

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Induced drag merupakan permasalahan utama dalam aerodinamika sayap pesawat. Yaitu gaya hambat yang muncul akibat perbedaan tekanan antara permukaan atas dan bawah sayap yang menyebabkan terbentuknya *vorteks* di ujung sayap. Fenomena ini menjadi kontributor signifikan terhadap penurunan efisiensi aerodinamis. Khususnya pada kondisi penerbangan dengan sudut serang tinggi seperti saat *takeoff* dan *landing*. *Induced drag* tidak hanya meningkatkan gaya hambat total pesawat. Tetapi juga berdampak langsung pada penurunan rasio angkat terhadap hambatan (*lift-to-drag ratio*). Sehingga berpengaruh pada konsumsi bahan bakar dan performa terbang secara keseluruhan (Öztürk & Örs. 2021). Oleh karena itu pengurangan *induced drag* menjadi fokus penting dalam pengembangan desain sayap pesawat. Menjadi salah satu faktor yang paling berpengaruh terhadap performa pesawat. Terutama karena interaksi aliran udara di sekitar sayap menentukan besar gaya angkat dan gaya hambat yang muncul.

Penelitian terdahulu telah membahas upaya pengurangan *induced drag* melalui penerapan *winglet* dengan beragam konfigurasi. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan *blended winglet* mampu menurunkan nilai *induced drag* dan meningkatkan efisiensi aerodinamika (Pratama et al.. 2024). Namun, Efektivitasnya sangat dipengaruhi oleh parameter desain seperti sudut *sweep*, tinggi *winglet*, Serta kondisi operasi pesawat. Selain itu. Sebagian penelitian sebelumnya masih berfokus pada parameter sudut *winglet* tanpa membahas tentang *sweep winglet* dan satu jenis *winglet* saja atau hanya dalam satu kondisi terbang tertentu. Sehingga belum memberikan perbandingan menyeluruh antar konfigurasi *winglet* pada berbagai fase penerbangan. Di sisi lain keterbatasan metode analisis dan cakupan parameter yang ditinjau. Menyebabkan hasil penelitian belum sepenuhnya dapat dijadikan acuan untuk pesawat ringan secara spesifik.

Cessna 172R sebagai salah satu pesawat ringan paling populer untuk pelatihan, Misi pendidikan, Hingga transportasi jarak pendek. Memiliki karakteristik desain yang relatif sederhana dengan *airfoil* NACA 2412. Meskipun pesawat ini dikenal stabil dan mudah dioperasikan. Ada potensi peningkatan efisiensi aerodinamika melalui modifikasi ujung sayap. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penambahan *winglet* dapat mengurangi *induced drag*.

Namun desain yang paling efektif bergantung pada geometri *winglet*, sudut *sweep*, dan kondisi terbang pesawat tersebut (Kapsalis et al., 2021).

Seiring berkembangnya teknologi simulasi, metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menjadi pendekatan penting untuk menganalisis perilaku aliran udara pada sayap pesawat. Penggunaan perangkat lunak seperti solidworks untuk pemodelan geometri dan Openvsp untuk melakukan simulasi aerodinamika memungkinkan peneliti mengevaluasi berbagai variasi desain *winglet* tanpa memerlukan uji terowongan angin yang mahal (*wind tunnel*) (Kapsalis et al., 2021). Melalui simulasi CFD Karakteristik gaya angkat (CL), gaya hambat (CD), serta rasio L/D dapat dianalisis pada berbagai sudut serang dan kondisi penerbangan. Sehingga hasilnya lebih komprehensif dan mendekati kondisi nyata (Panagiotou et al., 2022).

Berdasarkan celah penelitian yang ada. Penelitian ini difokuskan pada analisis pengaruh penambahan *winglet* terhadap karakteristik aerodinamika sayap Cessna 172R. Penelitian dilakukan dengan membandingkan konfigurasi sayap tanpa *winglet* (*baseline*), Blended *winglet* 60° dengan variasi sudut *sweep* (0° dan 30°), Serta raked *winglet* dengan variasi sudut *sweep* yang sama. Analisis dilakukan pada berbagai fase penerbangan sesuai *Pilot Operating Handbook* (POH) Cessna 172R. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam menentukan konfigurasi *winglet* yang paling efektif untuk meningkatkan rasio L/D pada pesawat ringan. Serta menjadi referensi bagi pengembangan desain aerodinamika pesawat sejenis.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang didasari latar belakang. maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik aerodinamika (CL, CD, dan rasio L/D) pada sayap Cessna 172R dengan *airfoil* NACA 2412 tanpa *winglet*, dengan blended *winglet* 60° (*sweep*: 0°, 30°), dan dengan raked *winglet* (*sweep*: 0°, 30°)?
2. Bagaimana perbandingan performa aerodinamika dari ke empat konfigurasi *winglet* pada berbagai fase penerbangan?
3. Bagaimana pengaruh jenis *winglet* terhadap peningkatan rasio L/D pada *airfoil* NACA 2412 ?

4. Bagaimana pengaruh variasi sudut serang (α) dan kecepatan terbang terhadap performa aerodinamika pada setiap konfigurasi *winglet*?

1.3. Tujuan Penelitian

Didasari oleh rumusan masalah yang telah ditentukan, didapatkan poin-poin tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik aerodinamika berupa koefisien gaya angkat (CL), koefisien gaya hambat (CD), dan rasio L/D pada sayap Cessna 172R dengan *airfoil* NACA 2412 serta berbagai konfigurasi *winglet*.
2. Membandingkan performa aerodinamika antara sayap tanpa *winglet*, blended *winglet* 60° (*sweep*: $0^\circ, 30^\circ$), dan raked *winglet* (*sweep*: $0^\circ, 30^\circ$). Pada berbagai fase penerbangan.
3. Menganalisis pengaruh jenis *winglet* terhadap peningkatan rasio L/D pada *airfoil* NACA 2412.
4. Mencari rekomendasi desain *winglet* berdasarkan hasil simulasi CFD pada berbagai kondisi penerbangan.

1.4. Manfaat

Didapatkan juga beberapa manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

a. Secara teoritis:

1. Penelitian ini diharapkan Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu aerodinamika khususnya terkait pengurangan *induced drag* menggunakan *winglet*.
2. Penelitian ini diharapkan Menjadi referensi akademik bagi penelitian selanjutnya terkait desain perangkat aerodinamis pada pesawat ringan.

b. Secara praktis:

1. Bagi penulis Diharapkan menambah pengetahuan dalam menganalisis aerodinamika *wing* pesawat ringan.
2. Bagi praktisi Diharapkan Memberikan informasi teknis yang dapat dimanfaatkan oleh industri atau sekolah penerbangan dalam meningkatkan efisiensi operasional pesawat Cessna 172R dengan *airfoil* NACA 2412 serta

sebagai acuan awal bagi desainer pesawat atau teknisi modifikasi dalam merancang *winglet* yang efektif untuk pesawat kategori ringan.

3. Bagi masyarakat Diharapkan memberikan pemahaman mengenai aerodinamika *wing* pesawat ringan.

1.5. Batasan Masalah

Didasari oleh rumusan masalah yang telah ditentukan, didapatkan poin-poin batasan masalah penelitian berikut:

1. Objek penelitian dibatasi pada geometri sayap pesawat Cessna 172R dengan *airfoil* NACA 2412 sesuai spesifikasi *manual book* cessna 172R. tanpa melakukan modifikasi struktur selain penambahan *winglet* pada ujung sayap.
2. Analisis aerodinamika dilakukan menggunakan metode simulasi CFD berbasis openvsp (vspaero) dengan pendekatan *inviscid flow*. sehingga efek viskositas. turbulensi. *Skin friction drag*. dan lain-lain tidak dibahas dalam penelitian ini.
3. Parameter yang ditinjau terbatas pada karakteristik aerodinamika. yaitu koefisien gaya angkat (CL), koefisien gaya hambat (CD), rasio L/D, dan distribusi tekanan pada sayap. Analisis struktural. tegangan. beban sayap. dampak instalasi nyata. serta validasi eksperimental tidak termasuk dalam ruang lingkup penelitian.
4. Penelitian ini tidak melakukan validasi teoritis langsung menggunakan solusi analitik klasik. karena geometri model yang dianalisis bersifat tiga dimensi dan kompleks. sehingga tidak sesuai dengan asumsi geometri sederhana pada teori analitik seperti *lifting-line ideal*. Namun divalidasi menggunakan pendekatan *Airfoil-based validation*.