



Analisis Aerodinamika Sayap Pesawat F-15 Ex Sebagai *Air Carrier*/ Pembawa Roket Peluncur Satelit Nano Dengan Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamic (Cfd)*

M Aerodynamic Analysis Of The F-15 Ex Aircraft Wing As An Air Carrier/Nano Satellite Launch Rocket Carrier Using The Computational Fluid Dynamic (Cfd) Method

Nanda Ghifari Septio Aji^{1*}, Wahyu Kusumahardi, S. T., M. Sc.²

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

Abstract— *This study aims to determine the aerodynamic characteristics of the F-15 Ex fighter jet wing before and after the installation of a nanosatellite launch rocket using the Computational Fluid Dynamic (CFD) method. The simulation was carried out using ANSYS software to analyze lift, drag, and aerodynamic coefficients (Cl, Cd, and L/D) at various angles of attack. The results show that a greater angle of attack produces higher lift, but also increases drag. At an angle of attack of 16°, the drag force reached 1842.356 N. These findings indicate that the F-15 Ex wing design with an attached rocket has potential as a nanosatellite launch carrier, provided aerodynamic efficiency and flight stability are maintained..*

Keywords— *F-15 Ex Wing, Computational Fluid Dynamic (CFD), Ansys Software.*

Abstrak— *Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aerodinamika dari sayap pesawat tempur F-15 Ex baik sebelum maupun sesudah dipasang roket bermuatan nanosatellite dengan menggunakan metode Computational Fluid Dynamic (CFD). Simulasi dilakukan menggunakan software ANSYS untuk menganalisis gaya angkat (lift), gaya hambat (drag), serta koefisien aerodinamika (Cl, Cd, dan L/D) dalam berbagai variasi sudut serang (Angle of Attack). Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin besar sudut serang maka gaya angkat yang dihasilkan juga semakin besar, namun disertai peningkatan gaya hambat. Sudut serang 16° menghasilkan gaya hambat tertinggi yaitu 1842,356 N. Hasil ini menunjukkan bahwa desain sayap F-15 Ex dengan tambahan roket memiliki potensi untuk digunakan sebagai pembawa roket peluncur satelit nano dengan mempertimbangkan efisiensi aerodinamika dan stabilitas terbang.*

Kata Kunci— *Sayap F-15 Ex, Computational Fluid Dynamic (CFD), Software Ansys.*

I. PENDAHULUAN

Satelit nano merupakan inovasi penting dalam penelitian dan eksplorasi antariksa. Dengan massa yang ringan dan biaya peluncuran yang rendah, satelit nano memungkinkan pelaksanaan misi luar angkasa yang efisien. Salah satu pendekatan peluncuran modern

*Nanda Ghifari Septio Aji
E-mail: ghifariseptioaji@gmail.com

adalah dengan menggunakan pesawat tempur sebagai pembawa roket peluncur (air carrier). Dalam konteks ini, pesawat F-15 Ex memiliki potensi untuk menjadi wahana pembawa roket peluncur satelit nano berkat kemampuan manuver dan daya jelajahnya yang tinggi. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik aerodinamika sayap F-15 Ex menggunakan metode CFD melalui simulasi numerik pada software ANSYS.

II. LANDASAN TEORI

A. Aerodinamika.

Aerodinamika adalah ilmu yang mempelajari interaksi antara udara dengan benda yang bergerak di dalamnya. Dalam konteks ini, gaya-gaya utama yang bekerja pada pesawat meliputi gaya angkat (Lift), gaya hambat (Drag), gaya dorong (Thrust), dan gaya berat (Weight). Selain itu, parameter penting seperti koefisien lift (Cl), koefisien drag (Cd), serta rasio L/D menjadi indikator utama dalam menentukan efisiensi aerodinamika suatu desain sayap.

B. Airfoil

Airfoil adalah bentuk dari suatu sayap pesawat yang dapat menghasilkan gaya angkat (*lift*) atau efek aerodinamika ketika melewati suatu aliran udara. *Airfoil* adalah bentuk potongan melintang sayap pesawat yang dihasilkan dari perpotongan sayap dengan bidang tegak lurus terhadap arah penerbangan. Jadi, *airfoil* menggambarkan bentuk sayap pesawat dalam dimensi dua. Setiap bagian dari sayap yang dipotong oleh pesawat paralel dengan bidang xz disebut *airfoil* (Anderson, 2013). Berikut adalah bagian-bagian dari *airfoil*.

C. Rocket Pegasus XL.

Rocket Pegasus XL dikembangkan sebagai evolusi desain kinerja yang ditingkatkan dari roket Pegasus sebelumnya untuk mendukung persyaratan kinerja NASA dan USAF. Roket ini pada awalnya dikembangkan oleh Northrop Grumman Innovation Systems (NGIS) sebagai kendaraan peluncuran luar angkasa pertama yang dikembangkan secara komersial untuk mengirimkan satelit ke orbit bumi rendah. Pegasus, yang dikembangkan oleh Orbital Sciences, telah menempatkan lebih dari 78 satelit di orbit dengan lebih dari 40 peluncuran sejak 1990. (Muir, n.d.)



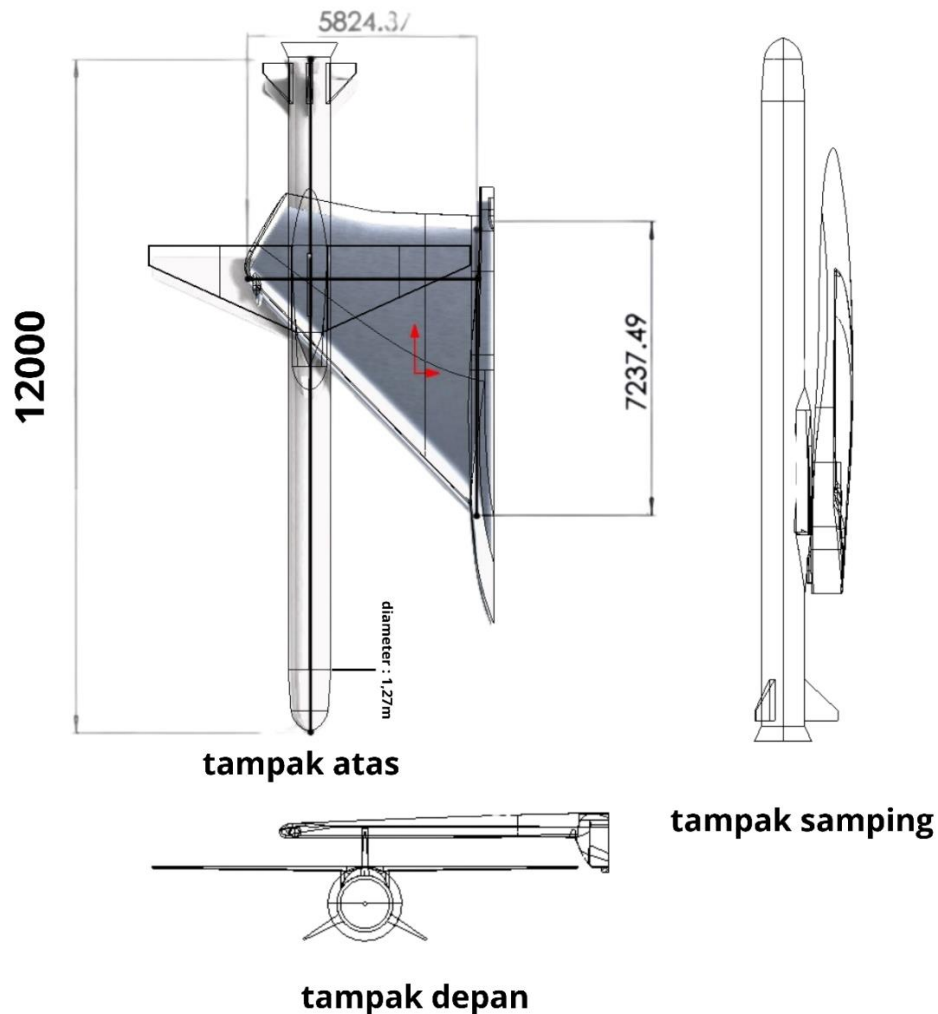
Gambar 1. Peluncuran Rocket Pegasus

D. Ansys.

ANSYS merupakan perangkat lunak analisis berbasis metode elemen hingga yang mampu memodelkan berbagai fenomena mekanika, baik statis maupun dinamis. Aplikasi ini digunakan untuk menganalisis struktur linier dan nonlinier, perpindahan panas, aliran fluida, serta fenomena akustik dan elektromagnetik (Schiehlen & Eberhard, 2014). ANSYS awalnya dikembangkan sebagai produk komersial dengan nama ANSYS Mechanical dan ANSYS Multiphysics, dua platform utama untuk analisis elemen hingga berbantuan komputer yang dikembangkan oleh ANSYS Inc. Meskipun perusahaan tersebut memproduksi berbagai perangkat lunak rekayasa berbantuan komputer, ANSYS lebih dikenal melalui kedua produk tersebut. Untuk keperluan akademik, ANSYS Inc. menyediakan versi nonkomersial seperti ANSYS University Advanced dan ANSYS University Research. Secara umum, baik versi komersial maupun akademik mencakup modul pre-processing (pembuatan geometri dan meshing), solver, serta post-processing dalam satu antarmuka terpadu (Graphical User Interface).

E. Teori Solidworks

SolidWorks adalah *software* desain yang digunakan untuk memodelkan dan menciptakan gambar dalam 2D dan gambar 3D dalam tiap *part* (bagian) ataupun *assembly* (rakitan) (Kristanto, 2023). *SOLIDWORKS* adalah salah satu *CAD software* yang dibuat oleh *DASSAULT SYSTEMES* digunakan untuk merancang part permesinan atau susunan part permesinan yang berupa *assembling* dengan tampilan 3D untuk merepresentasikan *part* sebelum *real part* nya dibuat atau tampilan 2D (drawing) untuk gambar proses permesinan (Kristanto, 2023). *Solidworks* fokus pada pemodelan 3D untuk bidang teknik mesin, namun juga dapat digunakan untuk bidang lain seperti arsitektur atau teknik khusus. *Software* ini bisa dijadikan platform untuk mengembangkan berbagai aplikasi 3D dan untuk mengerjakan tugas-tugas tertentu dengan lebih spesifik.



Gambar 2. Model Solidworks Sayap F-15 Ex dan Rocket Pegasus.

Rocket Pegasus memiliki ruang muatan yang cukup untuk membawa *nanosatellite* (*CubeSat*) berukuran hingga 1U ($10 \times 10 \times 10$ cm). Apabila dilakukan modifikasi desain, kapasitas muatan tersebut masih dapat ditingkatkan untuk menampung *CubeSat* dengan ukuran lebih besar, selama tetap memenuhi batas keseimbangan dan mempertahankan efisiensi aerodinamika pesawat pembawa. Roket Pegasus XL memiliki sayap pada bagian tubuhnya serta dalam proses peluncurannya terdiri dari 3 tahap atau stage, dengan beban total 23.130 kg (51.000 lbm) dengan panjang 16,9 m (55,4 ft) diameter 1,27 m (50 inci). Proses pengujian peluncuran udara yang telah dilakukan adalah dengan cara *Horizontal Air Launch* (HAL) yang terdiri dari menempelkan roket (dan muatan di dalamnya) ke bagian bawah (B-HAL) atau bagian atas pesawat (T-HAL), membawanya ke ketinggian, dan meluncurkannya dengan pesawat pembawa kurang lebih horizontal (Tabrizi, 2015).

TABEL I
PERBANDINGAN DATA HASIL SIMULASI MENGGUNAKAN ROCKET PEGASUS.

295 m/s	AoA (°)	L	D	C _L	C _D	L/D
	0	129,848	343,697	0,002	0,006	0,378
	2	469,3064	318,9937	0,008	0,006	1,471
	4	910,9651	407,561	0,016	0,007	2,235
	6	1350,562	543,3651	0,024	0,01	2,486
	8	1823,965	739,767	0,032	0,013	2,466
	10	2210,651	972,2782	0,039	0,017	2,274
	12	2509,23	1238,862	0,044	0,022	2,025
	14	2740,39	1538,316	0,048	0,027	1,781
	16	2927,402	1842,356	0,052	0,033	1,589

TABEL II
PERBANDINGAN DATA HASIL SIMULASI TANPA ROCKET PEGASUS.

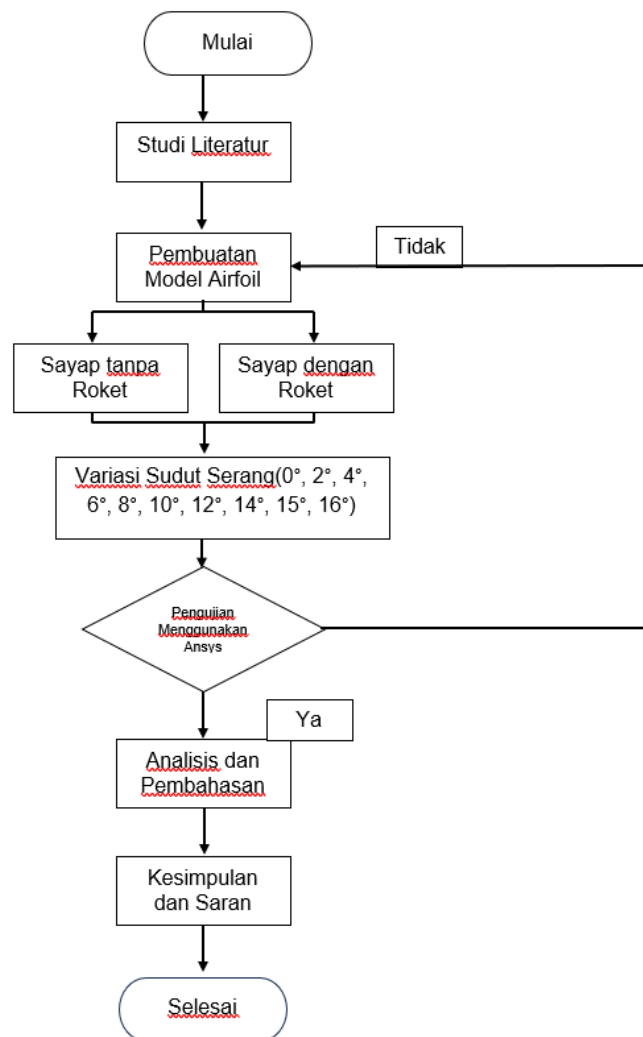
295 m/s	AoA (°)	L	D	C _L	C _D	L/D
	0	83,388	68,832	0,001475	0,001217	1,211
	2	215,255	69,983	0,003807	0,001238	3,076
	4	525,762	108,187	0,009298	0,001913	4,860
	6	849,970	184,333	0,015032	0,003260	4,611
	8	1.173,603	298,465	0,020755	0,005278	3,932
	10	1.489,826	451,130	0,026348	0,007978	3,302
	12	1.786,748	638,094	0,031599	0,011285	2,800
	14	2.074,150	869,995	0,036682	0,015386	2,384
	16	2.312,792	1.129,606	0,040902	0,019977	2,047

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*. Penelitian dilakukan dengan pendekatan simulasi numerik menggunakan *software ANSYS Student 2024 R2*. Model geometri sayap F-15 Ex dibuat dengan bantuan SolidWorks berdasarkan profil NACA, kemudian diimpor ke ANSYS untuk dilakukan analisis CFD. Variasi sudut serang (Angle of Attack) yang digunakan adalah 0°, 2°, 4°, 6°, 8°, 10°, 12°, 14°, 15°, dan 16°. Parameter yang diamati meliputi gaya angkat, gaya hambat, dan koefisien aerodinamika pada setiap variasi sudut serang:

1. Tahap awal dilakukan dengan membuat model tiga dimensi sayap pesawat F-15 Ex menggunakan perangkat lunak *Solidworks*. Profil sayap dibentuk berdasarkan data NACA airfoil, kemudian ditetapkan material pada setiap komponen geometri sesuai karakteristik aerodinamiknya. Model yang telah selesai selanjutnya diekspor ke perangkat lunak *ANSYS CFD* untuk keperluan simulasi.
2. Parameter simulasi yang digunakan meliputi kecepatan aliran udara, sudut serang (*angle of attack*), dan densitas fluida. Model kemudian dianalisis di dalam *ANSYS CFD* untuk memperoleh distribusi tekanan, gaya angkat (*lift*), gaya hambat (*drag*), serta koefisien aerodinamika (*Cl*, *Cd*, dan *L/D*).
3. Data hasil simulasi yang diperoleh dalam bentuk numerik dan grafik dikaji lebih lanjut dengan membandingkan hasil perhitungan terhadap teori aerodinamika yang berlaku. Hasil analisis tersebut digunakan untuk menarik kesimpulan mengenai kinerja aerodinamik sayap F-15 Ex dalam membawa roket peluncur satelit nano.
4. Hasil simulasi dan pengujian didapat hasil sebagai berikut :
 - a. Hasil simulasi menunjukkan adanya korelasi antara peningkatan sudut serang (*Angle of Attack*) dengan perubahan nilai gaya angkat dan gaya hambat. Kenaikan sudut serang menyebabkan peningkatan gaya angkat yang diikuti oleh peningkatan signifikan pada gaya hambat. Pada sudut serang 16° , tercatat gaya hambat maksimum sebesar **1842,356 N**. Visualisasi kontur kecepatan dan tekanan mengindikasikan bahwa penambahan roket pada sayap menimbulkan aliran turbulen di sekitar permukaan bawah sayap, yang berdampak pada peningkatan koefisien drag. Meskipun demikian, konfigurasi tersebut tetap mempertahankan stabilitas aerodinamika dan layak digunakan sebagai sistem pembawa roket peluncur satelit nano pada ketinggian tertentu.
 - b. Dari hasil simulasi dengan variasi sudut serang pada sayap F-15 Ex, diperoleh bahwa nilai koefisien lift (*Cl*) tertinggi dicapai pada konfigurasi sayap dengan *Rocket Pegasus* pada *Angle of Attack* sebesar 16° , yaitu sebesar **0,052**. Pada kondisi yang sama, nilai koefisien drag (*Cd*) tertinggi juga ditemukan pada konfigurasi dengan *Rocket Pegasus*, dengan nilai sebesar **0,033**.
 - c. Berdasarkan hasil simulasi pada kecepatan aliran udara **295 m/s**, konfigurasi sayap tanpa *Rocket Pegasus* menunjukkan efisiensi aerodinamika tertinggi pada *Angle of Attack* sebesar 4° , dengan nilai lift-to-drag ratio (*L/D*) mencapai **4,86**. Sebaliknya, efisiensi aerodinamika terendah diperoleh pada sudut serang 0° dengan penambahan *Rocket Pegasus* pada bagian depan sayap, di mana nilai *L/D ratio* tercatat sebesar **0,378**.

Diagram alir penyusun penelitian ini digambarkan pada gambar dibawah ini



IV. HASIL/IMPLEMENTASI MODEL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian

Proses pengujian dilakukan untuk memperoleh data karakteristik aerodinamika sayap pesawat *F-15 Ex* dengan dan tanpa penggunaan *Rocket Pegasus*. Pengujian ini dilaksanakan secara numerik menggunakan perangkat lunak *ANSYS Fluent (CFD)* dengan memanfaatkan model geometri yang telah dibuat pada *SolidWorks*. Parameter utama yang diamati meliputi gaya angkat (*lift*), gaya hambat (*drag*), serta koefisien aerodinamika (*Cl*, *Cd*, dan *L/D ratio*) pada berbagai variasi *Angle of Attack (AoA)*, yaitu **0°, 2°, 4°, 6°, 8°, 10°, 12°, 14°, dan 16°**. Simulasi dilakukan pada kecepatan aliran udara **295 m/s** dengan kondisi batas (*boundary condition*) yang disesuaikan untuk menggambarkan keadaan terbang pesawat pada ketinggian operasional tertentu.

Hasil pengujian kemudian divisualisasikan dalam bentuk kontur tekanan, distribusi kecepatan, dan grafik hubungan antara *Angle of Attack* dengan nilai koefisien aerodinamika untuk memudahkan analisis performa sayap. Dari hasil pengujian ini diperoleh gambaran menyeluruh mengenai pengaruh variasi sudut serang terhadap efisiensi aerodinamika, baik pada konfigurasi dengan maupun tanpa *Rocket Pegasus*.

B. Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis aerodinamika pada sayap pesawat **F-15 Ex**, diketahui bahwa peningkatan *Angle of Attack* secara konsisten menyebabkan kenaikan nilai **koefisien lift (Cl)** dan **koefisien drag (Cd)**. Nilai **Cl** tertinggi diperoleh pada sudut serang **16°** dengan penggunaan **Rocket Pegasus**, yaitu sebesar **0,052**, sedangkan konfigurasi tanpa roket menghasilkan **Cl** maksimum sebesar **0,0409**. Hal serupa terjadi pada **Cd**, di mana konfigurasi dengan **Rocket Pegasus** menunjukkan nilai tertinggi **0,033**, lebih besar dibandingkan sayap tanpa roket sebesar **0,0199**. Hasil ini menegaskan bahwa meskipun penambahan **Rocket Pegasus** meningkatkan hambatan udara (*drag*), komponen tersebut juga mampu meningkatkan gaya angkat (*lift*) secara signifikan tanpa menyebabkan kondisi *stall* hingga sudut serang 16°, sehingga konfigurasi tersebut tetap menunjukkan efisiensi aerodinamika yang baik dan berpotensi optimal sebagai sistem pembawa roket peluncur satelit nano.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)* pada perangkat lunak *ANSYS*, dapat disimpulkan bahwa variasi *sudut serang (Angle of Attack)* berpengaruh signifikan terhadap gaya angkat (*lift*) dan gaya hambat (*drag*) pada sayap pesawat *F-15 Ex*. Peningkatan sudut serang menyebabkan kenaikan kedua gaya tersebut secara proporsional. Penambahan roket pada konfigurasi sayap mengakibatkan peningkatan drag, namun stabilitas aerodinamikanya tetap terjaga. Secara keseluruhan, desain ini menunjukkan potensi untuk diaplikasikan sebagai sistem pembawa roket peluncur satelit nano, dengan kemungkinan peningkatan kinerja melalui optimalisasi bentuk dan posisi roket.

REFERENSI

- [1] Anderson, J. D. (2013). *Fundamental of Aerodynamics*. McGraw-Hill Education
- [2] Leandis, L., Anwar, K., & Hatib, R. (2022). Distribusi Tekanan Pada Airfoil NACA 23012 Dengan Penambahan Vortex Generator. *Foristek*, 12(1), 58–64.
- [3] Mulyadi, M. (2010). Analisis Aerodinamika Pada Sayap Pesawat Terbang Dengan Menggunakan Software Berbasis CFD. Universitas Gunadarma.
- [4] Sarigul-klijn, M. M., & Sarigul-klijn, N. (2008). Selection of a Carrier Aircraft and a Launch Method for Air Launching Space Vehicles. *AIAA Journal*.
- [5] Wibowo, H. B. (2022). Teknologi Kunci Wahana Peluncur Nano Satelit. *TNI Angkatan Udara Journal*, 1(3), 13–20.