini dilakukan dengan cara *Grid Independence Test* (GIT) dimana hasil simulasi dibandingkan dengan hasil wind tunnel test dari National Renewable Energy Laboratory (NREL) tahun 2004[16] dan persamaan statistiknya didasarkan dari penelitian Morley[17].

Pemodelan Airfoil

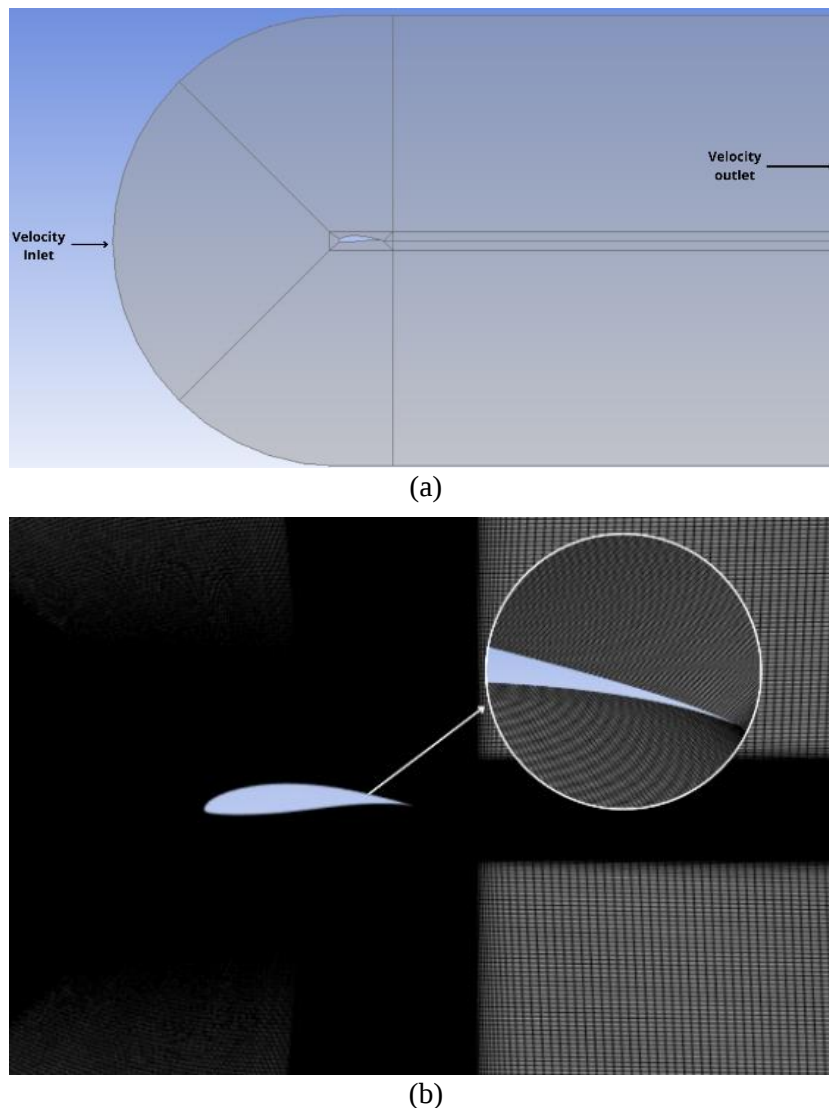
Model airfoil Wortmann FX63-137 didapat dari airfoiltools.com dibuat dalam perangkat lunak *Autodesk Inventor 2024* dengan panjang *chord* 1 meter untuk analisis aerodinamika dan aeroakustik. Setelah pemodelan airfoil selesai, pemodelan dilakukan secara 2D dan kemudian diekstrusi sepanjang 1 meter untuk memastikan representasi bentuk yang akurat dalam simulasi. Model geometri ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Geometri airfoil Wortmann FX63-137

Simulasi Numerik

Setelah desain airfoil selesai, model tersebut dikonversi ke dalam lingkungan simulasi dengan volume eksternal sesuai penelitian sebelumnya[18], yaitu 5C dari *leading edge* ke inlet, 5C dari permukaan atas airfoil ke volume eksternal, 5C dari permukaan bawah airfoil ke dasar volume eksternal, dan 10C dari trailing edge ke outlet. Simulasi aerodinamika menggunakan pendekatan SST k- ω untuk mendapatkan C_L dan C_D lebih akurat dan analisis akustik menggunakan metode LES untuk menangkap fluktuasi turbulen yang berkontribusi pada tingkat kebisingan yang terjadi. Penelitian ini menguji airfoil Wortmann FX63-137 pada sudut serang 0° hingga 12° dengan interval 2° dalam kondisi aliran inkompresibel untuk aplikasi turbin angin berkecepatan rendah hingga menengah, dan divalidasi dengan data hasil uji wind tunnel dari NREL. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil *wind tunnel test*[16] dengan C_L hasil simulasi dan dituliskan pada masing – masing titik berdasarkan hubungan C_L dengan peningkatan sudut serang kemudian dihitung tingkat deviasinya.



Gambar 2. (a) bentuk external volume dengan boolean, (b) Proses meshing

Pada gambar 2 (a) menunjukkan titik masuk dan keluar kecepatan udara, sedangkan gambar 2(b), proses *meshing* dalam dua dimensi (2D) dengan metode *quadrilateral* untuk memastikan distribusi elemen yang lebih terstruktur dan akurat dalam simulasi airfoil[19].

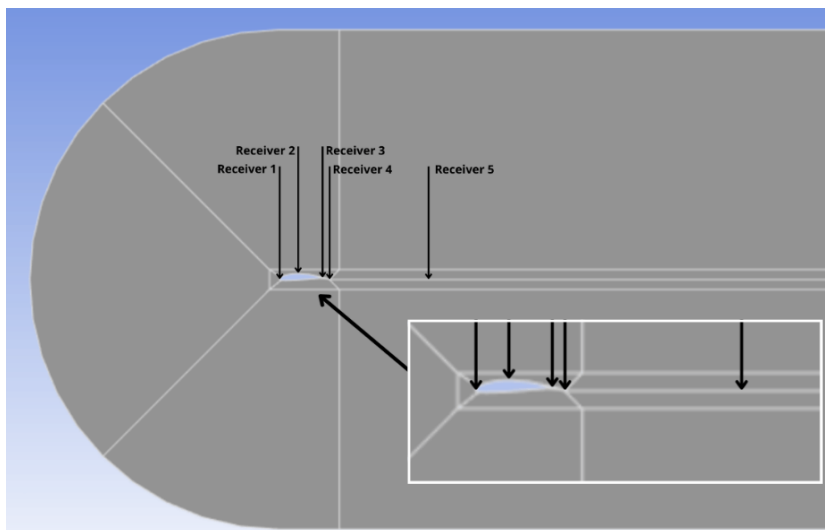
Meshing ini menggunakan teknik *sizing* dan *face meshing* untuk mengontrol ukuran serta distribusi elemen di sekitar airfoil. Sebelum dilakukan simulasi maka untuk menentukan jumlah elemen pada semua variasi sudut serang maka dilakukan *Grid Independence Test*, yaitu menentukan jumlah elemen optimal sehingga penambahan elemen tidak lagi memberikan efek peningkatan akurasi yang signifikan[20].

Hasil *Grid Independence Test* (GIT) optimal didapatkan pada 739.152 elemen dimana jumlah elemen tersebut didapat dari pengujian GIT pada variasi *grid* ke-2, dengan nilai C_L mendekati nilai hasil *wind tunnel* NREL. Hasil GIT di tabelkan pada tabel 1 sementara untuk *boundary condition* atau *numerical setting* dapat dilihat pada tabel 2. Adapun error yang dihasilkan dari perbandingan antara nilai prediksi dan eksperimen (NREL) dapat dijelaskan dengan menggunakan rumus kesalahan yang mengacu pada penelitian Morley[17] dengan presentase nilai error (η'), hasil C_L *wind tunnel* NREL (x'), dan hasil C_L simulasi ANSYS (y').

$$\eta' = \frac{y' - x'}{x'} \quad (1)$$

Tabel 1. *Grid Independence Test*

Grid	Mesh	C_L	NREL	Error %
1	724.746	0,78906	0,8337	-5,3544
2	739.152	0,78912		-5,3472
3	753.661	0,78894		-5,6368
4	769.343	0,78053		-6,3776



Gambar 3. Penempatan *receiver* untuk *acoustic*

Dalam penelitian aeroakustik, penempatan titik *receiver*/mikrofon dirancang untuk mengukur distribusi kebisingan yang dihasilkan oleh interaksi aliran udara dengan airfoil pada berbagai titik sepanjang *chord* [21]. Berdasarkan gambar 3 penempatan *receiver* 1 dan 2 pada posisi 0.5C dan 0.95C yang sedekat mungkin dengan permukaan airfoil untuk mengukur intensitas kebisingan yang dihasilkan di dekat permukaan, khususnya yang berkaitan dengan lapisan batas dan fenomena turbulensi lokal. *Receiver* 3 ditempatkan di posisi 1C untuk memantau kebisingan yang dihasilkan di *trailing edge* akibat pelepasan *vortex* dan interaksi *wake*. *Receiver* 4 ditempatkan pada posisi 3C dari *leading edge* untuk

mengamati transmisi kebisingan ke arah *far-field* dan memahami distribusi energi akustik setelah melewati airfoil.

Tabel 2. Numerical setting airfoil Wortmann FX63-137

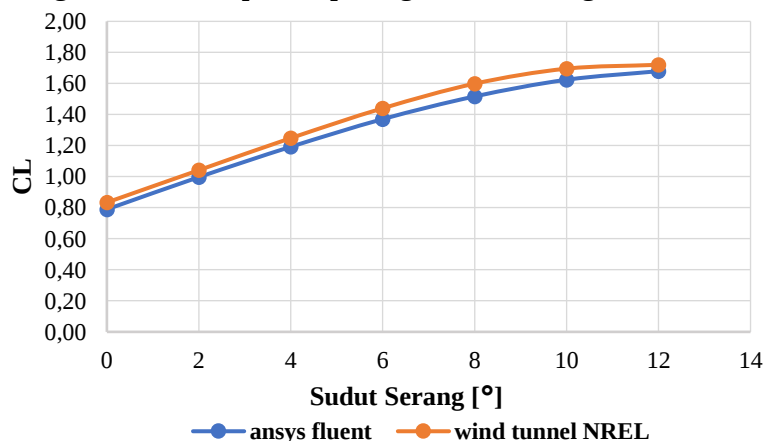
Type	Description
Type airfoil	Wortmann FX 63 – 137
Turbulensi model	SST <i>k-ω</i> untuk aerodynamic LES untuk aeroacoustics
Acoustics model	<i>Ffowcs Williams and hawkins</i> (FW-H)
Type fluida	Udara
Massa jenis fluida	1,225 kg/m ³
Tekanan	101.325 Pa
Reynolds Number	500.000
Kecepatan udara inlet	7,30367 m/s
Kecepatan udara outlet	0 m/s
Initialization	Hybrid untuk aerodynamic Standart untuk aeroacoustics
Boundary Condition	Stationary wall with no slip shear condition

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis aerodinamika dan aeroakustik dilakukan menggunakan perangkat lunak *ANSYS Fluent*. Untuk analisis aerodinamika, model turbulensi yang digunakan adalah SST *k- ω* sedangkan untuk aeroakustik menggunakan model LES dengan metode *Ffowcs Williams-Hawkins* (FW-H) dan pada berbagai variasi sudut serang airfoil yang dari 0°, 2°, 4°, 6°, 8°, 10°, dan 12°, dengan Reynolds Number sebesar 500.000 (dikonversikan ke kecepatan aliran udara di sekitar 7,30367 m/s). Analisis dilakukan dengan 500 iterasi untuk menentukan C_L dan C_D , serta 1.000 iterasi untuk analisis aeroakustik. Hasil simulasi mencakup nilai C_L , C_D , kontur distribusi tekanan, kontur distribusi kecepatan, dan *Sound Pressure Level* (SPL),

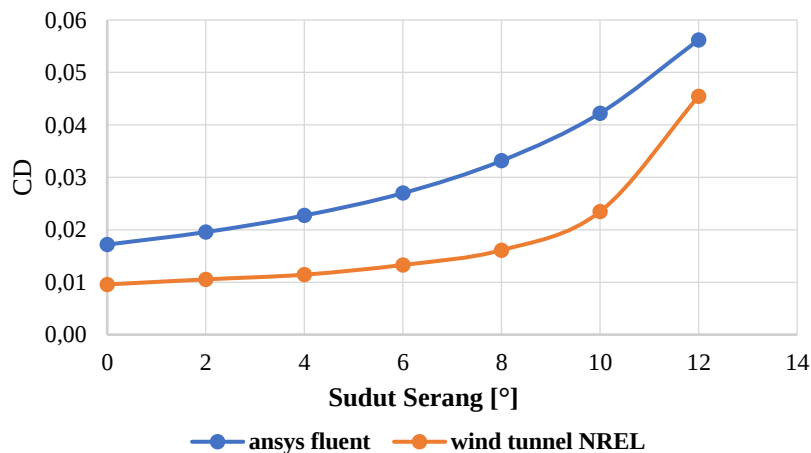
Validasi Hasil Simulasi Terhadap Hasil *Wind Tunnel Test* dari NREL

Hasil simulasi nilai C_L dan C_D untuk setiap variasi sudut serang pada Reynolds Number 500.000 sudah divalidasi dengan hasil eksperimental pengujian terowongan angin (*wind tunnel testing*) yang dilakukan oleh *National Renewable Energy Laboratory* (NREL)[16] sebagaimana ditampilkan pada gambar 4 dan gambar 5.



Gambar 4. Grafik hubungan *coefficient lift* dan variasi sudut serang

Berdasarkan gambar 4, dari hubungan C_L terhadap variasi sudut serang menunjukkan bahwa nilai C_L mengalami peningkatan secara linier seiring dengan bertambahnya sudut serang. Pada sudut serang 0° , nilai C_L adalah sebesar 0,7891, kemudian seiring dengan penambahan sudut serang, mengalami peningkatan secara linier hingga mencapai nilai maksimum 1,6790 pada sudut serang 12° . Kenaikan ini menunjukkan bahwa semakin besar sudut serang, maka semakin besar pula perbedaan tekanan antara sisi atas dan bawah airfoil, yang menghasilkan gaya angkat lebih besar. Dari gambar 4 menunjukkan bahwa perbandingan nilai simulasi CFD ANSYS *Fluent* dengan penelitian hasil pengujian *wind tunnel* dari NREL menunjukkan bahwa nilai C_L dari *wind tunnel* mendapati nilai error rata-rata sebesar -4,55% dan error terkecil pada sudut serang 12° yaitu -2,46%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil simulasi sudah mendekati ke kondisi sebenarnya ketika airfoil diterapkan untuk kebutuhan desain sudu turbin angin [16].



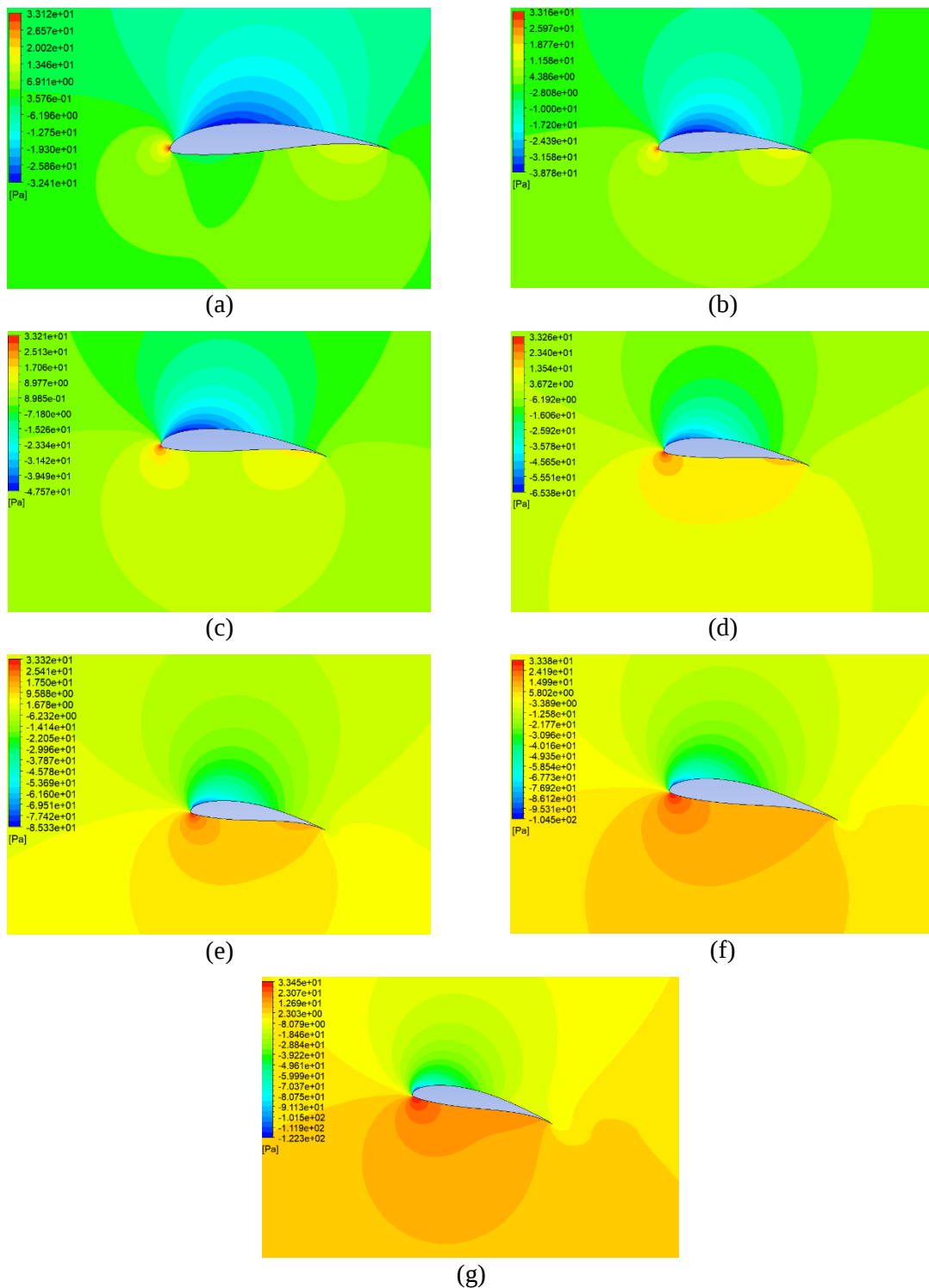
Gambar 5. Grafik hubungan *coefficient drag* dan variasi sudut serang

Berdasarkan pada gambar 5 dari hubungan C_D dan variasi sudut serang menunjukkan bahwa nilai C_D mengalami peningkatan secara bertahap seiring dengan bertambahnya sudut serang dari 0° hingga 12° . Pada sudut serang 0° nilai C_D sebesar 0,0172 kemudian seiring dengan penambahan sudut serang nilai C_D mengalami peningkatan secara linier hingga mencapai nilai maksimum 0,0562 pada sudut serang 12° . Kenaikan ini menunjukkan bahwa semakin besar sudut serang maka semakin besar pula gaya hambat aerodinamis yang dihasilkan akibat peningkatan separasi aliran di permukaan airfoil. Dari gambar 5 menunjukkan bahwa perbandingan nilai hasil *wind tunnel testing* dan hasil simulasi didapatkan bahwa nilai error tertinggi pada sudut serang 8° dengan error sebesar 51,94% sementara error terkecil terjadi pada sudut serang 12° sebesar 19,14%. Hasil validasi nilai C_D dan error yang besar disebabkan karena bentuk profil airfoilnya dimana profile bagian ujung *trailing edge* yang tajam menyebabkan nilai C_D menjadi *under predicted* [22].

Kontur Distribusi Tekanan dan Distribusi Kecepatan

Distribusi tekanan yang terjadi pada desain airfoil dapat dilihat pada gambar 6. kontur distribusi tekanan menunjukkan bahwa pada sudut serang 0° , pusat tekanan terletak di dekat *leading edge*, dengan konsentrasi tekanan tinggi di bagian depan airfoil. Seiring meningkatnya sudut serang hingga 12° , titik pusat tekanan bergeser ke bawah *leading edge* dan mendekati tengah airfoil, menunjukkan bahwa redistribusi gaya angkat yang lebih besar. Hal ini berbanding dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa distribusi tekanan pada airfoil Wortmann FX63-137 mengalami perubahan gradien tekanan yang

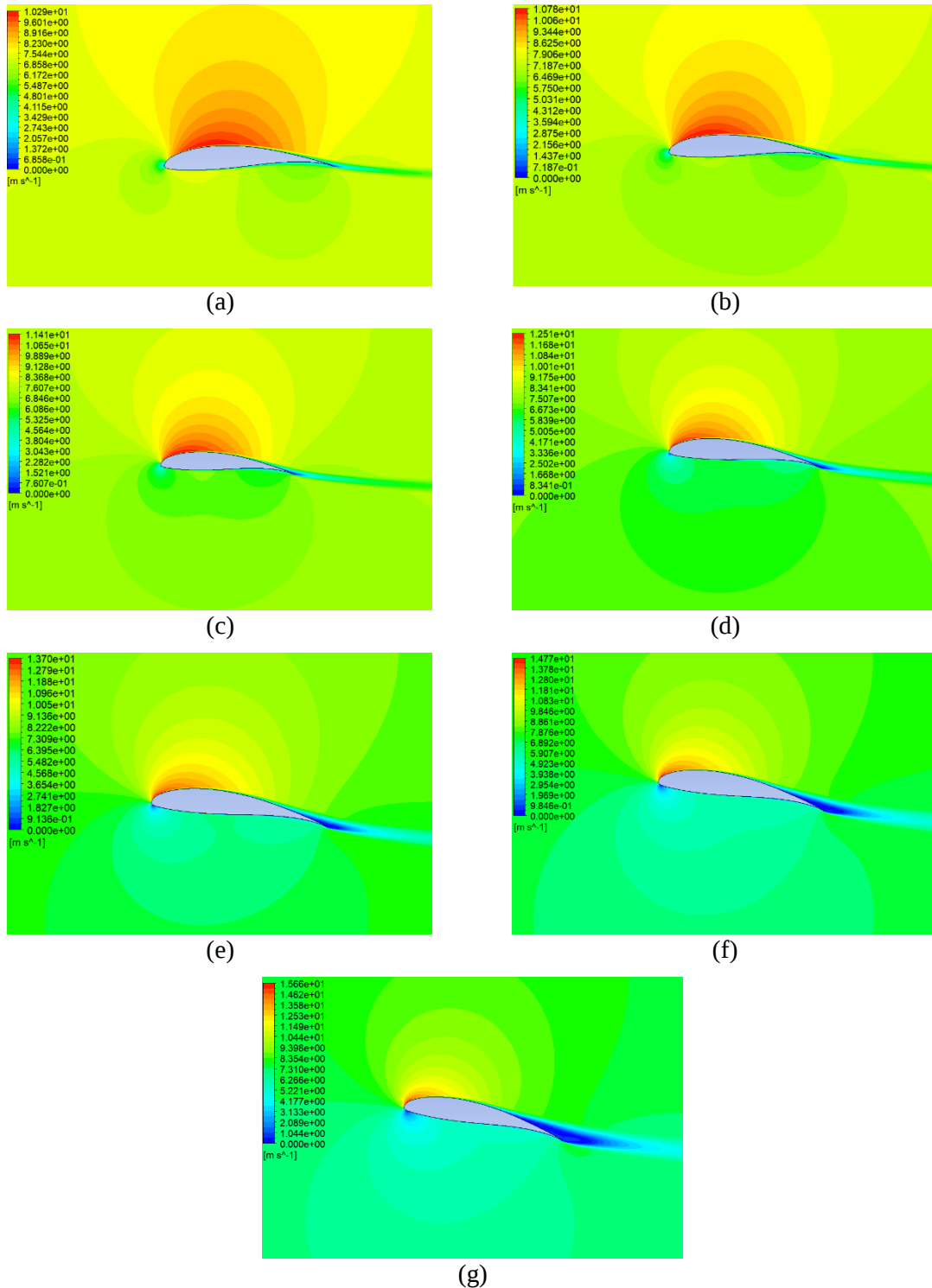
signifikan seiring bertambahnya sudut serang, meningkatkan gaya angkat namun juga berpotensi meningkatkan drag[5].



Gambar 6. Kontur distribusi tekanan (a) 0°, (b) 2°, (c) 4°, (d) 6°, (e) 8°, (f) 10°, (g) 12°

Berdasarkan gambar virtual dari keseluruhan gambar 7 mengenai kontur distribusi kecepatan, hasil simulasi menunjukkan bahwa distribusi kecepatan pada sudut serang 0°, aliran udara tetap simetris dengan percepatan maksimum di sekitar *leading edge*. Seiring bertambahnya sudut serang, percepatan aliran udara di permukaan atas airfoil meningkat,

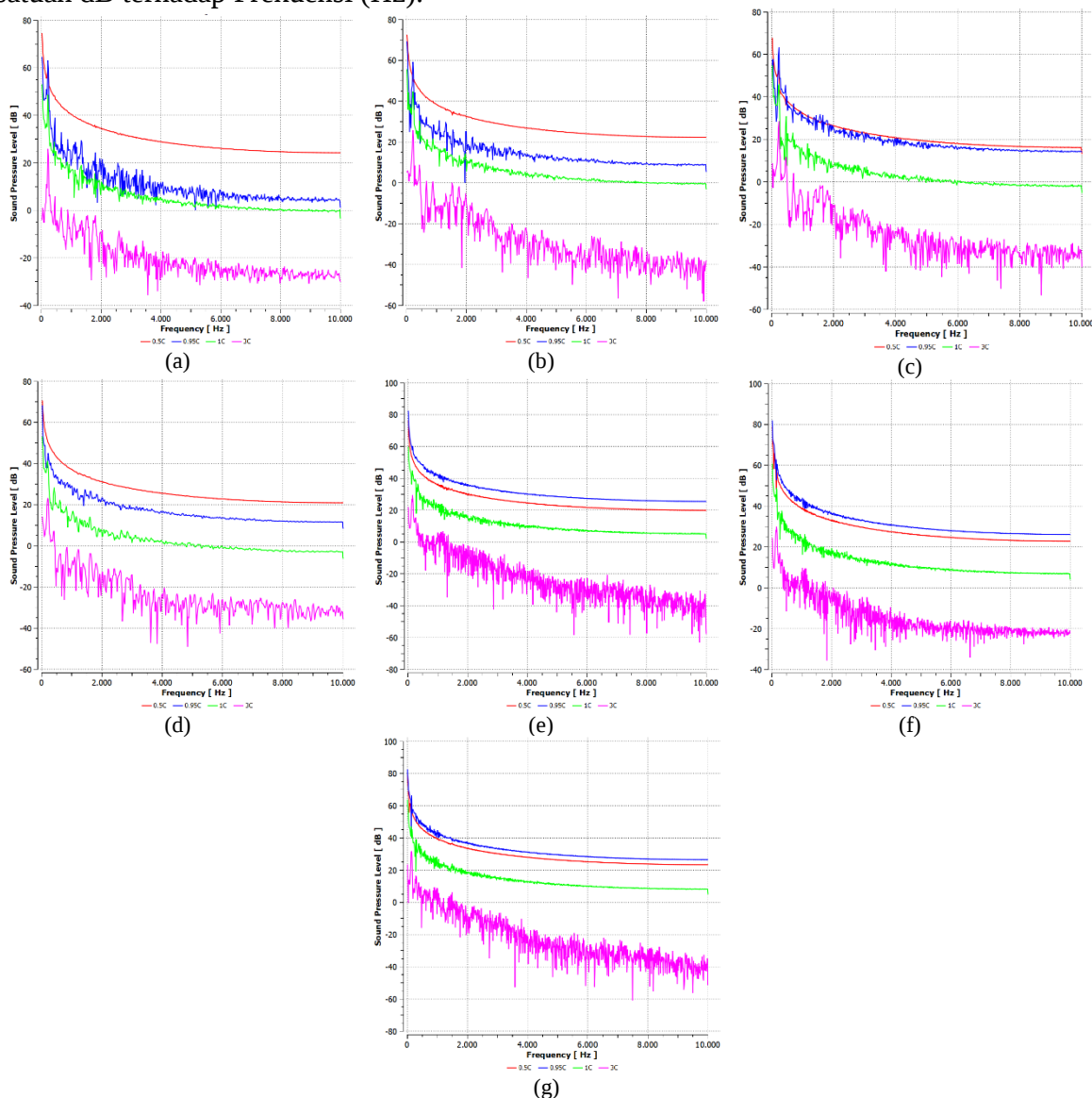
memperkuat gaya angkat. Namun, pada sudut serang 10° dan 12° , terjadinya separasi aliran di *trailing edge* menyebabkan penurunan kecepatan aliran. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya, yang menunjukkan bahwa meskipun peningkatan sudut serang dapat mempercepat aliran di atas airfoil, fenomena separasi aliran pada sudut yang lebih tinggi dapat menurunkan efisiensi aerodinamis[5].



Gambar 7. Kontur distribusi tekanan (a) 0° , (b) 2° , (c) 4° , (d) 6° , (e) 8° , (f) 10° , (g) 12°

Sound Pressure Level (SPL)

Dalam penelitian ini, model akustik *Ffowcs Williams-Hawkings* (FW-H) digunakan untuk menganalisis tingkat kebisingan yang terjadi pada permukaan atas airfoil. Formulasi integral FW-H menjadi model yang efektif dalam memprediksi propagasi suara di *far-field* dengan memanfaatkan aliran udara di *near-field* airfoil[22,23]. Penggunaan model FW-H bertujuan untuk menghitung dan menganalisis suara yang berasal dari permukaan atas airfoil serta menganalisis perambatan suara ke lokasi penerima yang lebih jauh (*far-field*). Karena sifatnya yang transien maka model FWH hanya digunakan untuk memprediksi perambatan gelombang suara di ruang bebas. Dalam analisis FW-H, data awalnya adalah dalam domain waktu (*Time Domain*), sehingga untuk analisis spektral diperlukan transformasi ke domain frekuensi menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) yang akhirnya berupa SPL dalam satuan dB terhadap Frekuensi (Hz).



Gambar 8. Distribusi SPL pada berbagai sudut serang (a) 0°, (b) 2°, (c) 4°, (d) 6°, (e) 8°, (f) 10°, (g) 12°

Berdasarkan gambar 8 hubungan antara SPL dan frekuensi menunjukkan bahwa pada sudut serang 0° hingga 6° tingkat kebisingan tertinggi terjadi di gambar 8 (a) *receiver* 1 pada lokasi 0.5C dengan nilai puncak 74 dB kemudian menurun hingga 25 dB pada rentang frekuensi dari 0 sampai 10.000 Hz. *Receiver* di lokasi *near-field* (0.95C dan 1C) menangkap

tingkat kebisingan lebih rendah sedangkan *receiver* 4 di *far-field* (3C) hanya menangkap *noise* hingga 25 dB kemudian turun hingga di bawah 0 dB. Pada rentang sudut serang 8° hingga 12° tingkat kebisingan tertinggi terjadi di gambar 8 (e) *receiver* 3 pada 0.95C dekat *trailing edge* sebesar 83 dB dan menurun hingga 30 dB pada sudut serang 12° . *Receiver* 4 di *far-field* hanya menangkap tingkat kebisingan maksimum 23 dB. Ini menunjukkan bahwa penurunan tingkat kebisingan akibat atenuasi seiring dengan bertambahnya jarak dari sumber suara. Pada tabel 3 dibawah mengenai hasil SPL menunjukkan bahwa tingkat kebisingan yang terjadi adalah masih berada dalam batas kenyamanan lingkungan sebesar 55 dB[3] sehingga airfoil wortmann ini dapat digunakan untuk desain sudu turbin angin.

Tabel 3. Nilai tingkat kebisingan pada masing-masing *receiver*

Sudut serang	<i>Near-field</i>			<i>Far-field</i>
	<i>Receiver 1 (dB)</i> 0.5C	<i>Receiver 2 (dB)</i> 0.95C	<i>Receiver 3 (dB)</i> 1C	<i>Receiver 4 (dB)</i> 3C
0	74	64	53	1
2	73	69	56	5
4	68	59	55	9
6	71	68	53	14
8	76	82	60	21
10	79	82	61	24
12	79	83	64	24

KESIMPULAN

Karakteristik aerodinamika dan aeroakustik airfoil Wortmann FX63-137 pada berbagai sudut serang sudah di investigasi dengan menggunakan simulasi numerik. Hasil simulasi aerodinamika dengan model turbulensi SST $k-\omega$ menunjukkan bahwa peningkatan sudut serang meningkatkan C_L hingga maksimum pada sudut 12° , dan juga meningkatkan C_D . Pada sisi aeroakustik dengan metode *Large Eddy Simulation* (LES) dan model *Ffowcs Williams-Hawkings* (FW-H) didapat bahwa tingkat kebisingan meningkat seiring bertambahnya sudut serang dengan puncak tingkat kebisingan terjadi di *near field* pada 0.95 C dekat *trailing edge* sebesar 83 dB dan di *far field* tingkat kebisingan sebesar 24 dB dimana masih berada dalam batas tingkat kebisingan lingkungan sebesar 55 dB sehingga airfoil wortmann dapat digunakan untuk desain sudu turbin angin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Lab Komputer Teknik Mesin Universitas Mataram atas dukungan penggunaan software ANSYS dalam penelitian ini, yang telah memungkinkan penyelesaian penelitian dengan lancar.

REFERENSI

- [1] W. Xue and B. Yang, "Noise Measurement of a Wind Turbine using Thick Blades with Blunt Trailing Edge," 2023, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2309.01168>
- [2] U. Windasari, S. E. Maulidiah, A. L. Fadia, and A. Haq, "Analisis Polusi Suara Ditinjau dari Hubungan Frekuensi dan Intensitas Bunyi Kereta Api di Ketintang Baru Menggunakan Software Audacity," vol. 5, no. 2, pp. 186–197, 2024.
- [3] R. Rusmayanti, N. Nurhasanah, and Z. Zulfian, "Analisis Tingkat Kebisingan pada Area Pasar Lama Kabupaten Ketapang Kalimantan Barat," *Prism. Fis.*, vol. 9, no. 3, p. 253, 2021, doi: 10.26418/pf.v9i3.51180.
- [4] J. Kou *et al.*, "Aeroacoustic airfoil shape optimization enhanced by autoencoders," *Expert Syst. Appl.*, vol. 217, 2023, doi: 10.1016/j.eswa.2023.119513.

- [5] I. K. Wiratama, G. N. K. Yudhyadi, M. A. Sayoga, and M. A. Ramdani, "Computational investigation of deploying microtabs on airfoil wortmann FX63-137," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1816, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1816/1/012108.
- [6] I. K. B. Wiratama, I. M. Suartika, I. W. Joniarta, I. M. Mara, and I. M. Nuarsa, *Proceedings of the First Mandalika International Multi-Conference on Science and Engineering 2022, MIMSE 2022 (Mechanical and Electrical)*, no. I. Atlantis Press International BV, 2023. doi: 10.2991/978-94-6463-078-7.
- [7] A. A. Allah and T. Mulyanto, "Analisis Aerodinamika Untuk Desain Mobil Listrik Jenis Kargo Mini," vol. 10, no. 1, pp. 33–47, 2025, doi: 10.20527/sjmekinematika.v10i1.365.
- [8] D. Kang and S. Lee, "Aerodynamic and Aeroacoustic Effects of Different Transition Mechanisms on an Airfoil," *AIAA J.*, vol. 62, no. 4, pp. 1517–1535, 2024, doi: 10.2514/1.J063270.
- [9] G. Mallela, P. Paturu, and M. Komaleswarao, "Lift and drag performance of NACA0012 airfoil at various angle of attack using CFD," *Int. J. Mech. Prod. Eng. Res. Dev.*, vol. 8, no. 3, pp. 89–100, 2018, doi: 10.24247/ijmperdjun201810.
- [10] P. F. Melani, F. Balduzzi, L. Brandetti, C. J. S. Ferreira, and A. Bianchini, "An experimental and numerical analysis of the dynamic variation of the angle of attack in a vertical-axis wind turbine," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1618, no. 5, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1618/5/052064.
- [11] X. Li, K. Yang, H. Hu, X. Wang, and S. Kang, "Effect of tailing-edge thickness on aerodynamic noise for wind turbine airfoil," *Energies*, vol. 12, no. 2, 2019, doi: 10.3390/en12020270.
- [12] C. Abdessemed, A. Bouferrouk, and Y. Yao, "Aerodynamic and Aeroacoustic Analysis of a Harmonically Morphing Airfoil Using Dynamic Meshing," *Acoustics*, vol. 3, no. 1, pp. 177–199, 2021, doi: 10.3390/acoustics3010013.
- [13] S. Sharma, T. Geyer, E. Sarradj, and H. Schmidt, "Numerical investigation of noise generation by rod-airfoil configuration using DES (SU2) and the FW-H analogy," *25th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conf. 2019*, no. May, pp. 1–17, 2019, doi: 10.2514/6.2019-2400.
- [14] P. P. Nataraj, "Airfoil self-noise predictions using DDES and the FWH analogy," p. 111, 2022.
- [15] D. Vittal-Shenoy, R. Gojon, T. Jardin, and M. C. Jacob, "Angle-of-attack and Mach number effects on the aeroacoustics of an SD7003 airfoil at Reynolds number 60,000," *Int. J. Aeroacoustics*, vol. 22, no. 1–2, pp. 131–152, 2023, doi: 10.1177/1475472X221150173.
- [16] M. S. Selig and B. D. McGranahan, *Wind tunnel aerodynamic tests of six airfoils for use on small wind turbines*, no. October. 2004. doi: 10.2514/6.2004-1188.
- [17] S. K. Morley, T. V. Brito, and D. T. Welling, "Measures of Model Performance Based On the Log Accuracy Ratio," *Sp. Weather*, vol. 16, no. 1, pp. 69–88, 2018, doi: 10.1002/2017SW001669.
- [18] R. Silva, M. Manuel, N. Dias, B. Junior, R. S. Maia, and M. N. D. Barcelos, "Development of a Numerical Methodology for the Analysis of Aerodynamics Surfaces Core".
- [19] S. Lu, J. Liu, and R. Hekkenberg, "Mesh properties for rans simulations of airfoil-shaped profiles: A case study of rudder hydrodynamics," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 9, no. 10, 2021, doi: 10.3390/jmse9101062.
- [20] I. Muhammad, "Simulasi Dan Perancangan Bilah Turbin Angin Savonius Heliks Dengan Memanfaatkan Fenomena Angin Pada Gedung Tinggi," *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 7, no. 1, pp. 9–26, 2022, doi: 10.20527/sjmekinematika.v7i1.211.

- [21] E. Molatudi, T. J. Kunene, and L. K. Tartibu, "A Ffowcs Williams-Hawkings numerical aeroacoustic study of varied and fixed-pitch blades of an H-Rotor vertical axis wind turbine," *12th South African Conf. Comput. Appl. Mech. SACAM 2020*, vol. 00013, 2020, doi: 10.1051/mateconf/202134700013.
- [22] J. O. Mo and B. S. Rho, "Characteristics and effects of laminar separation bubbles on NREL S809 airfoil using the γ -Re Θ transition model," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 17, 2020, doi: 10.3390/app10176095.
- [23] P. Ma, F.-S. Lien, and E. Yee, "Computational Acoustic Beamforming for Noise Source Identification for Small Wind Turbines," *Int. Sch. Res. Not.*, vol. 2017, pp. 1–24, 2017, doi: 10.1155/2017/7061391.
- [24] S. Lee, D. Kang, D. J. E. Brouzet, and S. K. Lele, "Airfoil trailing-edge noise source identification using large-eddy simulation and wavelet transform," no. Brouzet 2020, 2023, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2302.05809>