



Analisis Karakteristik Aerodinamika Penambahan *Winglet* Tipe *Canted* pada NACA 2412 dengan Menggunakan *Ansys 2025 R1*

Analysis of Aerodynamic Characteristics of NACA 2412 With Canted winglet Using Ansys 2025 R1

Ahmad Allan Dzulqarnain^{1*}, Arief Hadiyanto²

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

Abstract—A winglet is an aerodynamic device positioned at the wingtip, functioning to reduce wingtip vortices that contribute to induced drag, thereby enhancing the overall aerodynamic efficiency of an aircraft. This study investigates the aerodynamic characteristics of a wing equipped with canted winglets based on the NACA 2412 airfoil using ANSYS 2025 R1 computational simulations. The wing model utilized in this research adopts the NACA 2412 airfoil, which is implemented on the Indonesian Air Force's Cessna 172 aircraft. Canted winglet configurations were analyzed at cant angles of 15°, 30°, and 45°, with simulations conducted at a cruise velocity of 167 km/h (46 m/s) under angles of attack of 2°, 4°, 6°, and 8°. The simulation results indicate that, at a velocity of 46 m/s, the wing without a winglet demonstrates superior aerodynamic efficiency compared to wings equipped with canted winglets, particularly at higher angles of attack. This is evidenced by a higher lift-to-drag (L/D) ratio for the baseline configuration. Therefore, it can be concluded that the addition of canted winglets does not significantly improve aerodynamic efficiency under the tested flight conditions.

Keywords—Canted winglet, NACA 2412, Lift-to-Drag Ratio.

Abstrak—Winglet merupakan komponen aerodinamika yang terletak pada ujung sayap dan berfungsi untuk mengurangi vorteks ujung sayap yang menyebabkan gaya hambat induksi (induced drag), sehingga dapat meningkatkan efisiensi aerodinamika pesawat secara keseluruhan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik aerodinamika sayap yang dilengkapi dengan winglet tipe canted pada profil NACA 2412 menggunakan perangkat lunak ANSYS 2025 R1. Model sayap yang digunakan dalam penelitian ini mengadopsi profil NACA 2412, yang juga diterapkan pada pesawat Cessna 172 milik TNI Angkatan Udara. Winglet tipe canted diuji dengan variasi sudut kemiringan (cant angle) sebesar 15°, 30°, dan 45°. Simulasi dilakukan pada kecepatan jelajah 167 km/jam (46 m/s) dengan variasi sudut serang (angle of attack) sebesar 2°, 4°, 6°, dan 8°. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kecepatan 46 m/s, sayap tanpa winglet memiliki efisiensi aerodinamika yang lebih baik dibandingkan dengan sayap yang menggunakan winglet tipe canted, khususnya pada sudut serang yang lebih tinggi. Hal ini ditunjukkan oleh nilai rasio angkat terhadap hambat (L/D) yang lebih besar pada konfigurasi tanpa winglet. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penambahan winglet tipe canted tidak memberikan peningkatan efisiensi aerodinamika yang signifikan pada kondisi penerbangan yang diuji.

Kata Kunci— Canted winglet, NACA 2412, Rasio L/D.

*Ahmad Allan Dzulqarnain
E-mail: ahmadallandzulqarnain@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Sayap merupakan salah satu faktor bagaimana sebuah pesawat yang memiliki bobot puluhan hingga ratusan ton dapat terbang di udara. Secara umum, selain dilengkapi oleh mesin (*powerplant*), sebuah sayap telah dirancang sedemikian rupa agar dapat memenuhi sifat dan gaya aerodinamika untuk mengangkat beban pesawat. Ketika menembus lapisan udara, aliran udara yang mengalir di sekitar sayap akan memberikan pengaruh terhadap sayap itu sendiri. Bentuk sayap cenderung menonjol pada bagian depan dan melengkung pada bagian atasnya. Bentuk ini memungkinkan aliran udara yang melewati bagian atas sayap mengalir lebih cepat daripada bagian bawahnya pada waktu yang sama. Berdasarkan Hukum Bernoulli, kecepatan suatu aliran fluida berbanding terbalik dengan nilai tekanannya. Tekanan pada bagian atas sayap menjadi lebih rendah daripada bagian bawahnya. Perbedaan tekanan inilah yang memicu pergerakan massa udara di bawah sayap dan memberikan dorongan kepada sayap sebagai bentuk gaya angkat (*lift*). Aliran udara pada permukaan bawah sayap yang menuju permukaan *wingtip* akan membentuk pola gelombang tak beraturan atau yang dikenal dengan *wingtip Vortex*. Aliran udara yang awalnya mulus (*laminar*) akan berubah menjadi aliran bergejolak (*turbulent*). Aliran turbulent ini menyebabkan pesawat menghadapi tekanan yang lebih besar dan peningkatan gaya hambat (*drag*) atau dikenal dengan *induce drag*. Semakin besar *wingtip Vortex*, semakin besar pula *induce drag* yang terjadi.

Teknologi telah dikembangkan untuk mengurangi *wingtip Vortex*, salah satu solusinya adalah penambahan *winglet* pada ujung *wingtip* pesawat. Seiring bertambahnya kecepatan pesawat, *wingtip Vortex* mengalir lebih signifikan serta meningkatkan *induce drag* yang memaksa mesin bekerja lebih keras. Akibatnya, pesawat membutuhkan tambahan thrust untuk menjaga kecepatan, yang akhirnya meningkatkan konsumsi bahan bakar. Untuk mengurangi *induce drag* akibat *wingtip Vortex*, penambahan *winglet* pada ujung sayap menjadi salah satu solusi. *Winglet* berfungsi meredam pusaran udara penyebab *induce drag*, mengurangi *drag* keseluruhan, meningkatkan kecepatan jelajah pesawat, dan menghemat bahan bakar karena mesin tidak perlu bekerja keras melawan *drag* yang lebih besar.

Permasalahan yang terjadi pada kasus *wingtip Vortex* menjadi alasan utama peneliti melakukan ide uji coba simulasi komputasional pada sayap NACA 2412 yang telah disesuaikan dimensinya dengan sayap Cessna 172. Pengembangan sayap dengan modifikasi penambahan *winglet* ini bertujuan untuk mengurangi pengaruh *induced drag* akibat *wingtip Vortex* yang dihasilkan. Sebagai bahan penelitian dilakukan pembuatan model sayap dalam bentuk tiga dimensi berdasarkan airfoil NACA 2412 yang disesuaikan dengan ukuran sebenarnya, pesawat Cessna 172. Model dikembangkan menjadi tiga varian *canted winglet* dengan sudut 15°, 30°, dan 45°. Pengujian menggunakan software *Ansys 2025 R1* dengan metode Computational Fluid Dynamics untuk mengetahui karakteristik aerodinamika khususnya nilai rasio *lift/drag* dari penambahan *winglet* tersebut.

II. LANDASAN TEORI

A. Pengertian Aerodinamika

Aerodinamika berperan penting dalam desain pesawat terbang karena menentukan bagaimana udara mengalir di sekitar badan pesawat, memengaruhi gaya angkat, hambatan, stabilitas, dan efisiensi bahan bakar (ITDA, 2022). Dengan desain aerodinamis, hambatan (*drag*) dapat diminimalkan sehingga performa pesawat meningkat.

B. Properti Udara.

Sifat fisik udara sangat memengaruhi performa aerodinamis.

1. Suhu dan Tekanan Udara – Variasi suhu dan tekanan sangat berpengaruh dalam fase kritis seperti *take-off* dan *landing* (Amaluddin & Haryoko, 2019).
2. Kerapatan Udara (*Air Density*) – Udara bersifat *compressible*, sehingga kerapatan meningkat ketika tertumbuk benda. Kepadatan tinggi meningkatkan kemampuan pesawat untuk *take-off* dalam jarak pendek.
3. Viskositas – Menggambarkan tingkat gesekan antar molekul udara yang berpengaruh pada *drag* gesek di permukaan sayap.
4. Kecepatan Suara – Menentukan perilaku udara saat terkompresi. Bilangan *Mach* digunakan untuk membandingkan kecepatan terbang dengan kecepatan suara.

C. Jenis Aliran Udara

Aliran fluida dibedakan berdasarkan struktur geraknya:

1. Laminar Flow – Lapisan fluida mengalir sejajar dengan *Reynolds number* < 2300 (Niulai & Muskita, 2022).
2. Turbulent Flow – Pergerakan partikel acak dan berfluktuasi, menyebabkan peningkatan gesekan dan energi turbulensi.

D. Airfoil

Airfoil adalah bentuk penampang dua dimensi sayap yang menghasilkan gaya angkat (*lift*). Terminologi *airfoil* meliputi *leading edge*, *trailing edge*, *chord line*, *camber*, *maximum thickness*, dan lain-lain (Hidayat, 2016).

E. Boundary Layer

Lapisan tipis udara yang bergesekan dengan permukaan benda. Ketebalan dan karakteristiknya dipengaruhi oleh kecepatan udara, permukaan benda, kerapatan udara, dan orientasi benda terhadap aliran. *Boundary layer* sangat menentukan terjadinya separasi aliran dan *drag*.

F. Geometri Sayap (Wing Geometry)

Sayap merupakan airfoil tiga dimensi dengan parameter utama:

1. *Wing span* (b),
2. *Chord* (c),
3. *Aspect ratio* ($AR = b^2/S$),
4. *Sweep angle*,
5. *Taper ratio*,

Analisis Karakteristik Aerodinamika Penambahan Winglet Tipe Canted Pada Naca 2412 dengan Menggunakan Ansys 2025 R1 (Ahmad Allan Dzulqarnain)

6. *Mean aerodynamic chord (MAC)*.
7. Variasi geometri memengaruhi distribusi gaya angkat dan karakteristik terbang pesawat.

G. *Bilangan Reynolds*

Bilangan Reynolds (Re) adalah parameter tak berdimensi untuk menentukan jenis aliran:

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu}$$

1. $Re < 2000 \rightarrow$ laminar
2. $2000 < Re < 4000 \rightarrow$ transisi
3. $Re > 4000 \rightarrow$ turbulen

Bilangan ini digunakan untuk analisis kemiripan dinamis pada eksperimen dan simulasi.

H. *High Lift Devices (HLD)*

Digunakan untuk meningkatkan CL_{max} pada kecepatan rendah. Prinsip utama:

1. Memperbesar *camber airfoil*
2. Meningkatkan luas sayap
3. Mengendalikan *boundary layer*

Jenis *HLD*:

1. *Flap (plain, split, slotted, fowler)*
2. *Slat* dan *Slot* untuk meningkatkan energi aliran di bagian atas sayap
3. *Winglet* untuk mengurangi *drag induksi* dan meningkatkan efisiensi hingga 7%

I. *Canted Winglet*

Winglet dengan sudut miring keluar, seperti pada Airbus A330. Penelitian menunjukkan variasi sudut *cant* yang tepat dapat meningkatkan *lift slope*, CL_{max} , dan *lift-to-drag ratio* (Guerrero et al., 2020).

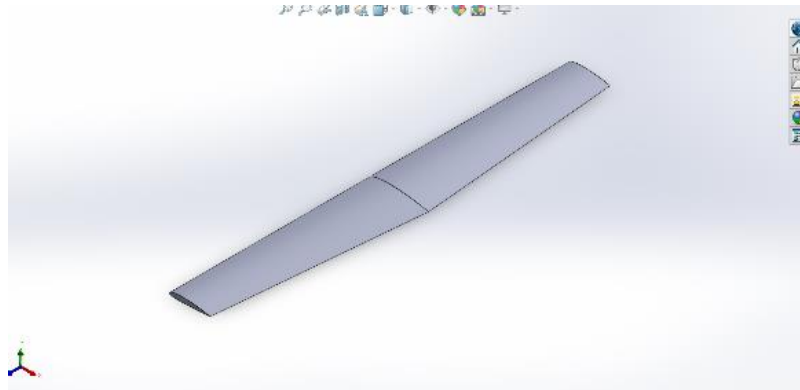
J. *Computational Fluid Dynamics (CFD)*

CFD merupakan metode numerik untuk menganalisis aliran fluida tanpa memerlukan uji terowongan angin. Dengan meningkatnya kemampuan komputer, *CFD* menjadi metode efektif dan ekonomis dalam desain aerodinamika, optimasi sayap, dan evaluasi kinerja airfoil.

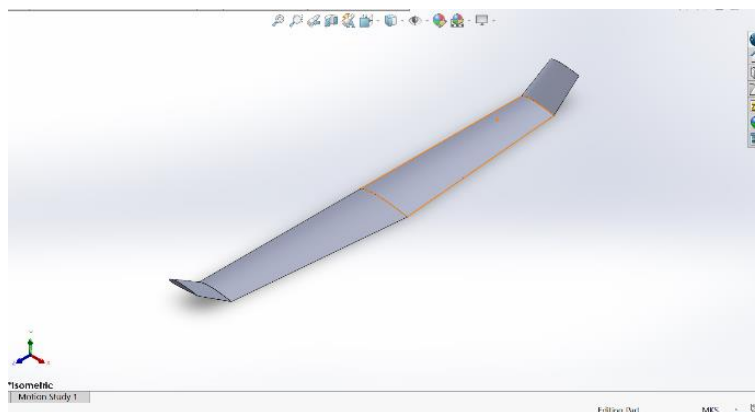
III. METODE/MODEL YANG DIUSULKAN

Bab ini berisi diagram alir penelitian, penjelasan data, variabel, instrumen, prosedur pengumpulan data, serta metode analisis menggunakan *ANSYS 2025 R1*. Pada penelitian ini, dua model sayap NACA 2412 tanpa *winglet* dan dengan *canted winglet* disimulasikan untuk dianalisis karakteristik aerodinamikanya, yang mencakup distribusi tekanan, nilai *lift*, *drag*, dan rasio *lift-to-drag* (L/D). Penjelasan singkat mengenai tahapan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Tahap awal adalah mengumpulkan referensi dan teori terkait aerodinamika sayap dan penggunaan *winglet* pada profil NACA 2412 sebagai dasar dalam penentuan parameter simulasi.
2. Selanjutnya dilakukan pemodelan sayap tanpa *winglet* dan dengan *canted winglet*, kemudian disimulasikan menggunakan *ANSYS 2025 R1* pada beberapa sudut serang. Dari hasil simulasi diperoleh data distribusi tekanan, aliran udara, serta nilai *lift* dan *drag* yang digunakan untuk menganalisis pengaruh penambahan *winglet* terhadap efisiensi aerodinamika.



Gambar 1. Model Sayap tanpa *Winglet*



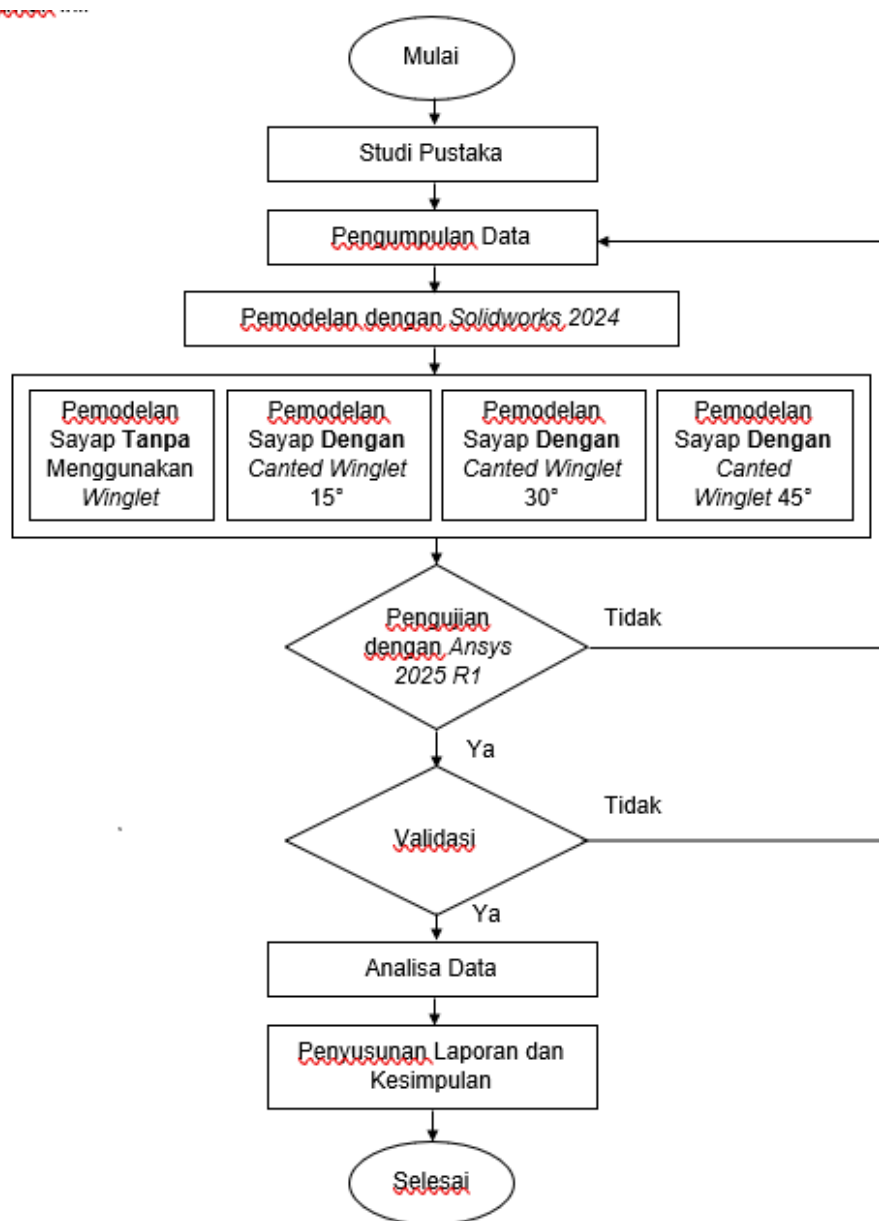
Gambar 2. Model Sayap dengan *Winglet*

3. Dua model sayap NACA 2412—tanpa *winglet* dan dengan *canted winglet* disimulasikan menggunakan *Ansys 2025 R1* dengan parameter aliran dan sudut serang yang sama. Dari hasil simulasi diperoleh data distribusi tekanan, *lift*, *drag*, dan rasio *lift-to-drag* (L/D) untuk membandingkan kinerja kedua konfigurasi.
4. Hasil simulasi dan pengujian didapat hasil sebagai berikut :
 - a. Model sayap tanpa *winglet* merupakan model yang memiliki kinerja aerodinamika paling baik. Hal ini ditunjukkan oleh nilai rasio *lift-to-drag*

(L/D) tertinggi, yaitu 22,75 pada sudut serang 4° , yang berarti sayap mampu menghasilkan *lift* besar dengan *drag* yang rendah.

- b. Model sayap dengan *canted winglet* memiliki efisiensi lebih rendah dibanding model tanpa *winglet*. Pada sudut serang 4° , nilai L/D menurun signifikan menjadi 9,97 (cant 15°), 12,32 (cant 30°), dan 11,32 (cant 45°). Penambahan *winglet* memang mengurangi *wingtip* vortex, namun peningkatan *drag* menyebabkan nilai L/D keseluruhan tetap lebih rendah daripada model tanpa *winglet*.

Diagram alir penyusun penelitian ini digambarkan pada gambar dibawah ini



IV. HASIL/IMPLEMENTASI MODEL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian

Berikut ini merupakan proses simulasi dan pengujian airfoil NACA 2412 dengan penambahan *canted winglet*. Setelah seluruh parameter dan kondisi batas ditetapkan, diperoleh data hasil simulasi yang digunakan untuk analisis. Pengujian ini berfokus pada pengaruh penambahan *winglet* terhadap karakteristik aerodinamika airfoil, yaitu gaya angkat (*lift*), gaya hambat (*drag*), dan rasio *lift-to-drag* (L/D).

B. Pembahasan

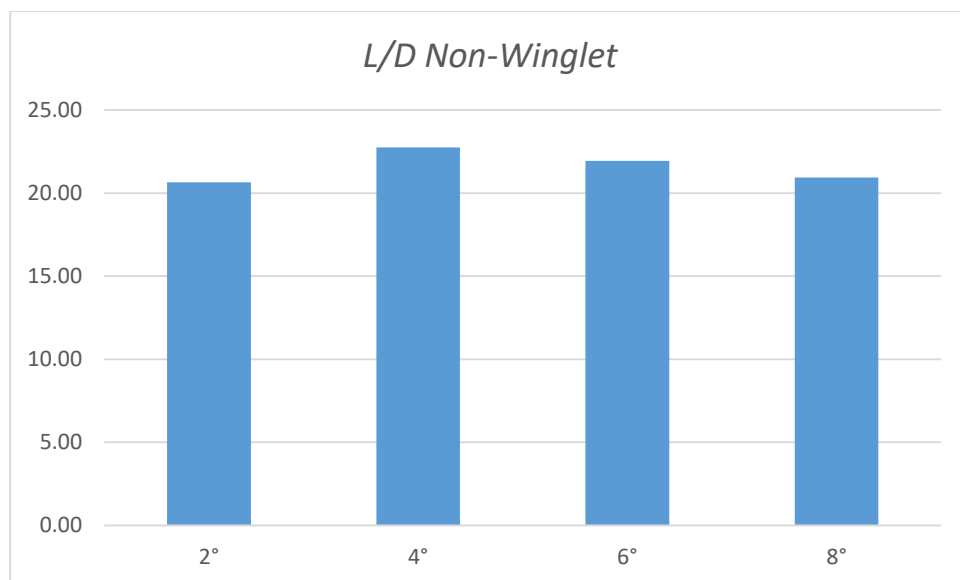
Data-data yang diperlukan untuk melakukan simulasi aerodinamika airfoil NACA 2412 pada *software ANSYS 2025 R1* adalah sebagai berikut.

TABEL I
PENGATURAN AWAL SIMULASI

Menu Solver	Pengaturan	
<i>Launcher</i>	<i>3D, Double Precission dan Display Mesh After Reading, Solver Processes-4</i>	
<i>General</i>	<i>Solver Type</i>	<i>Density-Based</i>
	<i>Time</i>	<i>Steady</i>
	<i>Velocity Formulation</i>	<i>Absolute</i>
	<i>3D Space</i>	<i>Planar</i>
<i>Model</i>	<i>Viscous Model</i>	<i>k-omega SST (2 equations)</i>
<i>Material</i>	<i>Fluid</i>	$\rho = 1,056 \text{ kg/m}^3$ $\mu = 1.739 \times 10^{-5} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$
<i>Boundary Condition</i>	<i>Inlet</i>	<i>Velocity-inlet (46 m/s)</i>
	<i>Outlet</i>	<i>Absolute pressure = 84.375 Pa</i>
	<i>Wall</i>	<i>Airfoil (No-slip condition)</i>
<i>Reference Value</i>	<i>Compute From</i>	<i>Pressure-far-field</i>
	<i>Reference Zone</i>	<i>Air</i>
<i>Report Definition</i>	<i>CL, CD, FL, FD</i>	
<i>Residual</i>	<i>Absolute criteria</i>	<i>1x10e-6</i>
<i>Solution Initialization</i>	<i>Standard</i>	<i>Compute from inlet</i>
<i>Calculation Activities</i>	<i>Autosave every (time step)</i>	<i>1</i>
	<i>Automatic report</i>	<i>CDAT for CFD-Post & EnSight</i>
<i>Total Iteration</i>	<i>1000</i>	



Gambar 3. Grafik perbandingan nilai L/D ratio pada variasi Winglet



Gambar 4. Grafik perbandingan nilai L/D ratio pada variasi Non Winglet

Berdasarkan hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan *canted winglet* pada profil NACA 2412 memengaruhi distribusi tekanan dan aliran udara pada sayap. *Winglet* mampu mengurangi *wingtip vortex*, namun juga menambah *drag* sehingga rasio *lift-to-drag* (L/D) masih sedikit lebih baik pada sayap tanpa *winglet*. Tren pengujian pada berbagai sudut serang juga memperlihatkan pola serupa, dengan L/D maksimum terjadi pada sudut serang 4°, dan penurunan kinerja setelah sudut tersebut, menunjukkan bahwa variasi *cant angle* berpengaruh langsung terhadap efisiensi aerodinamika secara keseluruhan.

V. KESIMPULAN

Proses simulasi dan analisis dua konfigurasi sayap NACA 2412 pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aerodinamika dasar dari sayap tanpa *winglet* dan sayap dengan *canted winglet*, serta memahami pengaruh penambahan *winglet* terhadap distribusi gaya angkat, gaya hambat, dan efisiensi aerodinamika sayap. Pengujian dilakukan menggunakan perangkat lunak *CFD* untuk memperoleh data mengenai distribusi tekanan, pola aliran udara, serta nilai *lift*, *drag*, dan rasio *lift-to-drag* (L/D). Komponen penting yang harus diperhatikan dalam pemodelan sayap antara lain konfigurasi geometri airfoil, penentuan sudut serang (*angle of attack*), pengaturan kondisi batas simulasi, serta variasi sudut *cant* pada *winglet* yang digunakan. Parameter aerodinamika dasar yang dihasilkan dari proses simulasi meliputi nilai koefisien *lift* (CL), koefisien *drag* (CD), rasio *lift-to-drag* (L/D), dan karakteristik aliran di sekitar ujung sayap. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan *canted winglet* pada sayap NACA 2412 mampu meningkatkan nilai *lift* yang dihasilkan sayap karena modifikasi distribusi tekanan, namun peningkatan tersebut disertai oleh naiknya nilai *drag* sehingga efisiensi aerodinamika tidak selalu lebih baik dibandingkan konfigurasi tanpa *winglet*. Visualisasi aliran udara juga memperlihatkan bahwa *canted winglet* dapat mengurangi intensitas *wingtip vortex*, tetapi perubahan arah aliran yang ditimbulkan turut menyebabkan peningkatan *drag* induksi. Berdasarkan tren rasio *lift-to-drag* (L/D), kedua konfigurasi menunjukkan pola serupa pada seluruh variasi sudut serang, dengan nilai maksimum berada pada sudut serang 4° . Variasi sudut *cant* pada *winglet* terbukti memengaruhi performa aerodinamika sayap, namun konfigurasi tanpa *winglet* masih menghasilkan rasio L/D yang sedikit lebih tinggi. Dengan demikian, penambahan *canted winglet* tidak selalu memberikan peningkatan efisiensi secara menyeluruh, meskipun efektif dalam mengurangi fenomena *wingtip vortex* di ujung sayap.

REFERENSI

- [1] Amaluddin, F. & Haryoko, A. (2019). Analisa Sensor Suhu dan Tekanan Udara terhadap Ketinggian Air Laut Berbasis Mikrokontroler. *ANTIVIRUS: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, 13(2), 98–104.
- [2] Guerrero, J. E., Sanguineti, M., & Wittkowski, K. (2020). Variable Cant Angle *Winglets* for Improvement of Aircraft Flight Performance. *Springer Netherlands*, 55(10).
- [3] Hanif, I., Jatisukanto, G., Amroe, A., & Nafi, A. (2017). Pengaruh Sudut Tekuk (Cant) *Winglet* Menggunakan Airfoil NACA 2215 pada Aerodinamika Sayap Pesawat.
- [4] Hidayat, M. F. (2016). Analisa Aerodinamika Airfoil NACA 0021 dengan ANSYS Fluent. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 1(1), 2–4.
- [5] Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto (ITDA). (2022). Konsep Aerodinamika Pesawat yang Penggemar Penerbangan Wajib Tahu. Diakses pada 14 Februari 2025 dari: <https://www.itda.ac.id/portal/blog/detail/585/konsep-aerodinamika-pesawat-yang-penggemar-penerbangan-wajib-tahu>
- [6] Lubis, M. M. (2012). Analisis Aerodinamika Airfoil NACA 2412 pada Sayap Pesawat Model Tipe Glider dengan Menggunakan Software Berbasis Computational Fluid Dynamic untuk Memperoleh Gaya Angkat Maksimum. *Jurnal e-Dinamis*, 2(2), 23–33.
- [7] Miranda. (2011). Metode Menentukan Massa dan Kerapatan.
- [8] Niulai, J. & Muskita, N. D. (2022). Pengaruh Bentuk Benda Uji terhadap Pola Aliran Angin di Ruang Uji Wind Tunnel. *Jurnal Voering*, 7(1), 37–46.