

**PERHITUNGAN PENGHEMATAN BAHAN BAKAR PESAWAT DALAM
MENGATASI *DRAG* TERINDUKSI BERDASARKAN JENIS *WINGLET*
MENGUNAKAN SIMULASI NUMERIK CFD**



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

ALYA NUR SUGANDI
NIM: 41323110056

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA 2025

LAPORAN TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN PENGHEMATAN BAHAN BAKAR PESAWAT DALAM
MENGATASI *DRAG* TERINDUKSI BERDASARKAN JENIS *WINGLET*
MENGUNAKAN SIMULASI NUMERIK CFD



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Disusun oleh:

Nama : Alya Nur Sugandi
NIM : 41323110056
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)
AGUSTUS 2025

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Alya Nur Sugandi
NIM : 41323110056
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Perhitungan Penghematan Bahan Bakar Pesawat dalam Mengatasi *Drag* Terinduksi Berdasarkan Jenis *Winglet* Menggunakan Simulasi Numerik CFD

Telah berhasil dipertahankan pada sidang di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata I pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:

Pembimbing : Alief Avicenna Luthfie, ST, M.Eng
NIDN : 0314109101

Ketua Penguji : Nanang Ruhyat, Dr., MT.
NIDN : 0323027301

Penguji 1 : Andi Firdaus Sudarma, ST, M.Eng
NIDN : 0327118104

Penguji 2 : Fajar Anggara, ST, M.Eng
NIDN : 0320089101

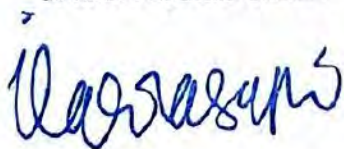


UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 20 Agustus 2025

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.
0307037202

Ketua Program Studi



Dr. Eng. Imam Hidayat, S.T., M.T.
0005087502

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Alya Nur Sugandi
NIM : 41323110056
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul Tugas Akhir : Perhitungan Penghematan Bahan Bakar Pesawat dalam Mengatasi *Drag* Terinduksi Berdasarkan Jenis *Winglet* Menggunakan Simulasi Numerik CFD

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan Tugas Akhir dengan sesungguhnya dan hasil penulisan Laporan Tugas Akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

Jakarta, 15 Agustus 2025



Alya Nur Sugandi

PENGHARGAAN

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, karunia, dan kemudahan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Dalam proses penyusunan laporan ini, penulis mendapatkan banyak dukungan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak yang sangat berarti.

Dengan penuh rasa hormat dan terima kasih, penulis menyampaikan penghargaan kepada:

1. Dr. Eng. Imam Hidayat, S.T., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin, atas dukungan dan fasilitas yang diberikan selama proses perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir.
2. Alief Avicenna Luthfie, S.T., M.Eng, selaku dosen pembimbing, atas segala bimbingan, arahan, dan motivasi yang sangat membantu selama proses penyusunan tugas akhir ini.
3. Orangtua dan keluarga tercinta, atas segala doa, kasih sayang, dan dukungan moral maupun materiil yang senantiasa menguatkan penulis dalam setiap langkah.
4. Sahabat-sahabat penulis atas kehadiran, candaan, dan dukungan yang membuat proses ini terasa lebih ringan dan penuh makna.
5. Rekan-rekan seperjuangan di Jurusan Teknik Mesin, atas kebersamaan, bantuan, dan semangat yang telah menjadi bagian penting dalam perjalanan studi penulis.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan menjadi kontribusi positif dalam bidang keilmuan Teknik Mesin.

ABSTRAK

Winglet merupakan salah satu inovasi aerodinamika yang dirancang untuk mengurangi *drag* terinduksi yang terjadi pada ujung sayap pesawat, khususnya saat fase jelajah. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh penggunaan beberapa jenis *winglet*, *raked winglet*, *sharklet*, dan *split winglet*, terhadap pengurangan *drag* terinduksi serta konsumsi bahan bakar pesawat. Simulasi numerik dilakukan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) di ANSYS dengan model turbulensi SST k-omega pada fase jelajah, menggunakan model sayap yang telah diskalakan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa seluruh konfigurasi *winglet* mampu menurunkan *drag* terinduksi secara signifikan dibandingkan sayap tanpa *winglet*, dengan kinerja tertinggi ditunjukkan oleh *split winglet*. Berdasarkan perhitungan konsumsi bahan bakar dengan pendekatan persamaan *Breguet Range*, *split winglet* menghasilkan penurunan bahan bakar sebesar 19,58%, disusul oleh *sharklet* sebesar 17,96%, dan *raked winglet* sebesar 10,15%. Dengan demikian, *split winglet* dinilai paling baik dalam meningkatkan kinerja aerodinamika dan memberikan kontribusi terbesar dalam penghematan bahan bakar selama fase jelajah.

Kata Kunci: *Winglet*, *Drag* Terinduksi, Konsumsi Bahan Bakar, Simulasi CFD, *Breguet Range*



CALCULATION OF AIRCRAFT FUEL SAVINGS IN REDUCING INDUCED DRAG BASED ON WINGLET TYPES USING CFD NUMERICAL SIMULATION

ABSTRACT

Winglets are one of the aerodynamic innovations designed to reduce induced drag that occurs at the wingtips of aircraft, particularly during the cruise phase. This study was conducted to analyze the effect of using several types of winglets—raked winglet, sharklet, and split winglet—on the reduction of induced drag and aircraft fuel consumption. Numerical simulations were carried out using the Computational Fluid Dynamics (CFD) method in ANSYS with the SST k-omega turbulence model under cruise flight, using a scaled-down wing model. The simulation results show that all winglet configurations significantly reduce induced drag compared to a wing without a winglet, with the highest performance achieved by the split winglet. Based on fuel consumption calculations using a modified Breguet Range equation, the split winglet resulted in a fuel saving of 19,58%, followed by the sharklet with 17,96%, and the raked winglet with 10,15%. Therefore, the split winglet is considered the most optimal in improving aerodynamic performance and contributing the most to fuel savings during the cruise phase.

Keywords: *Winglet, Induced Drag, Fuel Consumption, CFD Simulation, Breguet Range*



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG MASALAH	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	3
1.3. TUJUAN	3
1.4. MANFAAT	3
1.5. RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH	3
1.5.1. Ruang Lingkup	3
1.5.2. Batasan Masalah	4
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. PENELITIAN TERDAHULU	6
2.2. SPESIFIKASI EMBRAER 135BJ	8
2.3. <i>DRAG</i>	10
2.3.1. <i>Drag</i> Terinduksi	11
2.3. <i>WINGLET</i>	17
2.3.1. <i>Sharklet</i>	17
2.3.2. <i>Raked</i>	18
2.3.3. <i>Split</i>	18
2.4. HUBUNGAN <i>DRAG</i> , <i>LIFT</i> , DAN <i>THRUST SPECIFIC FUEL CONSUMPTION</i> (TSFC) BERDASARKAN PERSAMAAN <i>BREGUET RANGE</i>	19
2.5. SIMULASI NUMERIK <i>COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC</i> (CFD)	22
2.5.1. Persamaan Pengatur Aliran	24
2.5.2. Prosedur penyelesaian dalam simulasi numerik CFD	26
2.5.3. <i>Grid</i>	27
2.5.4. <i>Boundary conditions</i>	30
2.5.5. Dampak Pemilihan <i>Boundary condition</i> terhadap Simulasi	30
2.6. DIMENSIONAL SIMILARITY	31

BAB III	METODOLOGI	32
3.1.	DIAGRAM ALIR	32
3.1.1.	Studi Literatur	33
3.1.2.	Penentuan Parameter Desain	33
3.1.3.	Model 3D Sayap dan <i>Winglet</i>	37
3.1.4.	Simulasi Numerik CFD	39
3.1.5.	Perhitungan <i>Drag</i> Terinduksi	46
3.1.6.	Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Per Kilometer	48
3.2.	ALAT DAN BAHAN	50
3.2.1.	Alat Penelitian	50
3.2.2.	Bahan	50
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1.	PENGURANGAN <i>DRAG TERINDUKSI</i> PADA BEBERAPA JENIS <i>WINGLET</i>	51
4.1.1.	Perbandingan Parameter Aerodinamika Setiap Konfigurasi Sayap	51
4.1.2.	Karakteristik Aliran Udara	52
4.2.	PENGURANGAN KONSUMSI BAHAN BAKAR AKIBAT <i>INDUCED DRAG</i> PADA BEBERAPA JENIS <i>WINGLET</i>	54
BAB V	PENUTUP	58
5.1.	KESIMPULAN	58
5.2.	SARAN	59
DAFTAR PUSTAKA		60
LAMPIRAN		62
LAMPIRAN A.	<i>GEOMETRY</i> SAYAP EMBRAER 135BJ	62
LAMPIRAN B.	TABEL ISA	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Exterior</i> Pesawat Embraer 135BJ	8
Gambar 2.2. Hubungan Gaya-gaya yang Bekerja pada Pesawat	10
Gambar 2.3. Proses Terbentuknya Pusaran Udara	11
Gambar 2.4. Kurva <i>Drag</i>	14
Gambar 2.5. Perbedaan <i>Downwash</i> pada AOA Tinggi (atas) dan pada AOA yang Lebih Rendah (bawah)	15
Gambar 2.6. <i>Sharklet</i> pada Pesawat Airbus A320	17
Gambar 2.7. <i>Raked Wingtip</i> pada Pesawat Boeing 787	18
Gambar 2.8. <i>Split Winglet</i> pada Pesawat Boeing 737	19
Gambar 2.9. Diagram Alir Prosedur Penyelesaian Simulasi Numerik CFD	27
Gambar 2.10. Contoh <i>Hybrid</i> Grid 2D di dekat Permukaan Lengkung	28
Gambar 2.11. <i>Skewness</i> pada Grid 2D	29
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 3.2. <i>Airfoil Supercritical</i> SC(2)-0412	34
Gambar 3.3. <i>Airfoil</i> NACA 0012	35
Gambar 3.4. Sayap Tanpa <i>Winglet</i> (<i>Baseline</i>)	37
Gambar 3.5. Sayap dengan <i>Winglet</i> Tipe <i>Sharklet</i>	38
Gambar 3.6. Sayap dengan <i>Winglet</i> Tipe <i>Split</i>	38
Gambar 3.7. Sayap dengan <i>Winglet</i> Tipe <i>Raked</i>	38
Gambar 3.8. Diagram Alir Simulasi Numerik CFD	39
Gambar 3.9. Dimensi Domain Komputasi	40
Gambar 3.10. (a) <i>Mesh</i> pada Sayap Tanpa <i>Winglet</i> (b) <i>Mesh</i> pada Sayap dengan <i>Sharklet</i> (c) <i>Mesh</i> pada Sayap dengan <i>Raked Wingtip</i> (d) <i>Mesh</i> pada Sayap dengan <i>Split Winglet</i>	41
Gambar 3.11. Penamaan Permukaan Domain Komputasi	42
Gambar 3.12. (a) Nilai <i>skewness</i> untuk <i>Mesh</i> Sayap tanpa <i>Winglet</i> (b) Nilai <i>skewness</i> untuk <i>Mesh</i> Sayap dengan <i>Sharklet</i> , (c) Nilai untuk <i>Mesh</i> pada Sayap dengan <i>Raked Wingtip</i> (d) Nilai <i>Skewness</i> untuk <i>Mesh</i> Sayap dengan <i>Split Winglet</i>	43
Gambar 4.1. Kontur Kecepatan dan Tekanan pada Konfigurasi Sayap Tanpa <i>Winglet</i>	52
Gambar 4.2. Kontur Kecepatan dan Tekanan pada Konfigurasi <i>Sharklet</i>	52
Gambar 4.3. Kontur Kecepatan dan Tekanan pada Konfigurasi <i>Raked Winglet</i>	53
Gambar 4.4. Kontur Kecepatan dan Tekanan pada Konfigurasi <i>Split Winglet</i>	53
Gambar 4.5. (a) Grafik L/D_i (b) Grafik Konsumsi Bahan Bakar [kg/km]	55
Gambar 4.6. (a) Grafik CD_i (b) Grafik Konsumsi Bahan Bakar [kg/km]	56
Gambar 4.7. (a) Grafik D_i (b) Grafik Konsumsi Bahan Bakar [kg/km]	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Spesifikasi Teknis Pesawat Embraer 135BJ	9
Tabel 3.1. Parameter aliran dan geometri pada ketinggian 35000 kaki	36
Tabel 3.2. Data <i>Mesh</i> dan Hasil Simulasi Koefisien <i>Lift</i> dan <i>Drag</i> pada Berbagai Tingkat <i>Mesh</i> untuk Berbagai Konfigurasi Sayap	44
Tabel 3.3. Rincian Setup	45
Tabel 3.4. Parameter yang Digunakan pada Perhitungan <i>CDi</i>	47
Tabel 3.5. Perhitungan <i>CDi</i> , <i>Di</i> , dan <i>L</i> Konfigurasi Sayap Tanpa <i>Winglet</i>	47
Tabel 3.6. Perhitungan <i>CDi</i> , <i>Di</i> , dan <i>L</i> Setiap Konfigurasi Sayap	48
Tabel 3.7. Nilai parameter yang digunakan pada perhitungan <i>R</i>	49
Tabel 3.8. Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Per-Kilometer pada Konfigurasi Sayap tanpa <i>winglet</i>	49
Tabel 3.9. Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Per Kilometer setiap Konfigurasi Sayap	50
Tabel 4.1. Nilai Parameter Aerodinamika untuk Setiap Konfigurasi Sayap	51
Tabel 4. 2. Hasil Perhitungan Persentase Pengurangan Bahan Bakar pada Setiap Konfigurasi Sayap	55

