



Analisis Uji Aerodinamika Wingtip Fence Pada Pesawat Falcon 7x Dengan Menggunakan Software Ansys

(Aerodynamic Analysis of Wingtip Fence on Falcon 7X Aircraft Using ANSYS Software)

Danendra Aryaputra,¹, Muhammad Abdul Ghofur², Bondhan Firmanto³

^{1,2,3} Departemen Aeronautika, Akademi Angkatan Udara

E-mail: tempatbelajar112@gmail.com, mabdulghofur@aau.ac.id, bonduitiz@gmail.com

Abstract— Winglets are aerodynamic devices installed at the wingtips of aircraft to reduce induced drag caused by pressure differences between the upper and lower wing surfaces. This study uses Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations with ANSYS software to analyze the aerodynamic characteristics of two winglet configurations, namely the Blended Winglet and Wingtip Fence, on the Falcon 7X aircraft. The aim of this research is to compare the lift coefficient (CL), drag coefficient (CD), and the CL/CD ratio of both configurations. The tests were conducted at various angles of attack (AoA), ranging from 0°, 2°, 5°, 10°, 12°, 14°, to 16°, with an airflow velocity of 400 m/s. The data obtained indicate that the wing with the Blended Winglet configuration has a higher lift coefficient compared to the wing with the Wingtip Fence and also produces a better CL/CD ratio. The pressure distribution and airflow around the wings were also analyzed, showing that the Blended Winglet reduces vortex formation and improves overall aerodynamic efficiency. On the other hand, the Wingtip Fence provides greater drag reduction at lower angles of attack but experiences a larger drag increase at higher angles. This study concludes that the use of Blended Winglet is more suitable for enhancing the aerodynamic performance of the aircraft over a wide range of angles of attack, particularly in terms of lift efficiency and drag reduction.

Keywords— Aerodynamic analysis, winglet, ANSYS, Blended Winglet, Wingtip Fence

Abstrak— Winglet adalah perangkat aerodinamika yang dipasang di ujung sayap pesawat untuk mengurangi drag induksi yang disebabkan oleh perbedaan tekanan antara permukaan atas dan bawah sayap. Penelitian ini menggunakan simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan perangkat lunak ANSYS untuk menganalisis karakteristik aerodinamika dari dua konfigurasi winglet, yaitu Blended Winglet dan Wingtip Fence, pada pesawat Falcon 7X. Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan koefisien gaya angkat (CL), koefisien gaya hambat (CD), dan rasio CL/CD dari kedua konfigurasi tersebut. Pengujian dilakukan pada berbagai variasi sudut serang (AoA) mulai dari 0°, 2°, 5°, 10°, 12°, 14°, hingga 16° dengan kecepatan aliran udara sebesar 400 m/s. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa sayap dengan konfigurasi Blended Winglet memiliki nilai koefisien gaya angkat yang lebih tinggi dibandingkan dengan sayap yang menggunakan Wingtip Fence, serta menghasilkan rasio CL/CD yang lebih baik. Distribusi tekanan dan aliran udara pada sayap juga dianalisis, yang menunjukkan bahwa Blended Winglet mampu mengurangi area pusaran udara dan meningkatkan efisiensi aerodinamika secara keseluruhan. Di sisi lain, Wingtip Fence memberikan pengurangan drag yang lebih signifikan pada sudut serang rendah, namun mengalami peningkatan drag yang lebih besar pada sudut serang tinggi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan Blended Winglet lebih sesuai untuk meningkatkan kinerja aerodinamika pesawat pada berbagai variasi sudut serang, terutama dalam hal efisiensi gaya angkat dan pengurangan hambatan.

Kata Kunci— Analisis aerodinamika, winglet, ANSYS, Blended Winglet, Wingtip Fence

*Danendra Aryaputra

E-mail: tempatbelajar112@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Pesawat terbang merupakan transportasi udara yang memanfaatkan perbedaan tekanan udara pada permukaan sayap untuk bergerak di angkasa. Bentuk airfoil dari sayap pesawat adalah penyebab pesawat bisa terbang. Bentuk airfoil pada sayap pesawat dapat menciptakan perbedaan tekanan antara permukaan atas dengan permukaan bawah sayap akibat adanya perbedaan luas dari kedua permukaan tersebut. Perbedaan tekanan yang terbentuk menyebabkan vortex pada ujung sayap pesawat, sehingga dibuat perangkat di ujung sayap yang disebut winglet pesawat yang digunakan untuk mengurangi besarnya vortex [1].

Winglet adalah salah satu perangkat ujung sayap pesawat yang berfungsi untuk meningkatkan performa aerodinamika pesawat dengan cara mengurangi pusaran udara yang terjadi di ujung sayap akibat perbedaan tekanan udara di atas dan di bawah sayap. Pusaran udara ini dapat menyebabkan peningkatan gaya hambat dan penurunan gaya angkat pada pesawat. Winglet dapat memiliki bentuk geometri yang berbeda-beda, seperti trapezoidal, triangular, atau blended. Blended winglet adalah winglet yang memiliki bentuk melengkung dan menyatu dengan sayap. Permasalahan yang muncul dari penggunaan blended winglet adalah bahwa bentuknya yang melengkung dapat menyebabkan terjadinya aliran terpisah (separated flow) pada permukaan winglet, terutama pada sudut serang yang tinggi. Aliran terpisah ini dapat menurunkan efektivitas winglet dalam mengurangi pusaran udara dan meningkatkan rasio gaya angkat terhadap gaya hambat (CL/CD) [2].

Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi aerodinamika pesawat adalah dengan menambahkan perangkat ujung sayap, seperti winglet atau Wingtip Fence. Winglet dan Wingtip Fence berfungsi untuk mengurangi pusaran udara yang terjadi di ujung sayap akibat perbedaan tekanan udara di atas dan di bawah sayap. Pusaran udara ini dapat menyebabkan peningkatan gaya hambat dan penurunan gaya angkat pada pesawat. Namun, tidak semua jenis winglet atau Wingtip Fence memiliki performa yang sama. Beberapa studi numerik menunjukkan bahwa Wingtip Fence memiliki keunggulan dibandingkan dengan blended winglet dalam hal meningkatkan rasio gaya angkat terhadap gaya hambat (CL/CD) pada sudut serang yang tinggi. Hal ini karena Wingtip Fence dapat mengurangi kehilangan energi akibat pusaran udara lebih efektif daripada blended winglet. Oleh karena itu, penggantian blended winglet menjadi Wingtip Fence dapat menjadi salah satu penyelesaian untuk meningkatkan efisiensi aerodinamika pesawat [2].

Pesawat Falcon 7X adalah pesawat modern yang menggunakan winglet untuk mengurangi drag induksi akibat perbedaan tekanan antara permukaan atas dan bawah sayap. Winglet dirancang untuk meningkatkan efisiensi aerodinamika dengan meredam pusaran udara di ujung sayap, mengurangi drag, dan meningkatkan lift. Namun, penelitian ini mengeksplorasi potensi penggunaan Wingtip Fence sebagai alternatif, yang dipasang secara vertikal pada ujung sayap untuk mengurangi pusaran udara dan meningkatkan performa aerodinamika pada sudut serang tertentu. Penelitian ini bertujuan membandingkan Blended Winglet dan Wingtip Fence pada Falcon 7X menggunakan simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan perangkat lunak ANSYS. Fokus penelitian adalah menguji perbedaan koefisien gaya angkat (CL) dan koefisien gaya hambat (CD) pada berbagai sudut serang untuk mengevaluasi efisiensi aerodinamika kedua konfigurasi berdasarkan rasio CL/CD.

Rumusan masalah utama adalah perbandingan karakteristik aerodinamika Falcon 7X antara Blended Winglet dan Wingtip Fence, untuk memahami keunggulan masing-masing desain dalam peningkatan lift dan pengurangan drag. Penelitian ini terbatas pada analisis aerodinamika sayap Falcon 7X, tanpa melibatkan bagian pesawat lainnya, dengan seluruh simulasi dilakukan di ANSYS Fluent untuk memastikan akurasi hasil.

II. LANDASAN TEORI

A. Aerodinamika

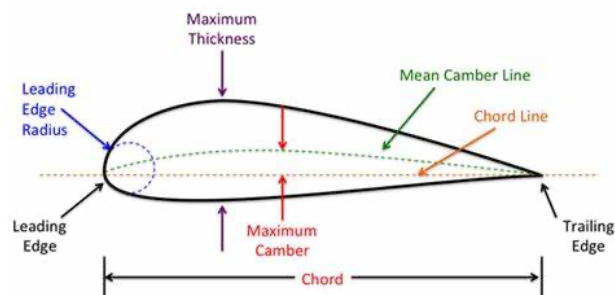
Aerodinamika adalah cabang ilmu fisika yang mempelajari interaksi antara udara dan objek yang bergerak di dalamnya. Dalam penerbangan, prinsip aerodinamika berperan penting dalam mendesain pesawat agar dapat terbang dengan efisiensi yang tinggi. Gaya-gaya utama yang bekerja pada pesawat adalah gaya angkat (lift), gaya hambat (drag), dan gaya berat (weight). Gaya angkat dihasilkan dari perbedaan tekanan antara permukaan atas dan bawah sayap pesawat, sementara gaya hambat adalah gaya yang bekerja sejajar dengan aliran udara dan cenderung memperlambat pesawat [3].

Secara lebih rinci, gaya angkat terjadi karena perbedaan kecepatan aliran udara pada permukaan atas dan bawah sayap, sesuai dengan prinsip Bernoulli, yang menyatakan bahwa peningkatan kecepatan aliran udara mengurangi tekanan. Di sisi lain, gaya hambat terdiri dari dua jenis: drag parasit, yang disebabkan oleh bentuk pesawat, dan drag induksi, yang disebabkan oleh pusaran udara (vortex) di ujung sayap [4].

B. Airfoil

Airfoil adalah profil melintang dari sayap pesawat yang dirancang untuk menghasilkan gaya angkat saat udara mengalir di sekitarnya. Bentuk airfoil menentukan karakteristik aerodinamis dari sayap, termasuk koefisien gaya angkat (CL) dan koefisien gaya hambat (CD). Standar yang sering digunakan untuk mendesain airfoil adalah NACA (National Advisory Committee for Aeronautics), yang memiliki sistem penomoran untuk berbagai profil airfoil.

Airfoil NACA dibagi menjadi beberapa seri, seperti seri empat digit, lima digit, dan enam digit. Sebagai contoh, NACA 2412 adalah airfoil yang memiliki camber maksimum sebesar 2%, terletak pada 40% chord dari leading edge, dengan ketebalan maksimum 12% chord. Airfoil ini digunakan pada banyak pesawat komersial untuk meningkatkan efisiensi aerodinamika [5].



Gambar 1. Airfoil

C. Winglet

Winglet adalah perangkat kecil yang dipasang di ujung sayap pesawat dengan tujuan untuk mengurangi drag induksi. Drag induksi disebabkan oleh pusaran udara yang terbentuk di ujung sayap akibat perbedaan tekanan antara permukaan atas dan bawah sayap. Pusaran ini meningkatkan gaya hambat yang dapat mengurangi efisiensi bahan bakar pesawat. Winglet membantu mengarahkan aliran udara dari bagian bawah sayap ke atas, sehingga mengurangi pusaran dan drag [6].

Ada berbagai jenis winglet yang digunakan pada pesawat modern, termasuk Blended Winglet dan Raked Wingtip. Blended Winglet, yang pertama kali dikembangkan oleh Boeing, memiliki transisi halus dari sayap utama dan efektif dalam mengurangi drag pada pesawat seperti Boeing 737 dan 757. Sedangkan Raked Wingtip digunakan pada pesawat-pesawat modern seperti Boeing 787 untuk mengoptimalkan aliran laminar.



Gambar 2. Blended Winglets

D. Wingtip Fence

Wingtip Fence adalah variasi winglet yang berupa sirip vertikal kecil yang dipasang di ujung sayap pesawat. Desain ini lebih sering digunakan pada pesawat Airbus, seperti A320, dan memiliki keunggulan dalam mengurangi drag induksi pada sudut serang yang rendah. Wingtip Fence bekerja dengan memisahkan aliran udara di atas dan bawah sayap, sehingga mengurangi pusaran udara dan meningkatkan stabilitas penerbangan pada kecepatan rendah [2].

Penelitian yang dilakukan oleh Setyo Hariyadi (2021) menunjukkan bahwa Wingtip Fence menghasilkan vorticity yang lebih kecil dibandingkan Blended Winglet pada sudut serang rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa Wingtip Fence memiliki potensi untuk mengurangi drag induksi lebih efektif pada kecepatan jelajah yang rendah, namun tidak seefektif Blended Winglet pada kecepatan tinggi atau sudut serang besar.



Gambar 3. Wingtip Fence

E. Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD), atau dinamika fluida komputasi, merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis dinamika fluida dan transfer panas melalui simulasi numerik dengan bantuan komputer. CFD memungkinkan penghitungan dan simulasi hukum-hukum fisika yang mengatur pergerakan fluida di berbagai geometri. Dalam penerapannya, CFD digunakan untuk membangun prototipe, menganalisis, mengevaluasi, dan mengoptimalkan berbagai sistem seperti pesawat terbang, terowongan angin, dan sistem perpipaan.

Sejak diperkenalkan di industri penerbangan pada tahun 1990-an, CFD dengan cepat menjadi alat vital dalam desain produk dan optimasi proses. Kini, dengan antarmuka perangkat lunak yang semakin ramah pengguna, CFD telah meluas ke berbagai industri lainnya. Aplikasi CFD mencakup desain aerodinamika kendaraan, optimalisasi pembakaran mesin, strategi optimasi pemulihan minyak, studi hemodinamika di dunia medis, serta analisis kegagalan sistem seperti perpipaian dan pembakaran.

F. ANSYS

ANSYS adalah perangkat lunak simulasi berbasis elemen hingga (finite element analysis) yang sering digunakan untuk analisis aerodinamika dan mekanika fluida. Dalam konteks penelitian ini, ANSYS digunakan untuk menjalankan simulasi CFD yang mencakup analisis distribusi tekanan, gaya angkat, gaya hambat, dan vorticity pada konfigurasi Blended Winglet dan Wingtip Fence [7].

ANSYS Workbench menyediakan alat yang memungkinkan pengguna untuk melakukan simulasi fluida dengan menggunakan antarmuka yang ramah pengguna. Dengan ANSYS, peneliti dapat membuat model geometri sayap, melakukan meshing (penggambaran grid numerik), dan menjalankan simulasi CFD dengan berbagai kondisi operasi. Hasil dari simulasi ini memberikan wawasan yang lebih dalam tentang performa aerodinamika pesawat.

III. METODE/MODEL YANG DIUSULKAN

A. Arsitektur Model Secara Umum

Model yang diusulkan pada penelitian ini adalah simulasi untuk mengevaluasi performa aerodinamika pesawat Falcon 7X menggunakan perangkat lunak Ansys Fluent. Simulasi ini mencakup dua konfigurasi winglet, yaitu Falcon Winglet dan Wingtip Fence, yang akan dianalisis pada berbagai variasi sudut serang (AoA) dan kecepatan udara. Model ini dibangun menggunakan perangkat keras berupa komputer yang menjalankan perangkat lunak simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan data geometri sayap dan winglet. Tujuannya adalah untuk mempelajari distribusi tekanan udara, kecepatan aliran udara, serta gaya angkat dan hambat yang dihasilkan pada berbagai kondisi terbang.

Sistem yang dirancang akan menghasilkan output berupa data numerik dan visual dari hasil simulasi, yang dapat digunakan untuk membandingkan efisiensi aerodinamika dari dua desain winglet. Data yang dihasilkan mencakup gaya angkat (lift), gaya hambat (drag), koefisien gaya angkat (CL), koefisien gaya hambat (CD), dan sudut serang kritis (critical angle of attack).

B. Komponen Utama Model

1. Perangkat Keras

a. Komputer atau Laptop

Digunakan untuk menjalankan perangkat lunak Ansys Fluent sebagai platform simulasi. Komputer dengan spesifikasi tinggi diperlukan untuk memastikan simulasi CFD berjalan dengan lancar dan hasil yang akurat.

b. Software Ansys Fluent

Perangkat lunak ini digunakan untuk mensimulasikan aliran udara dan efek aerodinamika pada sayap Falcon 7X. Ansys Fluent memiliki kemampuan untuk memodelkan aliran fluida dan menghasilkan data numerik serta visual dari analisis yang dilakukan.

2. *Perangkat Lunak dan Data Input*

a. Koordinat Airfoil NACA 64A-212

Data ini digunakan untuk membangun model sayap Falcon 7X dalam perangkat lunak Ansys Fluent. Koordinat airfoil diperoleh dari situs airfoiltools.com.

b. Data Geometri Falcon Winglet dan Wingtip Fence

Model 3D dari Falcon Winglet dan Wingtip Fence dibangun berdasarkan dimensi yang tersedia dalam dokumen penelitian. Geometri ini digunakan untuk menguji berbagai konfigurasi dan variasi sudut serang pada sayap Falcon 7X.

C. *Proses Simulasi dan Pengumpulan Data*

1. *Langkah-Langkah Simulasi*

- Pembuatan model sayap dan winglet menggunakan data airfoil NACA 64A-212 dan geometri Falcon Winglet dan Wingtip Fence di Ansys Fluent.
- Simulasi aliran udara dilakukan pada berbagai variasi sudut serang (0° , 5° , 10° , 15° , 20°) dan kecepatan udara yang disesuaikan dengan kondisi terbang pesawat Falcon 7X.
- Pengumpulan data berupa gaya angkat, gaya hambat, koefisien CL, dan koefisien CD dari setiap konfigurasi winglet yang diuji.

2. *Analisis Data*

- Hasil simulasi diolah untuk menghitung rasio lift-to-drag (CL/CD) serta sudut serang kritis untuk setiap konfigurasi winglet.
- Data dibandingkan untuk melihat konfigurasi winglet mana yang lebih efisien dalam mengurangi drag dan meningkatkan gaya angkat.

IV. HASIL/IMPLEMENTASI MODEL DAN PEMBAHASAN

A. *Implementasi Model*

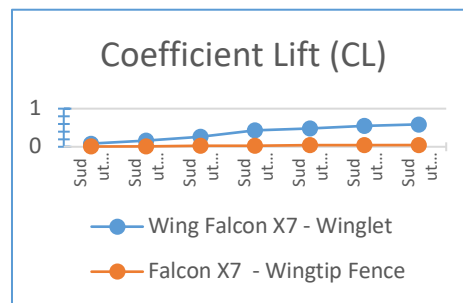
Penelitian ini menggunakan metode Computational Fluid Dynamics (CFD) yang diimplementasikan melalui perangkat lunak Ansys Fluent. Model yang disimulasikan adalah sayap pesawat Falcon 7X dengan dua konfigurasi winglet, yaitu Falcon Winglet dan Wingtip Fence. Proses implementasi model dilakukan dengan memasukkan data geometri sayap Falcon 7X berdasarkan airfoil NACA 64A-212, kemudian simulasi dilakukan pada kecepatan udara 400 km/h dengan variasi sudut serang (AoA) 0° , 2° , 5° , 10° , 12° , 14° , dan 16° .

Koordinat airfoil NACA 64A-212 digunakan untuk membuat profil sayap pesawat, dan model winglet serta wingtip fence diimplementasikan sebagai komponen tambahan pada ujung sayap. Dengan menggunakan Ansys Fluent, distribusi aliran udara, distribusi tekanan, koefisien gaya angkat (CL), dan koefisien gaya hambat (CD) dihitung dan dianalisis untuk kedua konfigurasi tersebut.

B. Hasil Simulasi

1. Coefficient Lift (CL)

Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai koefisien gaya angkat (CL) meningkat seiring dengan peningkatan sudut serang (AoA). Pada konfigurasi Falcon Winglet, peningkatan CL lebih signifikan dibandingkan dengan konfigurasi Wingtip Fence. Nilai rata-rata CL untuk sayap yang menggunakan Falcon Winglet adalah 0,363, sementara sayap dengan Wingtip Fence memiliki CL rata-rata sebesar 0,028.

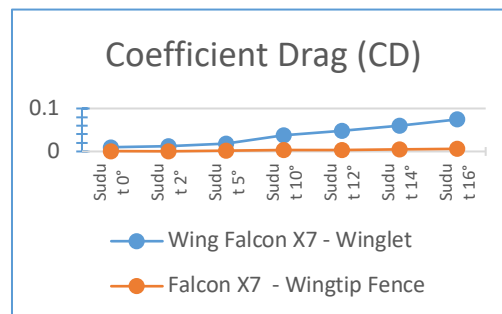


Gambar 4. Grafik Perbandingan Coefficient Lift (CL)

Grafik ini menunjukkan bahwa konfigurasi Falcon Winglet memberikan gaya angkat yang lebih besar pada setiap sudut serang dibandingkan dengan Wingtip Fence. Dengan demikian, penggunaan winglet menunjukkan kinerja aerodinamika yang lebih baik dalam menghasilkan gaya angkat, terutama pada sudut serang tinggi.

2. Coefficient Drag (CD)

Koefisien gaya hambat (CD) juga dianalisis untuk kedua konfigurasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sayap dengan Falcon Winglet memiliki nilai CD yang lebih tinggi dibandingkan dengan Wingtip Fence pada sebagian besar sudut serang. Pada AoA 10° hingga 16°, sayap dengan winglet mengalami peningkatan drag yang lebih drastis dibandingkan sayap dengan Wingtip Fence.

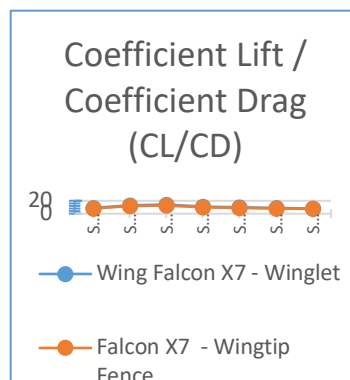


Gambar 5. Grafik Perbandingan Coefficient Drag (CD)

Dari grafik tersebut, dapat dilihat bahwa Wingtip Fence lebih efektif dalam mengurangi drag pada sudut serang yang tinggi. Kemampuan Wingtip Fence untuk memecah aliran udara dengan lebih efisien dibandingkan winglet menyebabkan nilai CD yang lebih rendah pada variasi sudut serang.

3. Perbandingan Coefficient Lift/Drag (CL/CD)

Rasio CL/CD merupakan indikator utama untuk menilai efisiensi aerodinamika dari kedua konfigurasi sayap. Berdasarkan hasil simulasi, sayap dengan Falcon Winglet memiliki nilai CL/CD yang lebih tinggi dibandingkan dengan Wingtip Fence, terutama pada sudut serang rendah hingga menengah. Hal ini menunjukkan bahwa Falcon Winglet lebih optimal dalam menghasilkan gaya angkat yang lebih besar dibandingkan dengan hambatan yang dihasilkan.

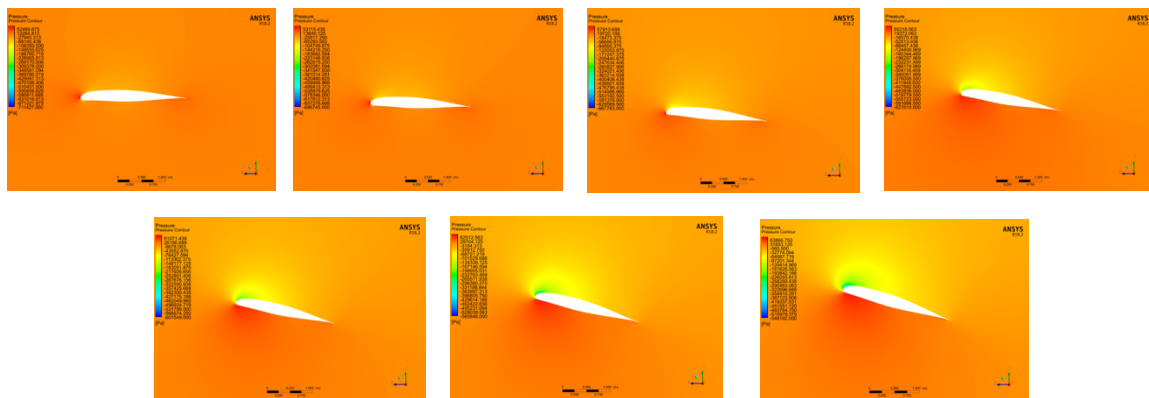


Gambar 6. Grafik Perbandingan Coefficient Lift/Drag (CL/CD)

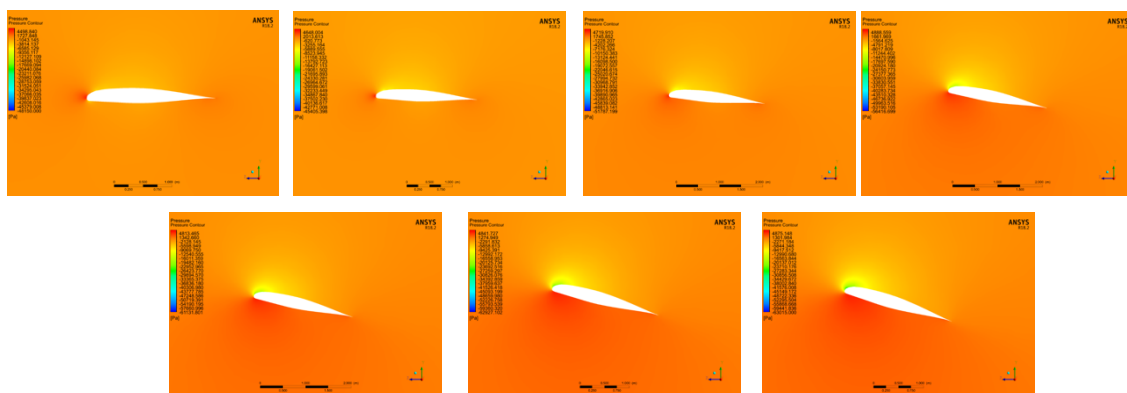
C. Distribusi Tekanan dan Aliran Udara

1. Distribusi Tekanan

Distribusi tekanan pada permukaan sayap dianalisis untuk setiap sudut serang. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tekanan terbesar terjadi di bagian leading edge pada sudut serang rendah, dan tekanan di permukaan atas sayap meningkat seiring dengan peningkatan sudut serang. Pada konfigurasi winglet, distribusi tekanan lebih terkonsentrasi di bagian depan sayap, sementara pada konfigurasi Wingtip Fence, distribusi tekanan lebih merata.



Gambar 7. Contour Tekanan untuk Falcon Winglet pada Sudut Serang 0°, 2°, 5°, 10°, 12°, 14°, dan 16°

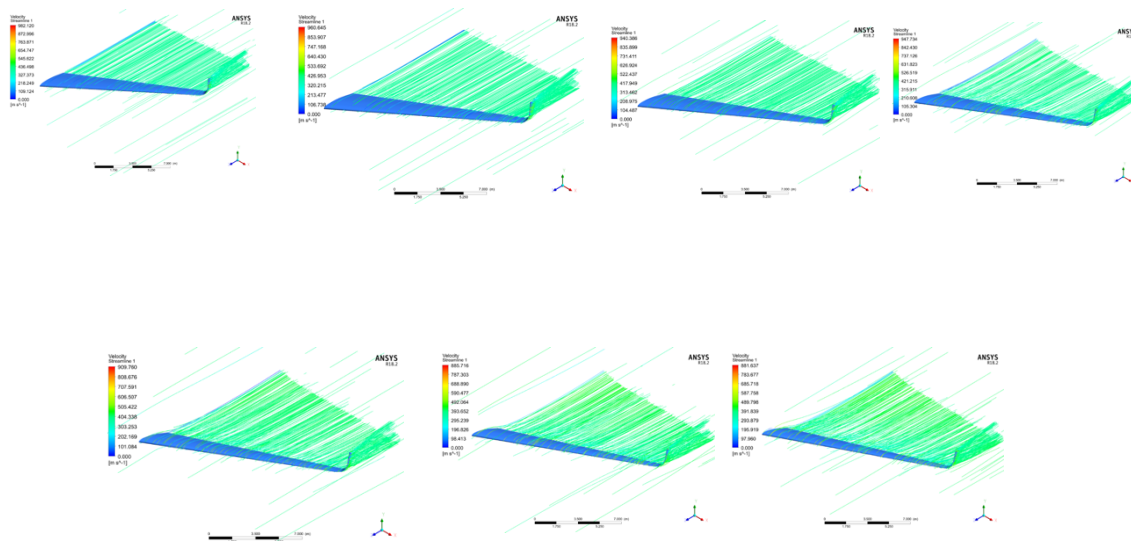


Gambar 8. Contour Tekanan untuk Wingtip Fence pada Sudut Serang 0°, 2°, 5°, 10°, 12°, 14°, dan 16°

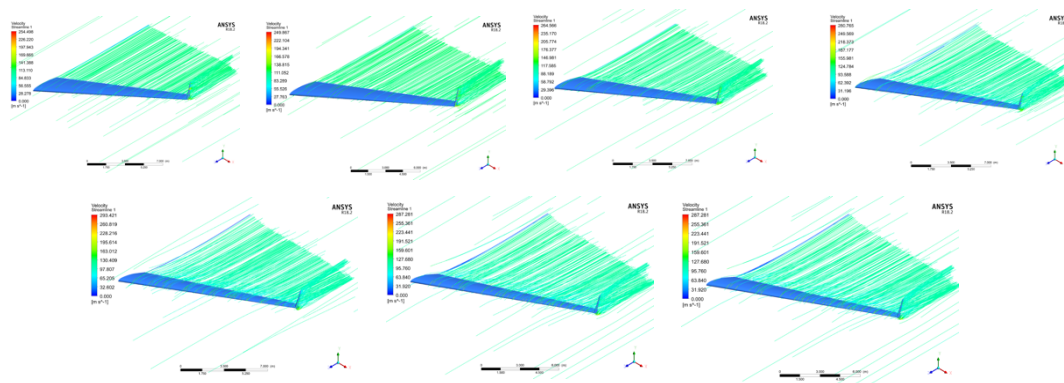
Dari gambar-gambar tersebut, dapat dilihat bahwa distribusi tekanan pada sayap dengan Wingtip Fence lebih stabil, terutama pada sudut serang rendah, yang berkontribusi pada pengurangan gaya hambat dan aliran udara yang lebih laminar.

2. Distribusi Aliran Udara

Distribusi aliran udara juga dianalisis dengan menggunakan streamline plots. Hasil menunjukkan bahwa pada sudut serang rendah, aliran udara di sekitar sayap dengan Wingtip Fence lebih laminar, sementara sayap dengan winglet menghasilkan turbulensi yang lebih besar di belakang winglet pada sudut serang tinggi. Pada AoA tinggi, wingtip fence lebih efisien dalam menjaga kestabilan aliran udara, mengurangi turbulensi, dan mengurangi potensi kehilangan gaya angkat (stall).



Gambar 9. Streamline Falcon Winglet pada sudut serang 0°, 2°, 5°, 10°, 12°, 14°, dan 16°



Gambar 10. Streamline Wingtip Face pada sudut serang 0°, 2°, 5°, 10°, 12°, 14°, dan 16°

Dari gambar streamline tersebut, terlihat bahwa turbulensi yang dihasilkan oleh winglet lebih besar pada sudut serang tinggi, yang dapat mengakibatkan stall lebih awal dibandingkan dengan Wingtip Fence.

D. Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan pada dua konfigurasi sayap pesawat Falcon 7X, yaitu Falcon Winglet dan Wingtip Fence, ditemukan beberapa perbedaan signifikan dalam performa aerodinamika. Pada konfigurasi Falcon Winglet, nilai koefisien gaya angkat (CL) menunjukkan peningkatan yang lebih signifikan dibandingkan dengan Wingtip Fence, terutama pada sudut serang yang lebih tinggi. Nilai rata-rata CL pada sayap yang menggunakan winglet adalah 0,363, sementara pada sayap dengan Wingtip Fence hanya mencapai 0,028. Ini menunjukkan bahwa Falcon Winglet lebih efisien dalam meningkatkan gaya angkat pesawat, terutama pada sudut serang besar. Efek ini dihasilkan karena winglet mampu mengurangi pusaran udara yang terjadi di ujung sayap, sehingga menghasilkan gaya angkat yang lebih optimal.

Namun, dari sisi gaya hambat (drag), sayap dengan Falcon Winglet menghasilkan nilai koefisien gaya hambat (CD) yang lebih tinggi dibandingkan dengan Wingtip Fence, khususnya pada sudut serang yang besar. Wingtip Fence lebih efektif dalam mengurangi drag pada sudut serang tinggi, karena kemampuannya untuk memecah aliran udara secara lebih efisien. Pada sudut serang antara 10° hingga 16° , drag yang dihasilkan oleh winglet meningkat secara signifikan, sedangkan drag yang dihasilkan oleh Wingtip Fence lebih stabil dan cenderung lebih rendah. Ini menunjukkan bahwa Wingtip Fence lebih unggul dalam mengurangi hambatan udara pada kondisi tertentu.

Perbandingan antara koefisien gaya angkat dan gaya hambat (CL/CD) juga menunjukkan bahwa konfigurasi sayap dengan Falcon Winglet lebih efisien dalam menghasilkan gaya angkat yang lebih besar dibandingkan hambatan yang dihasilkan. Rasio CL/CD pada winglet lebih tinggi, terutama pada sudut serang rendah hingga menengah, yang menunjukkan efisiensi aerodinamika yang lebih baik. Sebaliknya, meskipun Wingtip Fence berhasil mengurangi drag, kemampuan untuk meningkatkan gaya angkat tidak sebanding dengan Falcon Winglet, sehingga rasio CL/CD yang dihasilkan lebih rendah.

Analisis distribusi tekanan menunjukkan bahwa pada kedua konfigurasi, tekanan tertinggi terjadi di bagian leading edge, terutama pada sudut serang rendah. Namun, distribusi tekanan pada sayap dengan Wingtip Fence lebih merata, yang mengurangi hambatan dan menghasilkan aliran udara yang lebih stabil. Sebaliknya, pada Falcon Winglet, distribusi tekanan lebih terkonsentrasi di depan sayap, yang meningkatkan gaya angkat namun juga menyebabkan peningkatan drag pada sudut serang tinggi.

Selain itu, distribusi aliran udara menunjukkan bahwa Wingtip Fence lebih efektif dalam menjaga kestabilan aliran udara pada sudut serang tinggi, dengan menghasilkan aliran yang lebih laminar dan sedikit turbulensi dibandingkan dengan winglet. Pada sudut serang tinggi, winglet menghasilkan turbulensi yang lebih besar di belakang sayap, yang dapat menyebabkan stall lebih cepat dibandingkan Wingtip Fence. Meskipun demikian, winglet tetap lebih unggul dalam menghasilkan gaya angkat yang lebih besar dan lebih efisien pada kecepatan jelajah.

Secara keseluruhan, hasil simulasi ini menunjukkan bahwa Falcon Winglet memberikan performa aerodinamika yang lebih baik secara umum, terutama dalam hal peningkatan gaya angkat dan rasio CL/CD yang lebih tinggi. Namun, Wingtip Fence menunjukkan keunggulan dalam mengurangi drag dan menjaga kestabilan aliran udara pada sudut serang tinggi. Kedua konfigurasi memiliki kelebihan masing-masing tergantung pada kondisi penerbangan, namun Falcon Winglet tetap lebih unggul dalam memberikan efisiensi aerodinamika yang lebih baik secara keseluruhan.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian dengan judul Analisis Uji Aerodinamika Wingtip Fence Pada Pesawat Falcon 7x Dengan Menggunakan Software Ansys adalah sebagai berikut:

1. Analisis CFD pada Sayap pesawat Falcon 7X yang menggunakan Winglet dengan kecepatan aliran udara 400 km/h serta Angle of Attack (AoA) 0° , 2° , 5° , 10° , 12° , 14° , dan 16° . memiliki nilai rata-rata Lift Force sebesar 1.911.569,86 N, Drag Force sebesar 196.100,04 N, Coefficient Lift (CL) sebesar 0,363, Coefficient Drag (CD) sebesar 0,037 dan CL/CD sebesar 10,568.
2. Analisis CFD pada Sayap pesawat Falcon 7X yang menggunakan Wingtip Fence dengan kecepatan aliran udara 400 km/h serta Angle of Attack (AoA) 0° , 2° , 5° , 10° , 12° , 14° , dan 16° . memiliki nilai rata-rata Lift Force sebesar 143.715,81 N, Drag Force sebesar 15.884,39 N, Coefficient Lift (CL) sebesar 0,028, Coefficient Drag (CD) sebesar 0,003 dan CL/CD sebesar 9,672.
3. Dari data yang didapat dari pengujian dapat disimpulkan bahwa Sayap pesawat Falcon 7X yang menggunakan Winglet lebih optimal dibandingkan dengan Sayap pesawat Falcon 7X yang menggunakan Wingtip Fence, yang disebabkan karena jenis model Wingtip Fence apabila dipasangkan pada sayap pesawat Falcon 7X akan mengubah Aspect Ratio dari sayap pesawat tersebut.

Di dalam proses pembuatan Tugas Akhir ini juga percobaan yang telah dilaksanakan disampaikan beberapa saran untuk mendukung penelitian selanjutnya, sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya diharapkan memberikan variasi kecepatan, agar didapatkan perbedaan karakteristik aerodinamika yang signifikan.
2. Penelitian selanjutnya diharapkan memperkecil interval sudut serang sayap, agar didapatkan karakteristik aerodinamika yang lebih spesifik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan naskah proposal tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa pencapaian ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Kuasa, atas segala rezeki dan nikmat yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Marsekal Muda TNI Dr. Ir. Purwoko Aji Prabowo, M.M., MDS., Gubernur Akademi Angkatan Udara, yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama penyusunan proposal ini. Tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada Kolonel Tek R. Aryo Surdihartono, Kepala Departemen Aeronautika, atas segala bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang telah sangat membantu dalam penyusunan tugas akhir ini. Ucapan terima kasih yang mendalam juga disampaikan kepada Letkol Tek M. A. Ghofur, S.T., M.T., sebagai dosen pembimbing, yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta meluangkan waktu dan tenaga sehingga proposal tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Selanjutnya, terima kasih yang sebesar-besarnya ditujukan kepada kedua orang tua, Bapak Tri Wahyu dan Ibu Endang Sulistyowati, atas doa dan dukungan yang tiada henti. Tidak ketinggalan, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh rekan-rekan Taruna tingkat III yang senantiasa memberikan motivasi dan semangat dalam proses penyelesaian tugas akhir ini. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia-Nya dalam setiap pengabdian kepada bangsa dan negara melalui TNI Angkatan Udara.

REFERENSI

- [1] Nurcahyadi, T. (no date) 'Pengaruh Lokasi Ketebalan Maksimum Airfoil Simetris Terhadap Koefisien Angkat Aerodinamisnya'.
- [2] 'Setyo Hariyadi.pdf' (no date).
- [3] Mulyadi, M. (no date) 'Analisis Aerodinamika Pada Sayap Pesawat Terbang Dengan Menggunakan Software Berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD)'.
- [4] Jumini, S. (2018) 'Gaya Aerodinamik dalam Penerbangan Perspektif Q.S An-Nahl: 79', Syariati : Jurnal Studi Al-Qur'an dan Hukum, 4(02), pp. 143–152. Available at: <https://doi.org/10.32699/syariati.v4i02.1172>.
- [5] 'NACA Airfoil' (2010) Panggih Raharjo, 3 February. Available at: <https://panggih15.wordpress.com/2010/02/03/naca-airfoil/> (Accessed: 3 November 2023).
- [6] BYADMIN (2021) 'Winglet : Perangkat Peningkat Efisiensi Bahan Bakar Pada Pesawat Terbang', School of Applied STEM - Universitas Prasetiya Mulya, 13 October. Available at: <https://stem.prasetiyamulya.ac.id/blog/mengungkap-fungsi-winglet-pada-sayap-pesawat-terbang/> (Accessed: 20 September 2023).
- [7] adminstp (2021) 'Pelatihan Penggunaan Software Simulasi ANSYS di Lab CAE STP Otomotif', SAINS TECHNO PARK, 11 January. Available at: <https://www.its.ac.id/stp/2021/01/11/pelatihan-penggunaan-software-simulasi-ansys-di-lab-cae-stp-otomotif/> (Accessed: 3 November 2023).
- [8] Airfoil' (2023) Wikipedia. Available at: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Airfoil&oldid=1182664276> (Accessed: 3 November 2023).
- [9] Cahyo, B.D., Junipitoyo, B. and Ilham Febrianto, Z. (2022) 'Pengaruh Sudut Tekuk Winglet Terhadap Koefisien Lift Pada NACA 1410', Jurnal Penelitian, 6(4), pp. 256–269. Available at: <https://doi.org/10.46491/jp.v6i4.812>.
- [10] 'Pradhika Agung Juniawanto.pdf' (no date).
- [11] Priambada, D., Sulisetyono, A. and Hakim, J.A.R. (2012) 'Analisis Desain Layar 3D Menggunakan Pengujian Pada Wind Tunnel', 1.
- [12] Hidayat, K. et al. (2019) 'Analisis Pemilihan Airfoil Pesawat Terbang Tanpa Awak LSU-05 NG Dengan Menggunakan Analytical Hierarchy Process (Airfoil Selection Analysis of LSU-05 Ng Unmanned Aerial Vehicle Using Analytical Hierarchy Process)'.
- [13] Suranto Putro, S.H. et al. (2021) 'Comparative Study Aerodynamics Effects of Wingtip Fence Winglet on Fix Wing Airfoil Eppler E562', Warta Ardhia, 45(2), p. 67. Available at: <https://doi.org/10.25104/wa.v45i2.356.67-76>.
- [14] 'All You Need, All You Can Read: Teori Dasar Koefisien Lift', All You Need, All You Can Read. Available at: <http://tmuh11.blogspot.com/2015/03/teori-dasar-koefisien-lift.html> (Accessed: 3 November 2023).
- [15] Studi Eksperimen Analisis Penggunaan Forward Wingtip Fences Cant Angle 75 Dan Rearward Wingtip Fences Cant Angle 75 O Pada Wing Airfoil Eppler E562 ('Pradhika Agung Juniawanto.pdf', no date)