

**EVALUASI NUMERIK AERODINAMIKA *RAKED WINGLET* PESAWAT
B777-300ER DENGAN VARIASI SUDUT SERANG DALAM RANGKA
MENGURANGI *WINGTIP VORTICES***



ADI SETIYAWAN
NIM: 41319120003

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA 2023

LAPORAN TUGAS AKHIR

EVALUASI NUMERIK AERODINAMIKA *RAKED WINGLET* PESAWAT
B777-300ER DENGAN VARIASI SUDUT SERANG DALAM RANGKA
MENGURANGI *WINGTIP VORTICES*



Disusun oleh:

Nama : Adi Setiyawan
NIM : 41319120003
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)
JUNI 2023

HALAMAN PENGESAHAN

EVALUASI NUMERIK AERODINAMIKA *RAKED WINGLET* PESAWAT B777-300ER DENGAN VARIASI SUDUT SERANG DALAM RANGKA MENGURANGI *WINGTIP VORTICES*

Disusun oleh:
Nama : Adi Setiyawan
NIM : 41319120003
Program Studi : Teknik Mesin

Telah diperiksa dan disetujui pada tanggal 10 Juni 2023


Telah dipertahankan di depan penguji,

Pembimbing TA

Penguji Sidang I




(Alief Avicenna Luthfie, S.T., M.Eng.)
NIP. 216910097




(Dr. Eng. Deni Shidqi Khaerudini)
NIK/NIP. 216890126

Penguji Sidang II

Penguji Sidang III



(Andi Firdaus Sudarma, S.T., M.Eng.)
NIK/NIP: 217810112




(Gian Vilany Golwa, S.T., M.Si)
NIK/NIP: 1975801149


Mengetahui,

Kaprodi Teknik Mesin

Koordinator TA



(Dr. Eng. Imam Hidayat, S.T., M.T.)
NIP. 112750348



(Gilang Awan Yudhistira, ST, MT)
NIP. 221900211

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Adi Setiyawan
NIM : 41319120003
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul Tugas Akhir : Evaluasi Numerik Aerodinamika *Raked Winglet* Pesawat B777-300ER dengan Variasi Sudut Serang dalam Rangka Mengurangi *Wingtip Vortices*

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, 10 Juni 2023



Adi Setiyawan

PENGHARGAAN

Puji syukur selalu dan tak lupa penulis panjatkan kepada kehadiran Tuhan yang Maha Kuasa, Allah SWT, karena atas nikmat, ridho, dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan tepat waktu dan dapat menyusun laporan Tugas Akhir. Penyusunan laporan Tugas Akhir merupakan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan seluruh rangkaian kegiatan Tugas Akhir dan sebagai salah satu syarat untuk menempuh ujian jenjang Sarjana Strata Satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Dalam proses melaksanakan kegiatan dan penyusunan laporan Tugas Akhir, penulis menyadari begitu banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara moral maupun langsung. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih sebesar – besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Andi Adriansyah, M. Eng. selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Ibu Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, S.TP, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
3. Bapak Dr. Imam Hidayat, ST, MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
4. Bapak Gilang Awan Yudhistira, ST, MT. selaku Sekertaris dan Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
5. Bapak Alief Avicenna Luthfie, S.T. M.Eng. sebagai dosen pembimbing penulis yang telah memberikan pengarahan dan nasehat dan motivasi kepada penulis.
6. Kedua orang tua, Ayah dan Ibu yang telah mendukung dan berdoa demi kelancaran diperkuliahan.
7. Istri dan anak-anak tercinta yang selalu berdoa, mendukung dan menyemangati hingga akhir.
8. Teman – teman kerja di PT. GMF AeroAsia yang selalu membantu dalam proses penelitian ini.
9. Teman-teman jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana angkatan 2019 yang selama ini memberikan bantuan dan dukungan.

Masih banyak lagi pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak tersebut.

Jakarta, 10 Juni 2023

(Adi Setiyawan)



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR SIMBOL	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	2
1.3. TUJUAN	3
1.4. MANFAAT	3
1.5. RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH	3
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. PENELITIAN TERDAHULU	5
2.1.1. Penelitian Terdahulu	5
2.1.2. Penelitian Terdahulu Pengujian <i>Winglet</i> Menggunakan Terowongan Angin	12
2.2. AERODINAMIKA PADA PESAWAT TERBANG	13
2.2.1. Aliran Udara Pada <i>Airfoil</i>	13
2.2.2. Gaya-Gaya pada Pesawat Terbang	16
2.2.3. Rasio Gaya Angkat terhadap Gaya Hambat (L/D)	20
2.2.4. <i>Aspect Ratio</i> terhadap <i>Induced Drag</i>	20

2.3. <i>ANGLE OF ATTACK</i> (SUDUT SERANG) PADA SAYAP PESAWAT	21
2.4. HUBUNGAN <i>ANGLE OF ATTACK</i> DENGAN <i>WINGTIP VORTICES</i>	22
2.5. <i>WINGLET</i>	23
2.5.1. <i>Blended Winglet</i>	24
2.5.2. <i>Wingtip Fences</i>	25
2.5.3. <i>Raked Winglet</i>	25
2.5.4. Cara Kerja <i>Winglet</i> terhadap Kinerja Pesawat	26
2.6. <i>COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS</i> (CFD)	28
2.6.1. Keuntungan CFD	29
2.6.2. Tahap Simulasi CFD	29
2.6.3. <i>Governing Equations</i> dan <i>Boundary Layer</i>	30
BAB III METODOLOGI	34
3.1. DIAGRAM ALIR	34
3.1.1. Diagram Alir Penelitian	34
3.1.2. Diagram Alir Simulasi	35
3.2. ALAT DAN BAHAN	43
3.3. <i>MESH INDEPENDENCY</i>	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1. HASIL SIMULASI <i>WINGTIP</i> MENJADI <i>RAKED WINGLET</i>	45
4.2.1. Hasil Kontur Tekanan	46
4.2.2. Hasil Perhitungan Nilai Koefisien Gaya Angkat dan Koefisien Gaya Hambat	49
4.2.3. Hasil Perhitungan Rasio Gaya Angkat terhadap Gaya Hambat (L/D)	51
4.2. HASIL EVALUASI <i>INDUCED DRAG</i>	52
4.2.4. Hasil Visualisasi <i>Wingtip Vortices</i>	52
4.2.5. Hasil Perhitungan Nilai Koefisien <i>Induced Drag</i>	53

4.3. PERBANDINGAN DENGAN PENELITIAN TERDAHULU	55
BAB V PENUTUP	58
5.1. KESIMPULAN	58
5.2. SARAN	59
DAFTAR PUSTAKA	60



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Pengujian Aerodinamika Pesawat Menggunakan Terowongan Angin	12
Gambar 2.2. Uji Kinerja <i>Winglet</i> di Terowongan Angin	13
Gambar 2.3. Aliran Laminar	15
Gambar 2.4. Aliran Turbulen	15
Gambar 2.5. Aliran Transisi	16
Gambar 2.6. Gaya-gaya pada Pesawat Terbang	16
Gambar 2.7. <i>Angle of Attack</i> (Sudut Serang)	21
Gambar 2.8. <i>Wingtip Vortices</i>	22
Gambar 2.9. Perbedaan Pesawat Menggunakan <i>Winglet</i> dengan Tidak Menggunakan <i>Winglet</i>	24
Gambar 2.10. <i>Blended winglet</i> pada pesawat 737NG	24
Gambar 2.11. <i>Winglet fences</i> pada pesawat 737Max	25
Gambar 2.12. <i>Raked Winglet</i> pada pesawat A330-900	25
Gambar 2.13. Pembentukan <i>Wingtip Vortices</i>	26
Gambar 2.14. Ilustrasi Distribusi Tekanan pada Atas Sayap dengan CFD	26
Gambar 2.15. Ilustrasi <i>Tip Vortex</i> dengan <i>Software</i> CFD	27
Gambar 2.16. Ilustasi Efek <i>Winglet</i>	27
Gambar 2.17. Nomenklatur Planform Sayap Pesawat Terbang	28
Gambar 2.17. <i>Boundary Layer</i> / Lapisan Batas	33
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	34
Gambar 3.2. Tahap Simulasi	35
Gambar 3.3 Bentuk <i>Airfoil</i> NACA Boeing BACXXX	36
Gambar 3.4. Desain <i>Wingtip</i> Sayap Boeing 777-300ER	36
Gambar 3.5. Desain <i>Raked Winglet-1</i> Sayap Boeing 777-300ER	37
Gambar 3.6. Desain <i>Raked Winglet-2</i> Sayap Boeing 777-300ER	37
Gambar 3.7. MPD - <i>Aircraft Dimension</i> Boeing 777-300ER	37
Gambar 3.8. Mengatur Sudut Serang	38
Gambar 3.9. Pembuat Domain Komputasi	38
Gambar 3.10. Hasil <i>Meshing Fluid Domain</i>	39
Gambar 3.11. <i>Wing Meshing</i>	40
Gambar 3.12. Indikator Kualitas <i>Mesh</i> dari Nilai <i>Skewness</i>	40

Gambar 3.13. <i>Name Selection</i>	41
Gambar 3.14. Grafik <i>Gaya Angkat</i> Berdasarkan Variasi <i>Mesh</i>	44
Gambar 4.1. Sayap dengan (a) <i>wingtip</i> , (b), dan (c) <i>raked winglet-2</i>	46
Gambar 4.2. Kontur Tekanan Pada Sayap dengan <i>Wingtip</i> Variasi (a) Sudut Serang 0° , (b) Sudut Serang 4° , (c) Sudut Serang 8° , dan (d) Sudut Serang 12°	47
Gambar 4.3. Kontur Tekanan Pada Sayap dengan <i>Raked Winglet-1</i> Variasi (a) Sudut Serang 0° , (b) Sudut Serang 4° , (c) Sudut Serang 8° , dan (d) Sudut Serang 12°	47
Gambar 4.4. Kontur Tekanan Pada Sayap dengan <i>Raked Winglet-2</i> Variasi (a) Sudut Serang 0° , (b) Sudut Serang 4° , (c) Sudut Serang 8° , dan (d) Sudut Serang 12°	48
Gambar 4.5. Grafik Koefisien <i>Gaya Angkat</i>	49
Gambar 4.6. Grafik Koefisien <i>Gaya Hambat</i>	50
Gambar 4.7. Grafik Rasio <i>Gaya Angkat</i> terhadap <i>Gaya Hambat</i>	51
Gambar 4.8. Pola visualisasi vortisitas pada sayap dengan <i>wingtip</i>	52
Gambar 4.9. Pola visualisasi vortisitas pada sayap dengan <i>raked winglet-1</i>	53
Gambar 4.10. Pola visualisasi vortisitas pada sayap dengan <i>raked winglet-2</i>	53
Gambar 4.11. Grafik Nilai <i>Induced Drag</i> berdasarkan Sudut Serang	55
Gambar 4.12. Grafik Perbandingan Rasio L/D <i>Raked Winglet-1</i> terhadap Penelitian Terdahulu	56
Gambar 4.13. Grafik Perbandingan Persentase Penurunan Koefisien <i>Induced Drag Raked Winglet-1</i> terhadap Penelitian Terdahulu	57

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
C_L	Koefisien gaya angkat
C_D	Koefisien gaya hambat
F_L	Gaya angkat [N]
F_D	Gaya hambat [N]
ρ	Massa jenis fluida [kg/m ³]
V	Kecepatan aliran fluida [m/s]
A	Luas permukaan benda [m ²]
e	Faktor efisiensi
p	Tekanan [Pa]
μ	Viskositas dinamis [kg/ms]
v'	fluktuasi kecepatan [m/s]
Cd_i	Koefisien <i>induced drag</i>
Cd_o	Koefisien drag ketika $C_L = 0$
AR	<i>Aspect ratio</i>
b	<i>Wing span</i> [m]
c	<i>Chord</i> rata-rata [m]

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu	5
Tabel 3.1. Statistik <i>Nodes</i> dan <i>Element</i>	40
Tabel 3.2. Pengaturan pada Tahap <i>Setup</i>	41
Tabel 3.3. Pengaturan Ukuran <i>Mesh</i> dan <i>Element Mesh</i>	44
Tabel 4.1. Nilai Koefisien Gaya Angkat	49
Tabel 4.2. Nilai Koefisien Gaya Hambat	50
Tabel 4.3. Rasio Gaya Angkat Terhadap Gaya Hambat	51
Tabel 4.4. Nilai Peningkatan rasio L/D Sayap dengan <i>Raked Winglet</i>	52
Tabel 4.5. Panjang <i>Span</i> dan Luas Penampang Sayap	54
Tabel 4.6. <i>Aspect Ratio</i>	54
Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Koefisien <i>Induced Drag</i>	54
Tabel 4.8. Penurunan Koefisien <i>Induced Drag</i>	55
Tabel 4.9. Perbandingan Rasio L/D <i>Raked Winglet-1</i> terhadap Penelitian Terdahulu	56
Tabel 4.10. Perbandingan Persentase Penurunan Koefisien <i>Induced Drag Raked Winglet-1</i> terhadap Penelitian Terdahulu	57