https://doi.org/10.56862/irajtma.v4i3.269

IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)

Vol. 4, No. 3, 2025, pp. 1-11, e-ISSN: 2962-4290

Available online http://e-journals.irapublishing.com/index.php/IRAJTMA/

Scientific Articles

Analisis Aerodinamika Diffuser Dengan Kurvatur Lengkung Berbasis Airfoil Pada Variasi Sudut Serang dan Tinggi Flange

Aerodynamic Analysis of a Curved Airfoil-Based Diffuser at Various Angles of Attack and Flange Lengths

Baginda Arsyi Muhamad[1], I Kade Wiratama[1], I Wayan Joniarta[1]

[1]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Mataram 83125, Indonesia

**Corresponding author*: kwiratama@unram.ac.id

Diterima: 04-8-2025 **Disetujui: 22-09-2025** **Dipublikasikan: 18-12-2025**

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

Abstrak

Rendahnya Kecepatan angin di daerah pemukiman sering menjadi kendala dalam pemanfaatan turbin angin skala kecil maupun mikro. Berbagai usaha untuk mengatasi masalah tersebut telah dilakukan terutama dalam peningkatan performan turbin angin. Salah satunya dengan cara penerapan diffuser pada turbin angin atau *wind lens* ketika dioperasikan. Akan tetapi, rancangan diffuser yang ada saat ini masih memerlukan pengembangan lebih lanjut sebagai usaha untuk menghasilkan desain dengan performa aerodinamikanya meningkat, kecepatan angin lebih optimal, dan lebih ringkas. Dalam penelitian ini, diffuser dengan kurvatur lengkung berbasis airfoil Wortmann FX-63-137 dianalisis menggunakan simulasi *Ansys Fluent*. Variasi yang diuji meliputi sudut serang 0°, 4°, 8° dan 12° dan tinggi flange 0,05D, 0,10D, 0,15D, 0,20D dan 0,25D. Hasil simulasi menunjukkan adanya peningkatan kecepatan aliran angin pada area throat, dengan kinerja terbaik diperoleh pada sudut serang 4° pada flange 0,10D. Pada kondisi ini, daya angin tersedia mencapai 203,20 W, meningkat sekitar 34,01%.

Kata Kunci: *Diffuser*, Turbin angin, *Airfoil Wortman* FX-63-137, Sudut serang, Tinggi *flange*.

Abstract

Low wind speeds in residential areas often pose an obstacle to the use of small- and micro-scale wind turbines. Various efforts have been made to address this issue, particularly to improve wind turbine performance. One such method is the application of a diffuser, or wind lens, during turbine operation. However, existing diffuser designs still require further development in order to achieve more efficient aerodynamic performance, optimize wind speed, and provide a more compact configuration. In this study, a diffuser with curved geometry based on the Wortmann FX-63-137 airfoil was analyzed using Ansys Fluent simulations. The variations tested included angles of attack of 0°, 4°, 8°, and 12°, as well as flange heights of 0.05D, 0.10D, 0.15D, 0.20D, and 0.25D. The simulation results indicated an increase in wind velocity at the throat area, with the best performance achieved at a 4° angle of attack with a 0.10D flange. Under these conditions, the available wind power reached 203.20 W, representing an increase of approximately 34.01%.

Keywords: *Diffuser, Wind turbine, Airfoil Wortmann FX-63-137, Angle of attack, Flange.*

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik global terus meningkat setiap tahunnya, sementara ketersediaan sumber energi fosil semakin menurun akibat pemakaian yang berlebihan (Setyono dan Kiono 2021). Kondisi ini menuntut peralihan fokus pemanfaatan energi menuju energi baru terbarukan

(EBT) sebagai alternatif yang lebih berkelanjutan (Basri 2019). Salah satu sumber EBT yang potensial adalah energi angin, yang dapat dimanfaatkan melalui proses konversi energi kinetik angin menjadi energi listrik menggunakan turbin angin (Adistia dkk. 2020). Perkembangan teknologi desain turbin angin telah meningkatkan efisiensi dan menurunkan biaya produksi energi, sehingga turbin angin menjadi salah satu solusi penting untuk menjawab tantangan penyediaan energi di masa depan (Helmiyatinnisa, Sudarti, dan Yushardi 2024).

Turbin angin menghadapi tantangan signifikan khususnya ketika dioperasikan di daerah dengan kecepatan angin rendah (Abe dan Ohya 2004). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dikembangkanlah metode *Diffuser-Augmented Wind Turbine* (DAWT), yaitu sistem turbin angin yang dilengkapi dengan diffuser atau saluran berbentuk selubung untuk meningkatkan kinerja rotor (Takeyeldein dkk. 2020). Diffuser memanfaatkan efek Venturi, di mana aliran angin dipercepat melalui area penyempitan sehingga meningkatkan kecepatan angin di sekitar rotor dan menghasilkan daya yang lebih besar (Ohya dkk. 2008; Zhang dkk. 2024).

Penggunaan diffuser menjadi semakin relevan, terutama pada daerah pemukiman yang umumnya memiliki kecepatan angin rendah akibat keberadaan penghalang alami seperti bangunan dan vegetasi (KC, Whale, dan Urmee 2019). Pada kondisi ini, daya keluaran turbin angin sangat bergantung pada kecepatan angin, sehingga peningkatan kecepatan angin menjadi faktor kunci (Duranay, Güldemir, dan Coşkun 2024). Salah satu solusi yang dikembangkan adalah penggunaan diffuser berbentuk kurvatur lengkung berbasis *airfoil. Airfoil* menawarkan keunggulan aerodinamis karena mampu menghasilkan gaya angkat *(lift*) dan mengurangi gaya hambat (*drag)* ketika berinteraksi dengan aliran angin (Wiratama dkk. 2023; Effendy dan Muchlisin 2019). Salah satu profil airfoil yang terbukti efektif adalah Wortmann FX-63-137, karena memiliki rasio *lift-to-drag* tinggi dan kinerja stabil pada berbagai sudut serang (Wiratama dkk. 2023).

Beberapa penelitian telah membuktikan efektivitas penggunaan diffuser dalam meningkatkan performa turbin angin. (Matsushima, Takagi, dan Muroyama 2006) melalui uji terowongan angin menunjukkan bahwa diffuser dengan konfigurasi sudut ekspansi dan panjang tertentu mampu meningkatkan kecepatan aliran angin di area rotor sebesar 1,3 hingga 1,6 kali dibandingkan tanpa diffuser. Penelitian lanjutan oleh (Ohya dan Karasudani 2010; Maftouni dan Taghaddosi 2022; Jauhar dkk. 2023) melaporkan bahwa menambahkan *flange* pada ujung diffuser, yang menghasilkan peningkatan kecepatan angin, tergantung desain dan kondisi angin. Sementara itu, (Takeyeldein dkk. 2020) membuktikan bahwa meskipun kecepatan angin relatif rendah, penerapan diffuser tetap mampu meningkatkan kecepatan angin serta meningkatkan daya *output* turbin secara substansial. Selanjutnya, (Alanis dkk. 2021; Paranjape dkk. 2021) melaporkan bahwa penggunaan desain diffuser kurvatur lengkung berbasis *airfoil* terbukti secara numerik mampu meningkatkan kecepatan aliran angin di area rotor. Selain itu, (Ramadhan, Wiratama, dan Joniarta 2025) menunjukkan bahwa diffuser berbasis *airfoil* dengan panjang lebih besar dan sudut serang optimal mampu meningkatkan kecepatan angin pada area rotor secara signifikan.

Meskipun berbagai studi telah mengkonfirmasi efektivitas penggunaan diffuser dalam meningkatkan kecepatan angin dan daya angin yang tersedia, sebagian besar penelitian berfokus pada pengaruh geometri diffuser atau penambahan *flange* secara terpisah. Karena itu, maksud dari penelitian ini adalah menganalisis kombinasi penggunaan diffuser kurvatur lengkung berbasis *airfoil* pada variasi sudut serang dan penambahan tinggi *flange* untuk berbagai bentuk desain diffuser dimana tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui peningatan kecepatan angin dan daya angin yang tersedia menggunakan metode simulasi numerik berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan perangkat lunak *Ansys Fluent*.

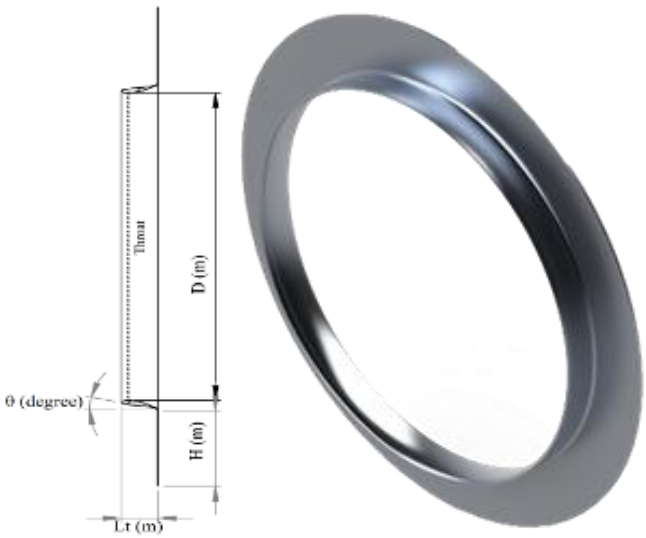
2. Metode

Penelitian ini menganalisis karakteristik aerodinamika diffuser kurvatur lengkung berbasis *airfoil* Wortmann FX-63-137 menggunakan simulasi *ANSYS Fluent*. Model turbulensi SST k-ω digunakan untuk mensimulasikan aliran di sekitar diffuser. Simulasi dilakukan dalam tiga tahap utama *pre-processing*, simulasi dan *post-proccesing*. Pada tahap *pre-processing*, geometri diffuser dirancang menggunakan *Autodesk Inventor* 2023, dan pemodelan domain serta *mesh* dilakukan dengan *ANSYS Mechanical* 2024 R1. Tahap perhitungan numerik (simulation) menggunakan *ANSYS Fluent* 2024 R1 dengan metode *finite* volume. Terakhir, tahap *post-processing* digunakan untuk menganalisis performa aerodinamika, distribusi aliran, peningkatan kecepatan angin dan daya angin pada leher (*throat*) diffuser.

2.1. Geometri Diffuser

Kurvatur lengkung diffuser menggunakan *airfoil* Wortmann FX-63-137 yang di tunjukan pada Gambar 1. Desain diffuser kurvatur lengkung berbasis *airfoil* dibuat dengan bantuan *software* Autodesk Inventor dan simulasi aliran angin yang memasuki diffuser menggunakan *Ansys Fluent*. Tipe diffuser didasarkan pada referensi (Ohya dan Karasudani 2010) dengan menggunakan tipe C0 dengan rasio Lt/D 0,1, kemudian dibuatkan model seperti Gambar 2. dengan parameter nilai ditunjukan pada Tabel 1. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah tinggi flange (H) dan sudut serang (θ), sedangkan variabel terikat meliputi peningkatan kecepatan angin dan daya angin tersedia pada *throat* diffuser.

Gambar 1. Profile *airfoil Wortman* FX-63-173



Gambar 2. Parameter bentuk *diffuser airfoil*

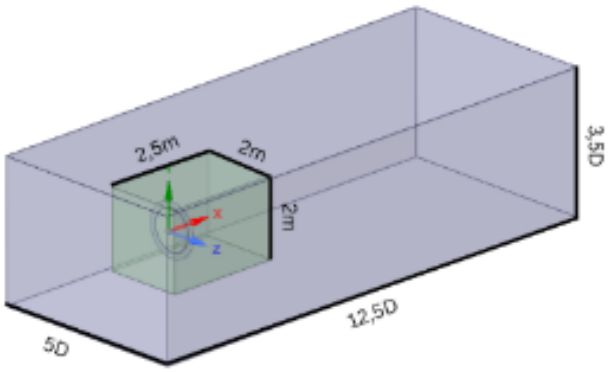
Adapun nilai dimensi yang digunakan pada Gambar 1 tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi *diffuser*

Parameter	Dimensi *Diffuser*
D	1020 mm
Lt	102 mm
H	0,05D, 0,10D, 0,15D, 0,20D dan 0,25D
Θ	0°,4°,8° dan 12°

2.2. Domain dan *Boolean*

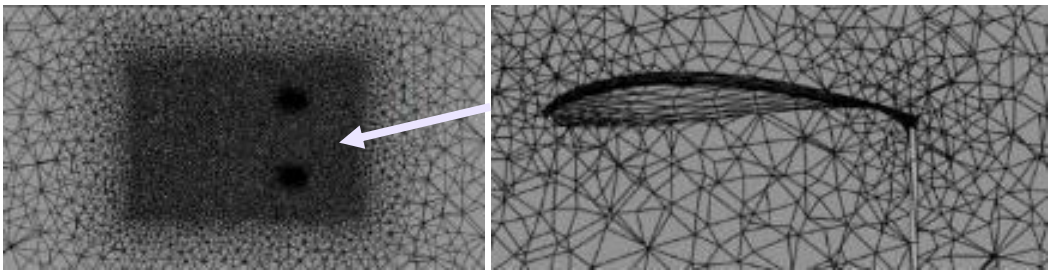
Ukuran domain yang digunakan mengacu pada diameter diffuser (D) dengan dimensi 12,5D × 5D × 3,5D (Uchida, Ohya, dan Sugitani 2011) dan boolean dengan ukuran 2,5 m × 2 m × 2 m seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Ukuran domain dan boolean

2.3. *Meshing*

Proses *meshing* dilakukan dengan memecah bentuk geometri yang rumit dan terus menerus menjadi bagian-bagian kecil yang lebih mudah dikendalikan dan dianalisis (Putra dkk. 2024). Dalam penelitian ini digunakan *mesh* dengan elemen segitiga (*triangular cell*), ukuran elemen dasar sebesar 500 mm, *curvature min size* ditetapkan hingga ukuran minimum 3 mm, dan pengaturan ukuran elemen di dalam domain dilakukan melalui fitur *Body of Influence* dengan elemen sebesar 50 mm, seperti pada Gambar 4. Pengaturan tersebut menghasilkan total elemen sekitar 1,8 juta. Secara umum, semakin besar jumlah elemen, semakin tinggi pula akurasi hasil simulasi yang diperoleh (Prasetiyo, Azmi, dan Pamuji 2018).



Gambar 4. Hasil Meshing

Untuk memastikan jumlah element yang digunakan maka dilakukan uji independen (*Grit Independen Test*/GIT). GIT dilakukan dengan cara memvariasikan jumlah element guna mengevaluasi tingkat akurasi simulasi berdasarkan nilai kesalahan terkecil yang diperoleh (Hutauruk 2013). Studi GIT ini sangat penting dimana tujuannya untuk memastikan bahwa solusi yang diperoleh tidak dipengaruhi oleh resolusi *mesh* atau ukuran sel. Dalam penelitian ini, GIT dilakukan untuk meningkatkan akurasi dengan meminimalkan dampak ukuran sel. Adapun nilai kesalahan yang dihasilkan mengacu pada penelitian Morley, Brito, dan Welling (2018).

$$\eta' = \frac{y' - x'}{x'} \tag{1}$$

Dimana:
η' = besar deviasi
y' = nilai hasil simulasi
x' = nilai rata-rata kecepatan angin pada area *throat* (leher diffuser)

Tabel 2. Hasil dari *grid Independent test* (GIT)

No	Jumlah elemen	Rata-rata kecepatan pada throat (m/s)	error (%)
1	610220	6,7379	-
2	755543	6,7389	0,02
3	967555	6,7454	0,10
4	1322872	6,7814	0,53
5	1896043	6,7846	0,038

2.4. *Boundary Condition*

Setelah proses *meshing* dilakukan langkah selanjutnya adalah melakukan pengaturan dan penentuan *boundary condition* atau kondisi batas. Kondisi batas ini berfungsi sebagai penentu batasan sistem fluida dalam simulasi agar dapat merepresentasikan kondisi nyata seperti lingkungan atmosfer (Sudarma dan Widianto 2021). Dalam penelitian ini, media fluida yang digunakan adalah angin dengan properti *default*, yakni densitas 1,22 kg/m³. Pada bagian *inlet* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5 (warna biru), kecepatan angin diatur sebesar 5,6 m/s berdasarkan nilai kecepatan angin rata-rata (Hasan dan Widayat 2022). Di sisi *outlet* (warna merah), tekanan diatur sebesar 0 Pa. Model turbulensi yang digunakan adalah k-omega SST sesuai pengaturan standar. Proses simulasi dijalankan selama 250 iterasi.

Pengambilan hasil simulasi yaitu peningkatan kecepatan angin difokuskan pada area *throat* diffuser seperti pada Gambar 1, karena di area inilah turbin angin ditempatkan. Data hasil simulasi kemudian diolah menggunakan *Microsoft Excel* untuk memperoleh peningkatan kecepatan dan peningkatan daya angin yang teraedia pada berbagai model diffuser. Nilai daya tersebut dihitung menggunakan persamaan yang dirujuk dari (Arifin dkk. 2022).

$$P = \frac{1}{2} A\, \rho\, v^3 \tag{2}$$

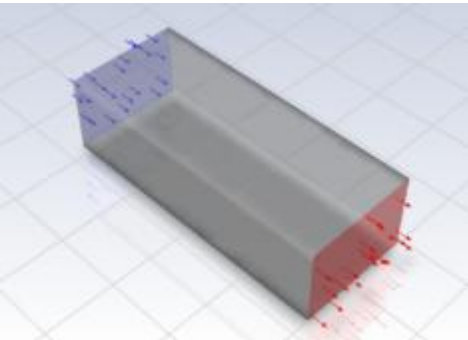
Dimana:

P = Daya (W)

A = Swept area (m2)

ρ = Densitas angin (1.225 kg/m3)

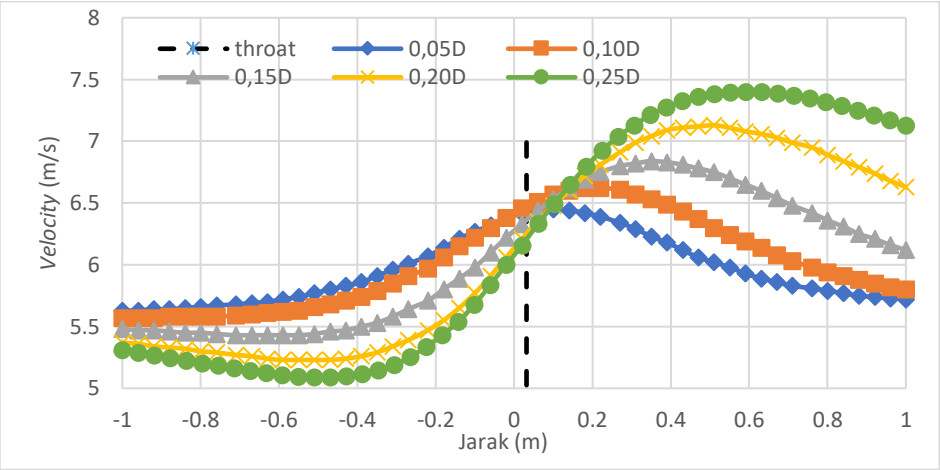
v = kecepatan angin (m/s)



Gambar 5. Boundary Condition

3. Hasil dan Pembahasan

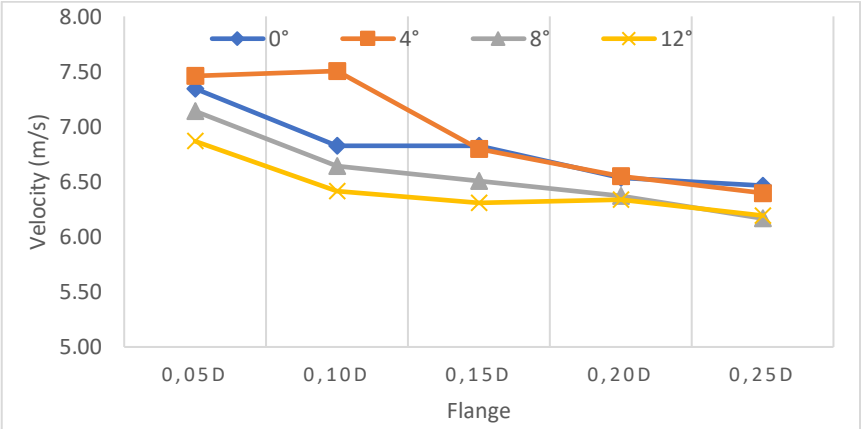
Diffuser disimulasikan dengan menggunakan kecepatan angin sebesar 5,6 m/s. Pengambilan data dilakukan pada area *throat* untuk mengetahui peningkatan kecepatan aliran. Data diambil dengan jarak 1 meter sebelum inlet dan 1 meter setelah inlet pada bagian tengah diffuser pada sudut serang 4°. Hasil pengukuran ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kecepatan aliran angin pada variasi tinggi *flange* dengan sudut serang 4°

Berdasarkan Gambar 6, diketahui bahwa penggunaan *flange* pada berbagai variasi ketinggian akan meningkatkan kecepatan angin secara signifikan pada daerah *throat* dibandingkan pada kecepatan angin semula. Penambahan flange menghasilkan perbedaan tekanan antara bagian hulu dan hilir diffuser yang menyebabkan efek hisap (*suction effect*) sehingga menciptakan keuntungan performa aerodinamika. Akibatnya, angin di bagian depan terhisap lebih cepat menuju throat untuk menyeimbangkan perbedaan tekanan tersebut dimana ini sesuai dengan penelitian (Ohya dan Karasudani 2010).

Berdasarkan Gambar 7, sudut serang 4° memberikan peningkatan kecepatan angin paling optimal dibandingkan dengan variasi sudut serang lainnya. Hal ini membuktikan bahwa sudut serang berpengaruh terhadap percepatan aliran di area *throat*, sebagaimana dikemukakan oleh Matsushima, Takagi, dan Muroyama (2006). Dalam penelitian ini, sudut 4° terbukti paling efektif dalam menghasilkan percepatan aliran di *throat* diffuser. Selain itu, terlihat bahwa penambahan tinggi *flange t*idak selalu meningkatkan performa aerodinamika. Kecepatan angin meningkat pada variasi tinggi flange 0,05D hingga 0,10D dengan nilai masing-masing sebesar 7,34 m/s dan mencapai maksimum 7,50 m/s. Namun, pada tinggi flange 0,15D hingga 0,25D, kecepatan angin justru menurun menjadi 6,80 m/s, 6,55 m/s, dan 6,40 m/s. Pola ini menunjukkan adanya batas optimum ketinggian *flange*, di mana *flange* yang terlalu tinggi justru memicu separasi turbulensi di belakang diffuser sehingga menurunkan efek hisap pada area *throat* (Limacher dkk. 2020).



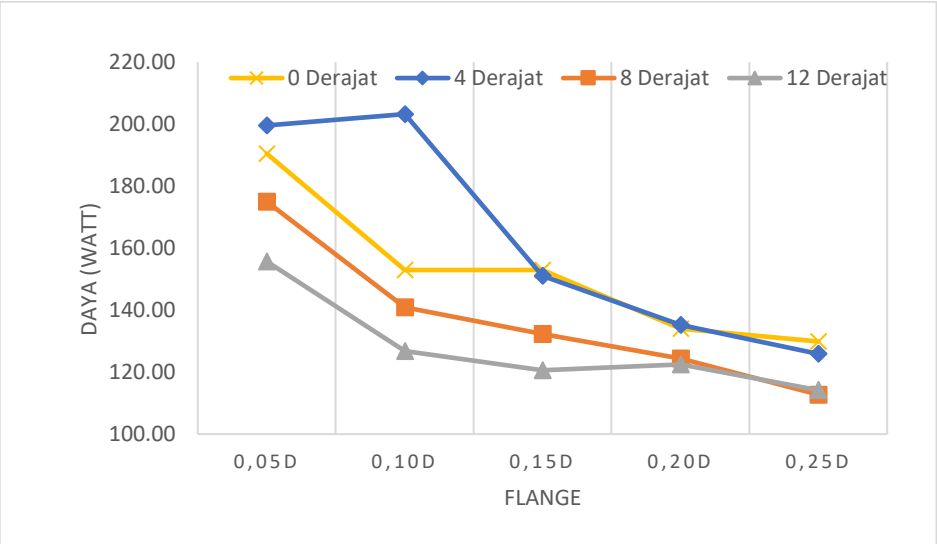
Gambar 7. Kecepatan aliran angin pada variasi sudut serang

Kecepatan angin memiliki hubungan langsung dengan besarnya daya yang dihasilkan. Peningkatan kecepatan angin akan berdampak pada peningkatan daya keluaran. Ketika angin masuk dengan kecepatan 5,6 m/s terjadi peningkatan kecepatan angin yang berbanding lurus

peningkatan daya pada diffuser di area *throat*. Nilai daya yang dihasilkan ditunjukkan pada tabel 2 dan Gambar 8 berikut.

Tabel 2. Persentase peningkatan daya

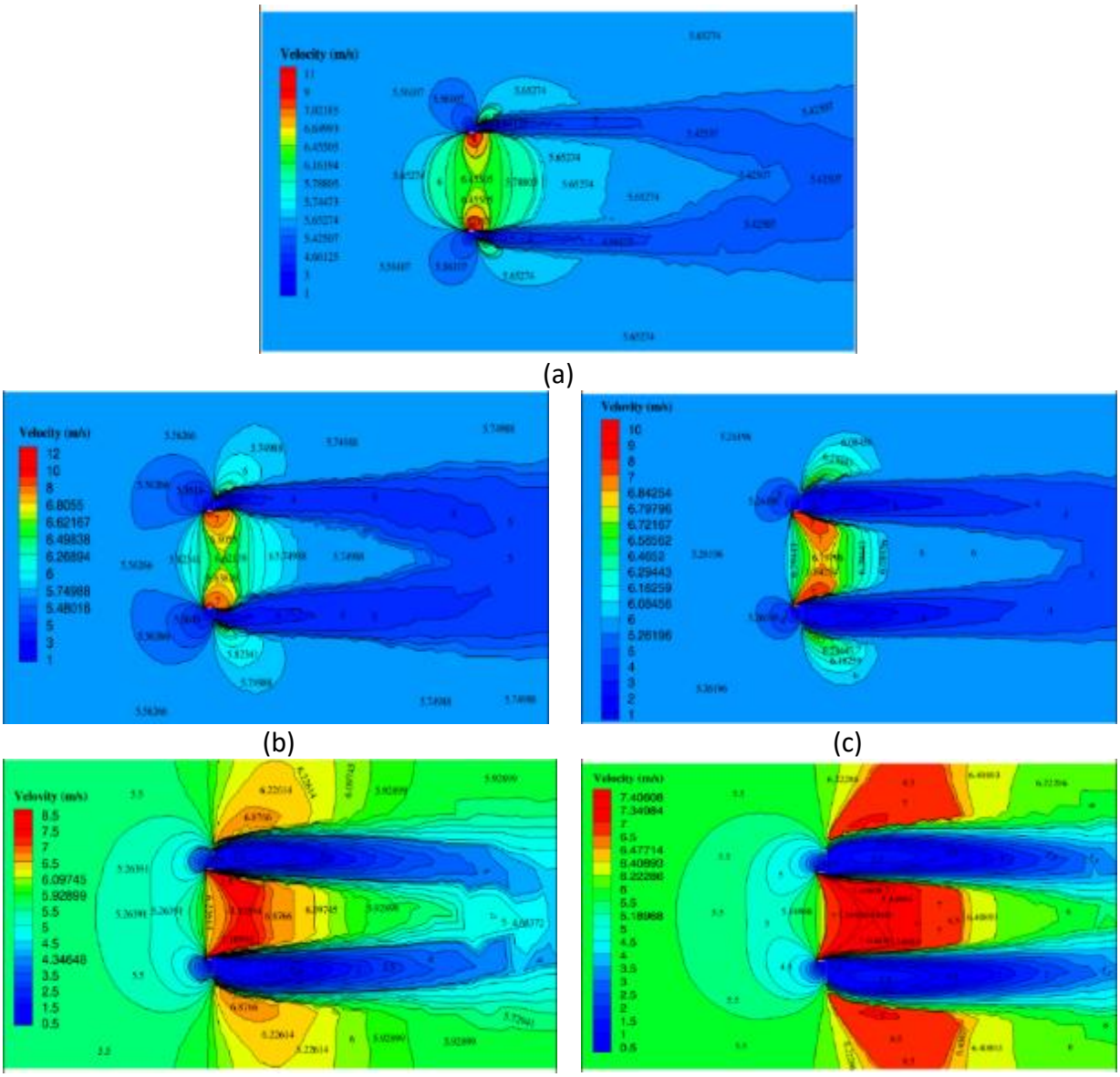
	Persentase %				
Derajat	0,05 D	0,10D	0,15D	0,20D	0,25D
0	31,14	21,91	21,91	16,67	15,43
4	33,18	34,01	21,38	16,98	14,24
8	27,49	18,63	16,16	13,75	10,12
12	22,62	14,50	12,60	13,19	10,58



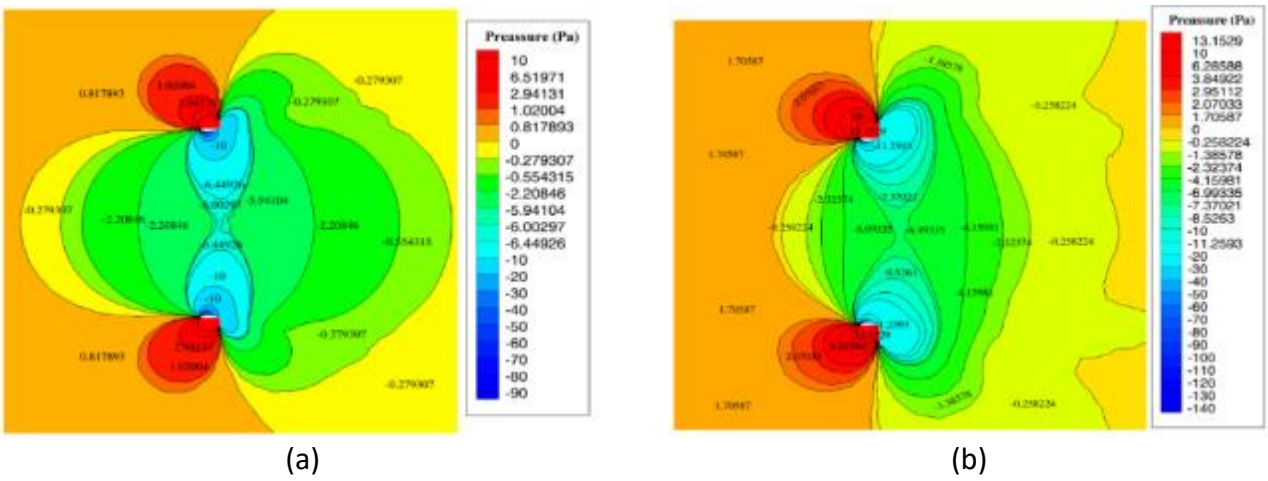
Gambar 8. Daya angin yang dihasilkan pada setiap diffuser

Mengacu pada laporan kajian potensi energi angin di Indonesia, kecepatan angin rata-rata tahunan di berbagai lokasi berada pada kisaran 3–6 m/s dengan kecepatan angin yang fluktuatif sepanjang tahunnya (David 2022). Berdasarkan Gambar 8 penerapan diffuser mampu meningkatkan daya angin hingga 34,01%. Peningkatan ini sangat signifikan mengingat rata-rata kecepatan angin minimun (*cut-in speed*) turbin angin yang tersedia di pasaran umumnya beroperasi pada sekitar 3 m/s (Adeyeye, Ijumba, dan Colton 2022) sehingga pada kecepatan angin yang relatif rendah sekalipun, turbin angin masih berpotensi untuk menghasilkan energi listrik. Sebagai contoh, pada kondisi kecepatan angin 5,6 m/s, penggunaan diffuser dapat meningkatkan kecepatan aliran hingga sekitar 7,5 m/s. Dengan adanya peningkatan ini turbin angin yang sebelumnya tidak dapat menghasilkan daya listrik pada kecepatan rendah akan mampu beroperasi secara efektif jika di kombinasikan dengan penggunaan diffuser. Oleh karena itu, penerapan diffuser pada turbin angin berskala mikro memiliki potensi besar untuk dikembangkan dan dioperasikan di Indonesia.

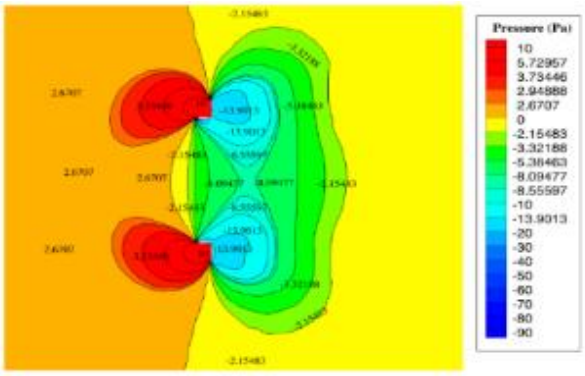
Pembahasan mengenai kontur tekanan sejalan dengan pembahasan kontur kecepatan dimana pada Gambar 10 diffuser dengan sudut serang 4° dan tinggi *flange* 0,10D memiliki kinerja paling optimal. Hal ini ditunjukan dengan tekanan yang lebih rendah pada area *throat* dibandingkan dengan variasi tinggi *flange* lainnya yang disebabkan oleh tekanan tinggi di daerah hulu dan di area sekitar dinding diffuser serta tekanan rendah di daerah hilir *diffuser*, yang memperkuat efek hisap, namun tekanan seiring menurun pada daerah throat dengan bertambahnya tinggi *flange*.



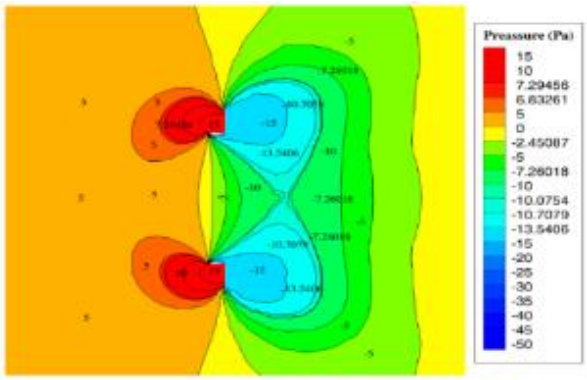
Gambar 9. Contur kecepatan angin diffuser 4° pada variasi tinggi *flange* (a) 0,05D, (b) 0,10D, (c) 0,15D, (d) 0,20D, (e) 0,25D



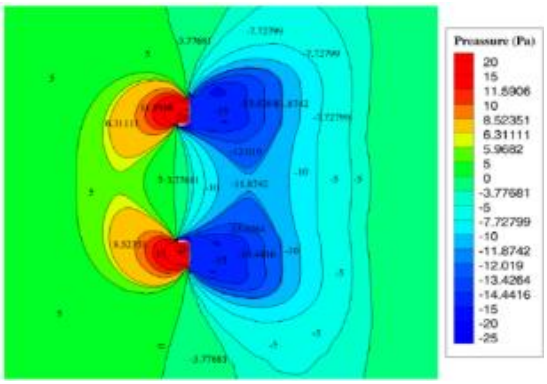
Gambar 10. Countur Tekanan diffuser 4° pada variasi flange (a) 0,05D, (b) 0,10D, (c) 0,15D, (d) 0,20D, (e) 0,25D



(c)



(d)



(e)

Gambar 10. Countur Tekanan diffuser 4° pada variasi flange (a) 0,05D, (b) 0,10D, (c) 0,15D, (d) 0,20D, (e) 0,25D (lanjutan)

4. Kesimpulan

Aerodinamika performan dari berbagai model diffuser kurvatur lengkung berbasis *airfoil* pada variasi sudut serang dan tinggi *flange* sudah diinvestigasi. Hasil analisis dan investigasi menunjukkan bahwa penggunaan diffuser kurvatur lengkung berbasis *airfoil* mampu meningkatkan kecepatan aliran angin pada area *throat*. Penggunaan *airfoil* Wortmann FX-63-137 sebagai kurvatur lengkung diffuser menunjukkan peningkatan kecepatan aliran angin masuk pada berbagai model diffuser dengan peingkatan tertinggi pada sudut serang 4° dan tinggi flange 0,10D nilai daya yang tersedia pada area *throat* yaitu sebesar 203,20 Watt dengan peningkatan daya angin tersdia sebesar 34,01%. Dengan demikian, terdapat potensi untuk mengembangkan diffuser yang lebih kompak dengan biaya lebih rendah serta pengoperasian di daerah kecepatan angin yang rendah. Namun, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena analisis yang dilakukan hanya berbasis simulasi numerik tanpa adanya validasi eksperimental.

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Mesin Universitas Mataram atas fasilitas laboratorium komputer yang memungkinkan penggunaan ANSYS dan Autodesk Inventor, serta kepada rekan-rakan yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

Abe, Ken Ichi, dan Yuji Ohya. 2004. “An investigation of flow fields around flanged diffusers using CFD.” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 92 (3–4): 315–30. https://doi.org/10.1016/J.JWEIA.2003.12.003.

Adistia, Nurul Amandha, Rizky Aditya Nurdiansyah, Juno Fariko, Vincent, dan Joni Welman Simatupang. 2020. "Potensi Energi Panas Bumi, Angin, Dan Biomassa Menjadi Energi Listrik Di Indonesia." *Tesla* 22 (Oktober).

Alanis, Arturo, Jesus Alejandro Franco, Saul Piedra, dan Juan Carlos Jauregui. 2021. "A novel high performance diffuser design for small DAWT's by using a blunt trailing edge airfoil." *Wind and Structures* 32: 000–000. https://doi.org/10.12989/was.2021.32.1.000.

Arifin, Fatahul, Rd Kusumanto, Yohandri Bow, Ahmad Zamheri, Rusdianasari Rusdianasari, Min Wen Wang, Afries Susandi, dan Yusuf Dewantoro Herlambang. 2022. "Modelling Design Diffuser Horizontal Axis Wind Turbine:" Conf. paper presented pada 5th FIRST T1 T2 2021 International Conference (FIRST-T1-T2 2021), Palembang, Indonesia. 2022. https://doi.org/10.2991/ahe.k.220205.033.

Basri, Muhammad Hasan. 2019. "Rancang Bangun dan Desain Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Model Savonius." *Jurnal Simetrik* 9 (2): 288. https://doi.org/10.31959/js.v9i2.411.

Duranay, Zeynep Bala, Hanifi Güldemir, dan Bilal Coşkun. 2024. "The Role of Wind Turbine Siting in Achieving Sustainable Energy Goals." *Processes* 12 (12). https://doi.org/10.3390/pr12122900.

Effendy, Marwan dan Muchlisin. 2019."Studi Eksperimental dan Simulasi Numerik Karakteristik Aerodinamika Airfoil NACA 4412". *ROTASI*, 21(3):147–54. https://doi.org/10.14710/rotasi.21.3.147-154.

Eswanto, Mohd Adnin Hamidi, Sarbani Daud, Ahmad Fitri Yusop, Kifli Umar, Iwan Gunawan. 2025.Hydrogen-induced Fuel System in RCCI Engine for Clean Combustion: A Review, AutomotiveExperiences, 8 (2), 310-337. https://doi.org/10.31603/ae.13722.

Hasan, Muhammad Syukri, dan Widayat Widayat. 2022. "Produksi Hidrogen dengan Memanfaatkan Sumber Daya Energi Surya dan Angin di Indonesia." *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan* 3 (1): 38–48. https://doi.org/10.14710/jebt.2022.13374.

Helmiyatinnisa, Sudarti, dan Yushardi. 2024. "Navigasi Inovatif: Mengeksplorasi Angin Sebagai Solusi Energi Masa Depan." Dalam *Jurnal Penelitian Ilmiah Multidisiplin*, 8(6):24–30.

David Firnando Silalahi, Denny Gunawan, Elisa Wahyuni, Ghibran Fahreza Dipayana, Matthew Hardhi, Nevi Cahya Winofa, Rahmat Agung Ramadhan, dan Taufal Hidayat. 2022. "Wind Power in Indonesia: Potential, Challenges, and Current Technology Overview." Dalam *Indonesia Post-Pandemic Outlook: Strategy towards Net-Zero Emissions by 2060 from the Renewables and Carbon-Neutral Energy Perspectives*, Penerbit BRIN. https://doi.org/10.55981/brin.562.c7.

Hutauruk, Ronald Mangasi. 2013. "Simulasi Numerik Tahanan Kapal Gillnet Menggunakan Pendekatan Computaional Fluids Dynamics." *Jurnal Perikanan Dan Kelautan* 18(01):35-47.

Jauhar, Tahir Abbas, Muhammad Imtiaz Hussain, Tayybah Kiren, Waseem Arif, Sajjad Miran, dan Gwi Hyun Lee. 2023. "Effect of flanged diffuser divergence angle on wind turbine: A numerical investigation." *PLoS ONE* 18 (6 June). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287053.

KC, Anup, Jonathan Whale, dan Tania Urmee. 2019. "Urban wind conditions and small wind turbines in the built environment: A review." *Renewable Energy* 131 (Februari): 268–83. https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2018.07.050.

Limacher, Eric J., Pedro O.C. Da Silva, Pedro E.S. Barbosa, dan Jerson R.P. Vaz. 2020. "Large Exit Flanges in Diffuser-Augmented Turbines Lead to Sub-Optimal Performance." *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 204 (September): 104228. https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104228.

Maftouni, N., dan M. Taghaddosi. 2022. "A CFD study of a anged shrouded wind turbine: Effects of different ange surface types on output power." *Scientia Iranica* 29 (1 B): 101–8. https://doi.org/10.24200/sci.2021.57513.5278.

Matsushima, Toshio, Shinya Takagi, dan Seiichi Muroyama. 2006. "Characteristics of a highly efficient propeller type small wind turbine with a diffuser." *Renewable Energy* 31 (9): 1343–54. https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2005.07.008.

Morley, S. K., T. V. Brito, dan D. T. Welling. 2018. "Measures of Model Performance Based On the Log Accuracy Ratio." *Space Weather* 16 (1): 69–88. https://doi.org/10.1002/2017SW001669.

Mulyadi, M., & Siagian, T. (2023). Aerodynamic Preliminary Study of Low-Speed Unmanned Aerial Vehicle Wing. IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA), 2(2), 47–53. https://doi.org/10.56862/irajtma.v2i2.60.

Ohya, Yuji, dan Takashi Karasudani. 2010. "A shrouded wind turbine generating high output power with wind-lens technology." *Energies* 3 (4): 634–49. https://doi.org/10.3390/en3040634.

Ohya, Yuji, Takashi Karasudani, Akira Sakurai, Ken ichi Abe, dan Masahiro Inoue. 2008. "Development of a shrouded wind turbine with a flanged diffuser." *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 96 (5): 524–39. https://doi.org/10.1016/J.JWEIA.2008.01.006.

Paranjape, Aniruddha Deepak, Anhad Singh Bajaj, Shaheen Thimmaiah Palanganda, Radha Parikh, Raahil Nayak, dan Jayakrishnan Radhakrishnan. 2021. "Computational analysis of high-lift-generating airfoils for diffuser-augmented wind turbines." *Wind Energy Science* 6 (1): 149–57. https://doi.org/10.5194/wes-6-149-2021.

Prasetiyo, Angger Bagus, Azhim Asyratul Azmi, dan Didit Setyo Pamuji. 2018. *Pengaruh Perbedaan Mesh Terstruktur dan Mesh Tidak Terstruktur Pada Simulasi Sistem Pendinginan Mold Injeksi Produk Plastik*.

Putra, Lovian Ega Noorcahya, Sunarso Sugeng, Mohd Ridwan, Aulia Windyandari, dan Adi Kurniawan Yusim. 2024. "Analisis Performa Heat Transfer pada Plastic Welding terhadap Sambungan Pelat Perahu Berbahan High Density Polyethylene (HDPE) Menggunakan Finite Element Method." *Jurnal Rekayasa Mesin* 19 (3).

Ramadhan, Galang Baruna, I Kade Wiratama, dan Wayan Joniarta. 2025. *Aerodynamic Analysis of Diffuser with Airfoil-Based Curved Geometry Across Various Prototypes*. 2025. https://doi.org/10.31284/j.jmesi.2025.v5i1.7313.

Setyono, Agus Eko, dan Berkah Fajar Tamtomo Kiono. 2021. "Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050." *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan* 2 (3): 154–62. https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11157.

Sudarma, Andi Firdaus, dan Fajar Widianto. 2021. "Studi Numerik Pengaruh Geometri Supply Air Grille serta Variasi Kecepatan Udara Masuk Terhadap Distribusi Temperatur di Dalam Ruangan Terkondisi." *Jurnal Teknik Mesin* 10 (1): 27.

Takeyeldein, M. M., Tholudin Mat Lazim, Iskandar Shah Ishak, N. A.R. Nik Mohd, dan Essam Abubakr Ali. 2020. "Wind lens performance investigation at low wind speed." *Evergreen* 7 (4): 481–88. https://doi.org/10.5109/4150467.

Uchida, Takanori, Yuji Ohya, dan Kenichiro Sugitani. 2011. "Comparisons between the wake of a wind turbine generator operated at optimal tip speed ratio and the wake of a stationary disk." *Modelling and Simulation in Engineering* 2011. https://doi.org/10.1155/2011/749421.

Wiratama, I. K., I. M. Suartika, I. W. Joniarta, I. M. Mara, I. M. Nuarsa, dan Muammil Ansori. 2023. "Analysis Aerodynamic Performance Airfoil WORTMANN FX63-137 in Different Reynolds Number." Dalam *Proceedings of the First Mandalika International Multi-Conference on Science and Engineering 2022, MIMSE 2022 (Mechanical and Electrical)*, 125–31. Atlantis Press International BV. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-078-7_14.

Zhang, Wei, Lin Zhou, Ke Zhao, Ruibin Zhang, Zhenghong Gao, dan Bowen Shu. 2024. "Airfoil Design Optimization of Blended Wing Body for Various Aerodynamic and Stealth Stations." *Aerospace* 11 (7). https://doi.org/10.3390/aerospace11070586.