

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b>	<b>iii</b>
<b>NASKAH SOAL TUGAS AKHIR</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b>	<b>xvii</b>
<b>INTISARI</b>	<b>xviii</b>
<b><i>ABSTRACT</i></b>	<b>xix</b>
<b>BAB I</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
<b>BAB II</b>	<b>5</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>5</b>
2.1. Peluru Kendali Jelajah (Cruise Missile)	5
2.2. <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (UAV)	5
2.3. Desain Sayap	6
2.4. Sudut Serang ( <i>Angle of Attack</i> ) dan Sudut Insiden ( <i>Incidence Angle</i> )	8

2.5. <i>Aspect Ratio</i>	9
2.6. Airfoil	9
2.7. Ansys	10
2.8. <i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i>	10
2.8.1. Penggunaan CFD pada Desain Rudal	11
<b>BAB III</b>	<b>13</b>
<b>LANDASAN TEORI</b>	<b>13</b>
3.1. Geometri Airfoil	13
3.1.1. NACA 4 Digit	15
3.1.2. NACA 5 Digit	16
3.1.3. NACA Seri 1	16
3.1.4. NACA Seri 6	17
3.1.5. NACA Seri 7	18
3.1.6. NACA Seri 8	18
3.2. Airfoil seri MH	19
3.3. Gaya Angkat dan Gaya Gesek pada Airfoil	19
3.3.1. <i>Lift</i>	21
3.3.2. <i>Drag</i>	22
3.4. Karakteristik Aerodinamika Airfoil Wahana Terbang	23
3.4.1. Bilangan Reynolds	24
3.4.2. <i>Boundary Layer</i>	24
3.5. Flow Separation	26
3.6. Wing Tip Vortices	28
3.7. Aspect Ratio	29

3.7.1. <i>Aspect ratio</i> untuk rudal	30
3.8. Angle of Attack dan Incidence Angle	31
3.9. Finite Volume Method	32
3.10. Variabel dan Parameter Analisis Metode CFD	33
3.10.1. <i>Viscous Model</i>	33
3.10.2. <i>Materials</i>	36
3.10.3. <i>Boundary Conditions</i>	36
3.10.4. <i>Solution Methods</i>	38
 <b>BAB IV</b>	 <b>40</b>
<b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>40</b>
4.1. Alat Penelitian	40
4.1.1. Autodesk Inventor	41
4.1.2. ANSYS	42
4.2. Metode Penelitian	42
4.2.1. Alur Penelitian	43
4.2.2. Geometri Sayap dengan <i>Airfoil</i> MH-23	45
4.3. Tahapan Penelitian	46
4.3.1. Pembuatan Desain Geometri Sayap dengan <i>Airfoil</i> MH-23.	46
4.3.2. Pembuatan Desain Geometri Sayap <i>Airfoil</i> MH-23 dengan Modifikasi <i>chord</i> sayap, bentangan sayap, dan <i>incidence angle</i> .	46
4.3.3. Pembuatan <i>Mesh</i> Geometri Sayap dengan menggunakan ICEM.	47
4.3.4. Simulasi <i>Computational Fluid Dynamics</i> Peluru Kendali.	48

<b>BAB V</b>	<b>54</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>54</b>
5.1. Hasil Residual Monitors	54
5.2. Hasil Simulasi	66
5.2.1. Hasil $C_D$ dan $C_L$	66
5.2.2. <i>Lift-to-Drag Ratio</i>	69
5.3. <i>Pressure Contours</i>	71
5.4. <i>Velocity Contours</i>	82
5.5. <i>Velocity Vectors</i>	87
 <b>BAB VI</b>	 <b>94</b>
<b>PENUTUP</b>	<b>94</b>
6.1. Kesimpulan	94
6.2. Saran	95
 <b>DAFTAR PUSTAKA</b>	 <b>96</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram tahapan pembuatan desain pesawat	6
Gambar 2.2. Sudut Insiden, Garis <i>chord</i> , dan sumbu longitudinal	8
Gambar 2.3. Contoh penggunaan CFD pada desain rudal	12
Gambar 3.1. Geometri Airfoil	14
Gambar 3.2. Perbedaan bentuk <i>airfoil</i>	14
Gambar 3.3 Berbagai jenis <i>airfoil</i>	15
Gambar 3.4 Distribusi tekanan udara pada <i>airfoil</i> pada umumnya	20
Gambar 3.5 Gaya angkat yang bekerja pada <i>airfoil</i>	21
Gambar 3.6 Gaya aerodinamis total pada <i>airfoil</i> terhadap arah aliran udara	23
Gambar 3.7 <i>Boundary layer</i>	25
Gambar 3.8 <i>Laminar and turbulent layer</i>	26
Gambar 3.9 Aliran separasi pada permukaan melengkung	27
Gambar 3.10 Aliran udara yang mengalami perputaran ( <i>vortices</i> ) saat setelah meninggalkan <i>wing tips</i>	28
Gambar 3.11 Definisi geometri sayap dan <i>aspect ratio</i>	29
Gambar 3.12 Sayap dengan berbagai <i>aspect ratio</i>	31
Gambar 3.13 <i>Angle of attack</i> pada <i>airfoil</i>	31
Gambar 3.14 <i>Incidence angle</i> dari <i>airfoil</i>	32
Gambar 3.15 <i>Boundary conditions</i> dari <i>inlet, outlet, symmetry</i>	36
Gambar 3.16 Tampilan <i>zoomed in</i> dari <i>body</i> dan fluida	37
Gambar 4.1 Tampilan antarmuka Autodesk Inventor 2018	41
Gambar 4.2 Antarmuka program ANSYS Workbench 18	42
Gambar 4.3 Diagram alur penelitian	44
Gambar 4.4 Dimensi model sayap (dalam satuan mm) tanpa modifikasi	45
Gambar 4.5 Tampilan antar muka ICEM CFD 18	48
Gambar 4.6 Skema proyek pada ANSYS Workbench	49

Gambar 4.7 Geometri CAD dari sayap pada ICEM CFD	50
Gambar 4.8 <i>Output</i> dari hasil ICEM CFD	50
Gambar 4.9 Dari atas ke bawah: Jumlah <i>hexa</i> dari model awal tanpa modifikasi (sayap asli), Sayap asli dengan <i>incidence angle</i> 2°, Sayap asli dengan <i>incidence angle</i> 4°	51
Gambar 4.10 Dari atas ke bawah: Jumlah <i>hexa</i> dari model awal dengan modifikasi bentangan dua kali semula tanpa <i>incidence angle</i> , Modifikasi bentangan dua kali semula dengan <i>incidence angle</i> 2°, Modifikasi bentangan dua kali semula dengan <i>incidence angle</i> 4°	52
Gambar 4.11 Dari atas ke bawah: Jumlah <i>hexa</i> dari model awal dengan modifikasi <i>chord</i> dua kali semula tanpa <i>incidence angle</i> , Modifikasi <i>chord</i> dua kali semula dengan <i>incidence angle</i> 2°, Modifikasi <i>chord</i> dua kali semula dengan <i>incidence angle</i> 4°	53
Gambar 5.1 Grafik <i>residuals</i> sayap tanpa modifikasi	55
Gambar 5.2 Grafik <i>residuals</i> model-model sayap dengan modifikasi	55
Gambar 5.3 Grafik monitor konvergensi $C_D$ dan $C_L$ sayap tanpa modifikasi	57
Gambar 5.4 Grafik monitor konvergensi $C_D$ dan $C_L$ sayap asli dengan <i>incidence angle</i> 2°	58
Gambar 5.5 Grafik monitor konvergensi $C_D$ dan $C_L$ sayap asli dengan <i>incidence angle</i> 4°	59
Gambar 5.6 Grafik monitor konvergensi $C_D$ dan $C_L$ sayap dengan modifikasi bentangan dua kali semula tanpa <i>incidence angle</i>	60
Gambar 5.7 Grafik monitor konvergensi $C_D$ dan $C_L$ sayap dengan modifikasi bentangan dua kali semula dengan <i>incidence angle</i> 2°	61
Gambar 5.8 Grafik monitor konvergensi $C_D$ dan $C_L$ sayap dengan modifikasi bentangan dua kali semula dengan <i>incidence angle</i> 4°	62
Gambar 5.9 Grafik monitor konvergensi $C_D$ dan $C_L$ sayap dengan modifikasi <i>chord</i> dua kali semula tanpa <i>incidence angle</i>	63

Gambar 5.10 Grafik monitor konvergensi $C_D$ dan $C_L$ sayap dengan modifikasi <i>chord</i> dua kali semula dengan <i>incidence angle</i> $2^\circ$	64
Gambar 5.11 Grafik monitor konvergensi $C_D$ dan $C_L$ sayap dengan modifikasi <i>chord</i> dua kali semula dengan <i>incidence angle</i> $4^\circ$	65
Gambar 5.12 Grafik Hubungan Modifikasi Sayap terhadap Nilai $C_D$	68
Gambar 5.13 Grafik Hubungan Modifikasi Sayap terhadap Nilai $C_L$	68
Gambar 5.14 Grafik Hubungan Modifikasi Sayap terhadap Nilai $C_L/C_D$	70
Gambar 5.15 Kontur tekanan tampak atas tanpa modifikasi	72
Gambar 5.16 Kontur tekanan tampak atas dengan modifikasi <i>incidence angle</i> $2^\circ$	72
Gambar 5.17 Kontur tekanan tampak atas dengan modifikasi <i>incidence angle</i> $4^\circ$	73
Gambar 5.18 Kontur tekanan tampak atas dengan modifikasi bentangan	73
Gambar 5.19 Kontur tekanan tampak atas dengan modifikasi bentangan dan <i>incidence angle</i> $2^\circ$	74
Gambar 5.20 Kontur tekanan tampak atas dengan modifikasi bentangan dan <i>incidence angle</i> $4^\circ$	74
Gambar 5.21 Kontur tekanan tampak atas dengan modifikasi <i>chord</i>	75
Gambar 5.22 Kontur tekanan tampak atas dengan modifikasi <i>chord</i> dan <i>incidence angle</i> $2^\circ$	75
Gambar 5.23 Kontur tekanan tampak atas dengan modifikasi <i>chord</i> dan <i>incidence angle</i> $4^\circ$	76
Gambar 5.24 Kontur tekanan <i>airfoil</i> tanpa modifikasi	77
Gambar 5.25 Kontur tekanan <i>airfoil</i> dengan modifikasi <i>incidence angle</i> $2^\circ$	78
Gambar 5.26 Kontur tekanan <i>airfoil</i> dengan modifikasi <i>incidence angle</i> $4^\circ$	78
Gambar 5.27 Kontur tekanan <i>airfoil</i> dengan modifikasi bentangan	79
Gambar 5.28 Kontur tekanan <i>airfoil</i> dengan modifikasi bentangan dan <i>incidence angle</i> $2^\circ$	79
Gambar 5.29 Kontur tekanan <i>airfoil</i> dengan modifikasi bentangan dan <i>incidence angle</i> $4^\circ$	80

Gambar 5.30 Kontur tekanan <i>airfoil</i> dengan modifikasi <i>chord</i>	80
Gambar 5.31 Kontur tekanan <i>airfoil</i> dengan modifikasi <i>chord</i> dan <i>incidence angle</i> 2°	81
Gambar 5.32 Kontur tekanan <i>airfoil</i> dengan modifikasi <i>chord</i> dan <i>incidence angle</i> 4°	81
Gambar 5.33 <i>Velocity contour</i> dari sayap tanpa modifikasi	83
Gambar 5.34 <i>Velocity contour</i> dari sayap modifikasi <i>incidence angle</i> 2°	83
Gambar 5.35 <i>Velocity contour</i> dari sayap modifikasi <i>incidence angle</i> 4°	84
Gambar 5.36 <i>Velocity contour</i> dari sayap modifikasi bentangan	84
Gambar 5.37 <i>Velocity contour</i> dari sayap modifikasi bentangan dan <i>incidence angle</i> 2°	85
Gambar 5.38 <i>Velocity contour</i> dari sayap modifikasi bentangan dan <i>incidence angle</i> 4°	85
Gambar 5.39 <i>Velocity contour</i> dari sayap modifikasi <i>chord</i>	86
Gambar 5.40 <i>Velocity contour</i> dari sayap modifikasi <i>chord</i> dan <i>incidence angle</i> 2°	86
Gambar 5.41 <i>Velocity contour</i> dari sayap modifikasi <i>chord</i> dan <i>incidence angle</i> 4°	87
Gambar 5.42 <i>Velocity vectors</i> dari sayap tanpa modifikasi	88
Gambar 5.43 <i>Velocity vectors</i> dari sayap modifikasi <i>incidence angle</i> 2°	88
Gambar 5.44 <i>Velocity vectors</i> dari sayap modifikasi <i>incidence angle</i> 4°	89
Gambar 5.45 <i>Velocity vectors</i> dari sayap modifikasi bentangan	89
Gambar 5.46 <i>Velocity vectors</i> dari sayap modifikasi bentangan dan <i>incidence angle</i> 2°	90
Gambar 5.47 <i>Velocity vectors</i> dari sayap modifikasi bentangan dan <i>incidence angle</i> 4°	90
Gambar 5.48 <i>Velocity vectors</i> dari sayap modifikasi <i>chord</i>	91
Gambar 5.49 <i>Velocity vectors</i> dari sayap modifikasi <i>chord</i> dan <i>incidence angle</i> 2°	91
Gambar 5.50 <i>Velocity vectors</i> dari sayap modifikasi <i>chord</i> dan <i>incidence angle</i> 4°	92



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Variabel sayap yang diteliti	47
Tabel 5.1. Data Hasil Koefisien Gaya Gesek dan Gaya Angkat	67
Tabel 5.2. Rasio $C_L/C_D$	70

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$\rho$	= massa jenis	(kg/m <sup>3</sup> atau g/cm <sup>3</sup> )
$\omega$	= omega	
$\epsilon$	= epsilon	
$\alpha$	= <i>angle of attack</i> / sudut serang	
$C_D$	= Koefisien gaya gesek ( <i>coefficient of drag</i> )	
$C_L$	= Koefisien gaya angkat ( <i>coefficient of lift</i> )	
CFD	= <i>Computational Fluid Dynamics</i> (Komputasi Fluida Dinamis)	
$g$	= percepatan gravitasi	(m/s <sup>2</sup> )
$h$	= ketinggian	(m)
UAV	= <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (Wahana Udara Tanpa Awak)	

