



Analisis Karakteristik Aerodinamika Penambahan Spiroid Winglet Pada Naca 23015 Dengan Metode Computational Fluid Dynamic

Analysis of Aerodynamic Characteristics of Spiroid Winglet Addition on Naca 23015 Using Computational Fluid Dynamic Method

Gibran Baihaqi Kasel¹, Linggar Widayatmo²

^{1,2} Program Studi Teknik Aeronautika Pertahanan, Akademi Angkatan Udara
E-mail: gibranbaihaqi2004@gmail.com

Abstract— *Improving aerodynamic efficiency is a primary focus in the aviation industry to reduce fuel consumption. One of the main causes of inefficiency is induced drag formed at the wingtips. The use of winglets has proven effective in addressing this issue, and the spiroid winglet is one design development that promises superior performance. This study aims to analyze and compare the aerodynamic characteristics, including the lift coefficient (CL), drag coefficient (CD), and lift-to-drag ratio (L/D), between a wing with a standard NACA 23015 airfoil and one modified with the addition of a spiroid winglet. The analysis was conducted using Computational Fluid Dynamics (CFD) numerical simulations with ANSYS 2025 R1 software. Simulations were performed on a three-dimensional wing model with varying angles of attack (AoA) of 0°, 2°, 4°, and 6° under airflow conditions of 230 m/s. Simulation results show that the addition of spiroid winglets has a significant impact. The configuration with spiroid winglets produces a consistently lower drag coefficient (CD) compared to the standard configuration, especially at high angles of attack. The most significant improvement is seen in the maximum L/D ratio. Flow visualization also confirms that the spiroid winglets are effective in dispersing and weakening the wingtip vortex. It is concluded that the implementation of spiroid winglets on the NACA 23015 airfoil successfully improves the overall aerodynamic efficiency, primarily through the reduction of induced drag, which leads to an improvement in the L/D ratio.*

Keywords— NACA 23015, Spiroid Winglet, Aerodynamic Characteristics, CFD, Induced Drag

Abstrak— *Peningkatan efisiensi aerodinamika merupakan fokus utama dalam industri penerbangan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar. Salah satu penyebab utama inefisiensi adalah induced drag (gaya hambat terinduksi) yang terbentuk di ujung sayap. Penggunaan winglet telah terbukti efektif untuk mengatasi masalah ini, dan spiroid winglet adalah salah satu pengembangan desain yang menjanjikan performa lebih unggul. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan karakteristik aerodinamika, meliputi koefisien gaya angkat (CL), koefisien gaya hambat (CD), dan rasio lift-to-drag (L/D), antara sayap dengan airfoil NACA 23015 standar dan yang telah dimodifikasi dengan penambahan spiroid winglet. Analisis dilakukan menggunakan metode simulasi numerik Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan perangkat lunak ANSYS 2025 R1. Simulasi dilakukan pada model sayap tiga dimensi dengan variasi sudut serang (Angle of Attack - AoA) mulai dari 0°, 2°, 4°, dan 6° pada kondisi aliran udara dengan kecepatan 230 m/s. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan spiroid winglet memberikan pengaruh signifikan. Konfigurasi dengan spiroid winglet menghasilkan koefisien gaya hambat (CD) yang lebih rendah secara konsisten dibandingkan konfigurasi standar. Peningkatan paling signifikan terlihat pada rasio L/D maksimum. Visualisasi aliran juga mengkonfirmasi bahwa spiroid winglet efektif dalam menyebarkan dan memperlemah wingtip vortex (pusaran ujung sayap). Disimpulkan bahwa implementasi spiroid winglet pada airfoil*

*Gibran Baihaqi Kasel
E-mail: gibranbaihaqi2004@gmail.com

NACA 23015 berhasil meningkatkan efisiensi aerodinamika secara keseluruhan, terutama melalui reduksi induced drag, yang mengarah pada perbaikan rasio L/D.

Kata Kunci— NACA 23015, Spiroid Winglet, Karakteristik Aerodinamika, CFD, Induced Drag

I. PENDAHULUAN

Dalam dunia penerbangan modern, efisiensi bahan bakar dan performa aerodinamis menjadi faktor utama yang terus dikembangkan. Industri penerbangan dituntut untuk menghadirkan solusi yang ramah lingkungan dan ekonomis. Salah satu inovasi utama adalah penggunaan *winglet*, sebuah struktur di ujung sayap yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi.

Permasalahan mendasar terkait hambatan udara yang dihasilkan oleh ujung sayap (*wingtip vortex*) masih menjadi tantangan signifikan. Hambatan ini, yang dikenal sebagai *induced drag*, mengurangi efisiensi bahan bakar. Sebagai respons, penelitian ini melakukan modifikasi desain sayap Boeing 737-800 TNI AU. Ujung sayap standar (yang menggunakan *split-tip winglet*) diganti dengan *spiroid winglet* pada model sayap NACA. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan *spiroid winglet* terhadap performa aerodinamis menggunakan *software Computational Fluid Dynamics* (CFD). Harapannya adalah untuk menunjukkan bahwa desain ini dapat mengurangi *induced drag* dan meningkatkan *lift-to-drag ratio* (L/D), yang berdampak pada penghematan bahan bakar.

II. LANDASAN TEORI

A. Aerodinamika dan Gaya pada Pesawat

Aerodinamika adalah ilmu yang mempelajari pergerakan udara dan interaksinya dengan objek padat. Pada pesawat terbang, terdapat empat gaya utama yang bekerja: gaya angkat (*lift*), gaya berat (*weight*), gaya dorong (*thrust*), dan gaya hambat (*drag*).

1. Gaya Angkat (Lift): Dihasilkan oleh perbedaan tekanan udara antara permukaan atas dan bawah sayap.
2. Gaya Hambat (Drag): Gaya yang berlawanan dengan arah gerak pesawat. Terdapat dua jenis utama:
 - Parasite Drag: Hambatan yang tidak berkontribusi pada *lift*, mencakup *skin friction drag* (gesekan permukaan), *form drag* (bentuk benda), dan *interference drag* (pertemuan aliran).
 - Induced Drag: Hambatan yang timbul sebagai akibat dari pembangkitan *lift*. Ini disebabkan oleh perbedaan tekanan di atas dan di bawah sayap yang menyebabkan udara berputar di ujung sayap, menciptakan *wingtip vortex*.

B. Airfoil dan Winglet

Airfoil adalah bentuk profil sayap yang dirancang untuk menghasilkan *lift*. Penelitian ini menggunakan profil NACA 23015, yang juga diterapkan pada pesawat Boeing 737-800 NG. *Winglet* adalah ekstensi di ujung sayap yang dirancang untuk mengurangi *induced drag*. *Winglet* bekerja dengan meminimalkan pembentukan *vortex* di ujung sayap. Terdapat berbagai jenis *winglet*, seperti *blended winglet*, *split winglet*, dan *spiroid winglet*. *Spiroid winglet* memiliki desain unik menyerupai spiral atau *loop* tertutup.

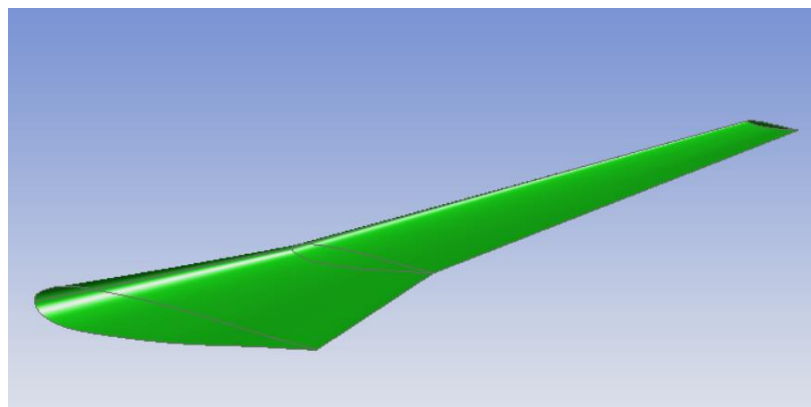
C. Computational Fluid Dynamics (CFD)

CFD adalah cabang ilmu teknik yang memanfaatkan metode numerik untuk menganalisis dan memecahkan masalah terkait aliran fluida. Perangkat lunak seperti *Ansys* digunakan untuk mensimulasikan perilaku fluida, seperti aliran udara di sekitar sayap. Proses CFD meliputi *Pre-processing* (pembuatan geometri dan *mesh*), *Processing* (penyelesaian persamaan), dan *Post-processing* (visualisasi hasil).

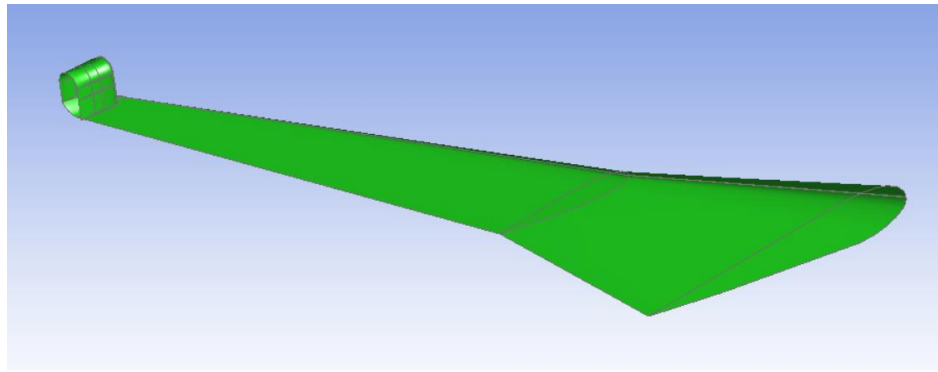
III. METODE/MODEL YANG DIUSULKAN

Bab ini berisikan diagram alir (*flowchart*) yang meliputi proses penelitian, uraian data secara rinci mengenai penelitian, variabel penelitian, alat atau instrumen untuk mengumpulkan data, prosedur pengambilan pengumpulan data dan cara analisis data dengan menggunakan *software Ansys*. Hasil desain berupa dua model sayap dengan variasi penambahan *winglet* dan tanpa *winglet* akan disimulasikan dan dianalisis karakteristik aerodinamika dalam hal ini *lift* dan *drag* yang bekerja dengan variasi sudut tertentu. Penjelasan singkat mengenai tahapan penelitian yang dilaksanakan adalah sebagai berikut.

1. Pada tahap awal adalah mencari materi yang berhubungan dengan tugas akhir dengan judul dan materi yang telah ditentukan yaitu mencari informasi mengenai pemodelan sayap dan karakteristik aerodinamiknya.
2. Selanjutnya adalah pembuatan dua model sayap menggunakan *software Ansys* dengan variasi penambahan *spiroid winglet* dan tanpa *winglet* kemudian disimulasikan dan dianalisis. Dari hasil simulasi dan analisis dapat diketahui desain sayap yang dianggap paling unggul karakteristik penerbangannya.



Gambar 1. Model Sayap Tanpa Winglet



Gambar 2. Model Sayap Dengan Penambahan *Spiroid Winglet*

3. Dua model sayap yang telah dibuat kemudian disimulasikan menggunakan *software Ansys* dengan pengaturan awal simulasi yang sama serta model motor roket yang digunakan juga sama. Dari hasil simulasi diperoleh nilai *lift*, *drag*, *coefficient lift*, dan *coefficient drag* dari dua model sayap tersebut.
4. Hasil simulasi dan pengujian didapat hasil sebagai berikut :
 - a. Model roket nomor dua merupakan model roket yang dinilai paling unggul dibanding model roket lainnya. Hal ini dilihat dari model roket nomor dua memiliki *maximum altitude* tertinggi (1697 m), *maximum velocity* mencapai 601 m/s dan *flight time* yang cukup panjang (164 s).

TABEL I
PERBANDINGAN L/D HASIL SIMULASI

AOA	L/D Tanpa <i>Winglet</i>	L/D <i>Winglet</i>
0°	0,948074889	1,26400516
2°	1,187766514	1,97205505
4°	1,444721789	1,87157448
6°	1,119652299	1,52125942

- b. Model roket nomor sepuluh merupakan model roket yang dinilai memiliki karakteristik yang paling rendah dibanding model roket lainnya. Hal ini dapat dilihat dari model roket nomor sepuluh memiliki *maximum altitude* terendah (44,1 m) dan *maximum velocity* yang rendah (163 m/s) serta *flight time* yang cukup singkat yaitu 4,34 s.

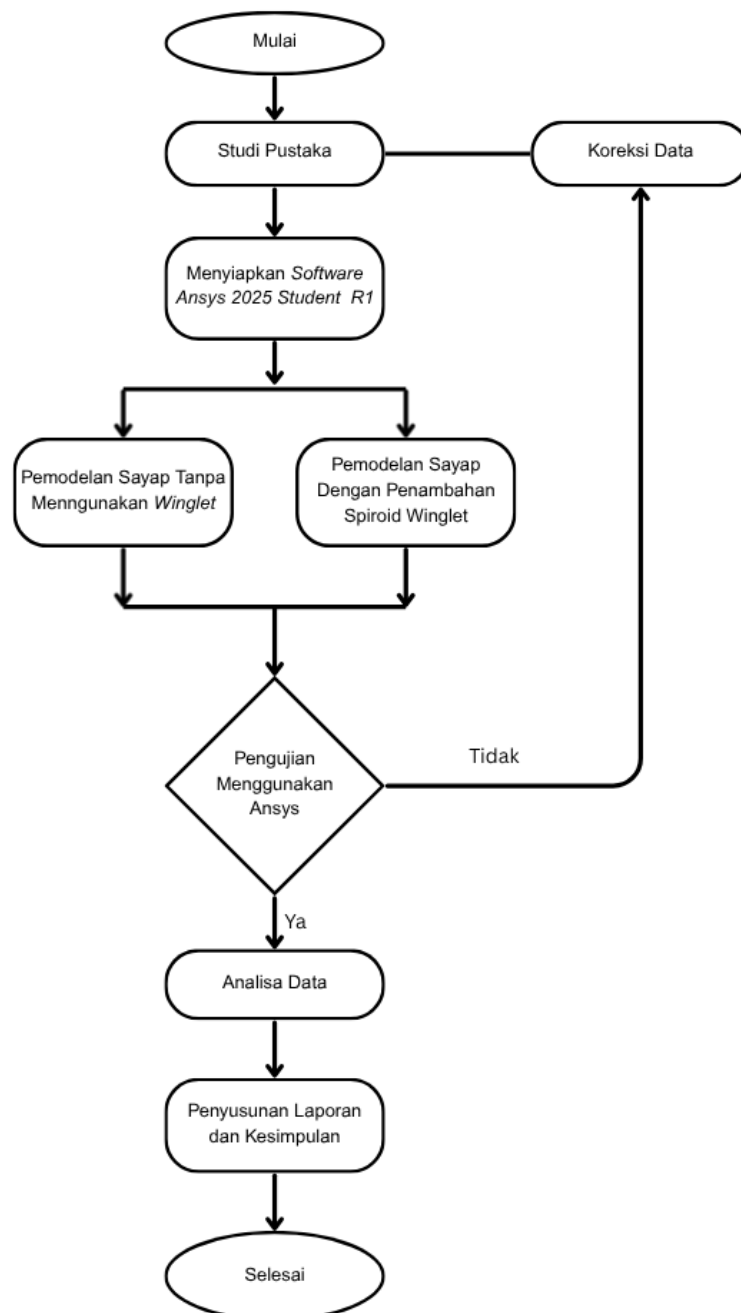
TABEL II
PERBANDINGAN CL DAN CD SAYAP TANPA *WINGLET*

AOA	CL	CD
0°	0,016	0,0276
2°	0,0541	0,0279
4°	0,0512	0,0355
6°	0,0597	0,0871

TABEL III
PERBANDINGAN CL DAN CD SAYAP DENGAN *Spiroid Winglet*

AOA	CL	CD
0°	0,0387	0,0306
2°	0,0792	0,0401
4°	0,011	0,06
6°	0,0134	0,0887

Diagram alir penyusun penelitian ini digambarkan pada gambar dibawah ini.



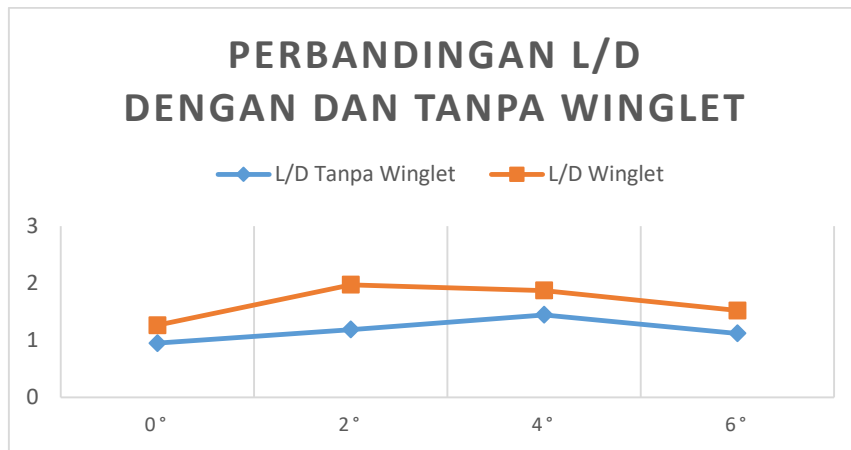
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

IV. HASIL/IMPLEMENTASI MODEL DAN PEMBAHASAN

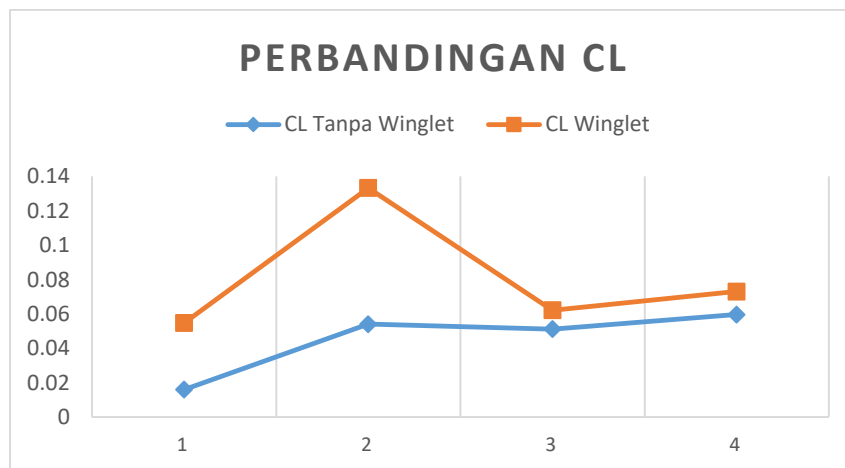
A. Pengujian

Berikut ini merupakan proses dari simulasi dan pengujian dua model sayap dengan variasi penambahan *winglet*. Setelah diasumsikan dengan berbagai parameter dan perumusan masalah yang sudah ditentukan maka diperoleh data-data pengujian. Analisis ini berfokus pada pengaruh variasi penambahan *winglet* terhadap karakteristik aerodinamika yang bekerja pada sayap dalam hal ini *lift*, *drag*, *coefficient lift*, dan *coefficient drag*.

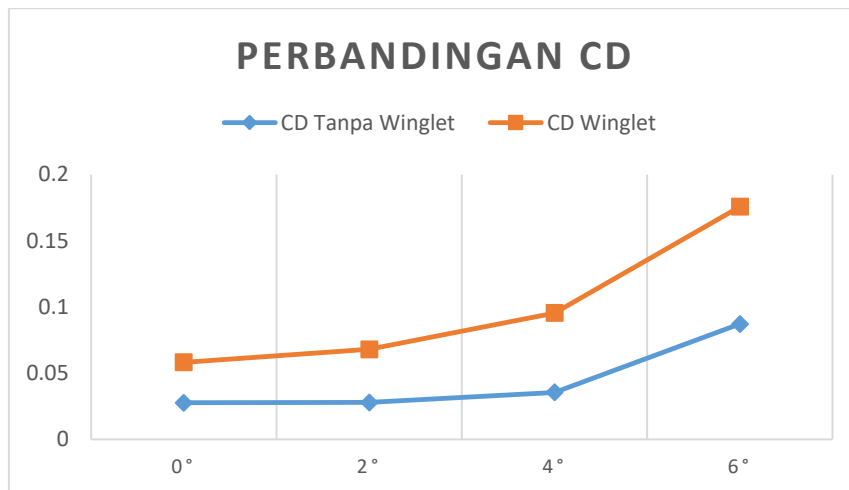
B. Pembahasan



Gambar 4. Grafik Perbandingan L/D



Gambar 5. Grafik Perbandingan CL



Gambar 6. Grafik Perbandingan CD

Dilihat dari hasil perbandingan rasio, nilai efisiensi aerodinamika (L/D) pada sayap dengan penambahan *spiroid winglet* lebih tinggi dibandingkan sayap tanpa *winglet* pada semua sudut serang yang diuji. Penggunaan *spiroid winglet* mengalami kenaikan L/D hingga 40% (pada AoA 2°) dibandingkan tanpa *winglet*. Penambahan *winglet* secara umum terbukti mampu meningkatkan efisiensi aerodinamika sayap. Hal ini disebabkan *winglet* mengurangi *induced drag* yang ditimbulkan oleh vorteks di ujung sayap. Meskipun efisiensi meningkat, efektivitasnya bervariasi tergantung sudut serang. Dalam pengujian ini, L/D tertinggi dicapai pada AoA 2° dan menurun pada AoA 4° ke atas. *Winglet* paling efektif diaplikasikan pada pesawat angkut atau komersial yang pola penerbangannya lebih sering *cruising* (terbang jelajah mendatar) pada AoA rendah, di mana penghematan bahan bakar dari pengurangan *drag* menjadi paling signifikan.

V. KESIMPULAN

Proses simulasi dan pengujian model sayap pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aerodinamika dasar dari model tersebut dan pengaruh penambahan *spiroid winglet* terhadap karakteristik aerodinamika sayap. Analisis ini dilakukan untuk menentukan konfigurasi sayap (NACA 23015) yang dinilai paling unggul (efisien), di mana model sayap dengan *winglet* yang aerodinamis mampu menunjukkan reduksi *drag* (gaya hambat) yang signifikan dan rasio *Lift-to-Drag* (L/D) yang optimal. Simulasi dan analisis dilakukan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Komponen penting yang harus diperhatikan dalam pemodelan sayap menggunakan *software* CFD di antaranya yaitu desain bentuk sayap terutama pada bentuk *spiroid winglet*, pengaturan awal lingkungan simulasi (*domain*), dan parameter aliran fluida yang akan digunakan. Parameter aerodinamika dasar yang diperoleh dari hasil simulasi dan pengujian model-model sayap antara lain nilai *Coefficient of Lift* (CL), *Coefficient of Drag* (CD), dan rasio L/D . Kondisi aliran fluida (kecepatan, tekanan) yang dianalisis akan sama untuk setiap model yang digunakan. Variasi desain sayap (dengan dan tanpa *winglet*) sangat berpengaruh terhadap karakteristik aerodinamika. Bentuk *spiroid winglet* yang aerodinamis dapat meningkatkan efisiensi aerodinamika sayap dan meminimalkan *induced drag*,

sehingga sayap dapat mencapai rasio L/D yang lebih tinggi dengan mempertahankan performa gaya angkat yang stabil.

REFERENSI

- [1] J. D. Anderson, *Aircraft Performance and Design*. McGraw-Hill Education, 2010.
- [2] B. Sutrisno, "Pengantar Aerodinamika: Prinsip dan Aplikasi dalam Rekayasa Penerbangan," *Jurnal Aerodinamika dan Teknologi Penerbangan*, vol. 15, no. 1, pp. 12–25, 2023.
- [3] M. R. Sormin and R. Permatasari, "Analisis *Spiroid Winglet* pada Pesawat Subsonik dengan Variasi Sudut Serang Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamics*," *Jurnal Penelitian Dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2020.
- [4] M. S. G. Samuel, G. Manikandan, and V. Rajashree, "Design and Performance Analysis of *Spiroid Winglet* with Normal Wing," *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, vol. 3, no. 4, pp. 773–778, 2017.
- [5] I. F. Kravchenko, V. V. Loginov, Y. O. Ukrainets, and P. A. Hlushchenko, "Aerodynamic characteristics of a straight wing with a *spiroid* wingtip device," *Transactions on Aerospace Research*, vol. 2, no. 263, pp. 46–62, 2021.
- [6] D. Sari, "Gaya Lift dalam Aerodinamika Pesawat Terbang," *Jurnal Aerodinamika dan Penerbangan*, vol. 10, no. 1, pp. 45–58, 2023.