

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| HALAMAN SAMPUL DEPAN | |
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI DARI TIM PEMBIMBING | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI | iii |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI | iv |
| NASKAH SOAL TUGAS AKHIR | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xv |
| DAFTAR NOTASI | x |
| DAFTAR SINGKATAN | xii |
| INTISARI | xiii |
| <i>ABSTRACT</i> | xiv |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3. Batasan Masalah | 2 |
| 1.4. Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.5. Manfaat Penelitian | 3 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA | 4 |
| 2.1. <i>Airfoil NACA 4 Digits</i> | 4 |
| 2.2. <i>Vortex Generator</i> | 7 |
| BAB 3 DASAR TEORI | 9 |
| 3.1. Dasar Gaya Aerodinamika | 9 |
| 3.1.1. Gaya Angkat (<i>Lift</i>) | 9 |
| 3.1.2. Gaya Berat (<i>Weight</i>) | 10 |
| 3.1.3. Gaya Dorong (<i>Thrust</i>) | 11 |
| 3.1.4. Gaya Hambat (<i>Drag</i>) | 11 |
| 3.2. Konfigurasi Umum Sayap | 13 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2.1. <i>Aspect Ratio</i> | 13 |
| 3.2.2. <i>Taper Ratio</i> | 15 |
| 3.2.3. <i>Planform Sayap</i> | 16 |
| 3.3. <i>Airfoil</i> | 17 |
| 3.3.1. <i>Bagian-Bagian Airfoil</i> | 18 |
| 3.3.2. <i>Klasifikasi Airfoil</i> | 18 |
| 3.2.3. <i>Pemilihan Airfoil</i> | 20 |
| 3.4. <i>Mekanika Fluida</i> | 21 |
| 3.4.1. <i>Governing Equation</i> | 21 |
| 3.4.2. <i>Teori Lapis Batas</i> | 23 |
| 3.4.3. <i>Pemisahan Aliran</i> | 25 |
| 3.4.4. <i>Vortex</i> | 25 |
| 3.4.5. <i>Boundary Layer Control</i> | 27 |
| 3.5. <i>Vortex generator</i> | 27 |
| 3.6. <i>Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD)</i> | 29 |
| 3.6.1. <i>Finite Volume Method (FVM)</i> | 30 |
| 3.6.2. <i>Model Turbulensi</i> | 31 |
| 3.6.3. <i>Kriteria Konvergen</i> | 33 |
| BAB 4 METODE PENELITIAN | 35 |
| 4.1. <i>Diagram Alir Penelitian</i> | 35 |
| 4.2. <i>Alat Penelitian</i> | 36 |
| 4.2.1. <i>Hardware Komputer</i> | 36 |
| 4.2.2. <i>Autodesk Inventor Professional 2023</i> | 36 |
| 4.2.3. <i>Ansys 2020 R2</i> | 37 |
| 4.2.4. <i>Ansys DesignModeler</i> | 37 |
| 4.2.5. <i>Ansys Meshing</i> | 38 |
| 4.2.6. <i>Ansys Fluent</i> | 38 |
| 4.2.7. <i>Ansys CFD Post</i> | 39 |
| 4.2.8. <i>Microsoft Excel</i> | 39 |
| 4.3. <i>Objek Penelitian</i> | 40 |
| 4.3.1. <i>Variabel Bebas</i> | 40 |
| 4.3.2. <i>Variabel Terikat</i> | 41 |
| 4.3.3. <i>Variabel Kendali</i> | 41 |
| 4.4. <i>Langkah Penelitian</i> | 41 |
| 4.4.1. <i>Tahap Perancangan</i> | 41 |
| 4.4.2. <i>Tahap Simulasi</i> | 43 |
| BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN | 56 |
| 5.1. <i>Validasi Data</i> | 56 |
| 5.2. <i>Karakteristik Koefisien Lift dan Koefisien Drag Terhadap Variasi Geometri Vortex Generator</i> | 57 |

| | |
|--|-----------|
| 5.3. Karakteristik Koefisien <i>Lift</i> dan Koefisien <i>Drag</i> Terhadap Konfigurasi Jumlah Vortex Generator | 60 |
| 5.4. Karakteristik Aliran Udara Pada Vortex Generator | 63 |
| 5.4.1 Distribusi Kecepatan | 63 |
| 5.4.2 Distribusi Vortisitas | 65 |
| 5.4.3 <i>Streamline</i> Pada Sayap | 66 |
| BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN | 68 |
| 6.1. Kesimpulan | 68 |
| 6.2. Saran | 69 |
| DAFTAR PUSTAKA | 70 |
| LAMPIRAN | 74 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2. 1 Pola <i>Streamline</i> Aliran Pada <i>Airfoil</i> $\alpha = 16^\circ$ (c) Tanpa VG (d) dengan VG (Anand dkk, 2010) | 5 |
| Gambar 2. 3 Pengaruh Sayap Tanpa VG dengan Sayap VG Terhadap (Kanan) Koefisien <i>Lift</i> (Kiri) Koefisien <i>Drag</i> (Tebbiche Et Al, 2014) | 6 |
| Gambar 3. 1 Gaya Aerodinamika (a) Ketika Seimbang (b) Ketika Tidak Seimbang (Sumber: https://www.grc.nasa.gov) | 9 |
| Gambar 3. 2 <i>CL</i> Terhadap <i>AoA</i> Pada 2 Jenis <i>Airfoil</i> (Jan Roskam, 1985) | 10 |
| Gambar 3. 3 <i>CD</i> Terhadap <i>AoA</i> Chengdu J-10 (Fawwaz, W. 2019) | 12 |
| Gambar 3. 4 Konfigurasi Sayap (Raymer, 2018) | 13 |
| Gambar 3. 5 Pengaruh <i>CL</i> Akibat <i>Aspect Ratio</i> (Roskam, 1985) | 14 |
| Gambar 3. 6 Konfigurasi Sayap dengan <i>Aspect Ratio</i> (Anderson, 2017) | 14 |
| Gambar 3. 7 <i>Mean Aerodynamic Chord</i> (Raymer, 2018) | 15 |
| Gambar 3. 8 Distribusi <i>Lift</i> Pada Sayap <i>Planform</i> Elips (Raymer, 2018) | 15 |
| Gambar 3. 9 Konfigurasi Sayap dengan <i>Taper Ratio</i> (Anderson, 2017) | 16 |
| Gambar 3. 10 <i>Planform</i> Sayap (Torenbeek, 1976) | 16 |
| Gambar 3. 11 Sudut <i>Sweep</i> (Torenbeek, 1976) | 17 |
| Gambar 3. 12 Bagian <i>Airfoil</i> (Zeldes, 2017) | 18 |
| Gambar 3. 13 Tipe <i>Airfoil</i> Penelitian Langley 1929 (NASA, 2017) | 19 |
| Gambar 3. 14 Aliran Massa Masuk dan Keluar Elemen Fluida (Versteeg, 1995) | 22 |
| Gambar 3. 15 Komponen Tegangan Pada Permukaan Elemen Fluida (Versteeg, 1995) | 22 |
| Gambar 3. 16 Komponen <i>Flux</i> Kalor Pada Elemen Fluida (Versteeg, 1995) | 23 |
| Gambar 3. 17 <i>Boundary Layer</i> Aliran Laminar Menuju Turbulen | 24 |
| Gambar 3. 18 Pemisahan Aliran Pada <i>Airfoil</i> | 25 |
| Gambar 3. 19 <i>Starting Vortex</i> (Cengel, 2017) | 26 |
| Gambar 3. 20 Visualisasi <i>Vortex Generator</i> | 28 |
| Gambar 3. 21 Geometri <i>Vortex Generator</i> (Vinodhini, 2016) | 29 |
| Gambar 3. 22 Parameter Kualitas <i>Mesh</i> (Ansys, 2018) | 30 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4. 1 Diagram Alir Penelitian | 35 |
| Gambar 4. 2 <i>Interface</i> Autodesk Inventor 2023 | 37 |
| Gambar 4. 3 <i>Interface</i> Ansys 2020 R2 | 37 |
| Gambar 4. 4 <i>Interface</i> Ansys DesignModeler | 38 |
| Gambar 4. 5 <i>Interface</i> Ansys Meshing | 38 |
| Gambar 4. 6 <i>Interface</i> Ansys Fluent | 39 |
| Gambar 4. 7 <i>Interface</i> Ansys CFD-Post | 39 |
| Gambar 4. 8 <i>Interface</i> Microsoft Excel | 40 |
| Gambar 4. 9 Geometri Sayap dengan VG (a) <i>Rectangular</i> 2 Pasang (b) Penampang NACA 2412 10 pasang | 42 |
| Gambar 4. 10 Domain Komputasi | 42 |
| Gambar 4. 11 Bidang <i>Boundary Condition</i> (a) <i>Inlet</i> (b) <i>Outlet</i> (c) <i>Symmetry</i> (d) <i>Wall</i> | 43 |
| Gambar 4. 12 Hasil <i>Global Meshing</i> (a) Domain Komputasi (b) <i>Airfoil</i> | 45 |
| Gambar 4. 13 Grafik <i>Mesh Independency Test</i> | 47 |
| Gambar 4. 14 Pengaturan Umum | 48 |
| Gambar 4. 15 Pengaturan Model Turbulensi | 48 |
| Gambar 4. 16 Pengaturan Material | 49 |
| Gambar 4. 17 Pengaturan <i>Inlet Boundary Condition</i> | 49 |
| Gambar 4. 18 Pengaturan <i>Outlet Boundary Condition</i> | 50 |
| Gambar 4. 19 Pengaturan Metode Simulasi | 51 |
| Gambar 4. 20 Pengaturan <i>Residual</i> | 51 |
| Gambar 4. 21 Pengaturan Penyimpanan Data | 52 |
| Gambar 4. 22 Pengaturan Iterasi | 53 |
| Gambar 4. 23 Grafik <i>Residual</i> Hasil Simulasi | 53 |
| Gambar 4. 24 Grafik <i>Drag Plot</i> | 54 |
| Gambar 4. 25 Grafik <i>Lift Plot</i> | 54 |
| Gambar 4. 27 Hasil Keseimbangan <i>Mass Flow Rate</i> | 55 |
| Gambar 4. 26 Grafik <i>Mass Flow Rate Plot</i> | 55 |
| Gambar 5. 1 Grafik Perbandingan C_L Untuk Validasi Data | 56 |
| Gambar 5. 2 Grafik Perbandingan C_D Untuk Validasi Data | 57 |

| | |
|--|----|
| Gambar 5. 3 Performa C_L Terhadap Variasi Geometri VG | 58 |
| Gambar 5. 4 Performa C_D Terhadap Variasi Geometri VG | 59 |
| Gambar 5. 5 Performa C_L/C_D Terhadap Variasi Geometri VG | 60 |
| Gambar 5. 6 Performa C_L Terhadap Variasi Jumlah Konfigurasi VG | 61 |
| Gambar 5. 7 Performa C_D Terhadap Variasi Jumlah Konfigurasi VG | 62 |
| Gambar 5. 8 Performa C_L/C_D Terhadap Variasi Jumlah Konfigurasi VG | 63 |
| Gambar 5. 9 Perbandingan Sayap Tanpa VG (Kiri) dan Sayap VG (Kanan) Saat AoA 0° (Atas) dan AoA 15° (Bawah) | 65 |
| Gambar 5. 10 Kontur Kecepatan Longitudinal Pada Pembentukan Vorteks (a) AoA 0° (b) AoA 5° (c) AoA 10° (d) AoA 15° | 66 |
| Gambar 5. 11 <i>Streamlines</i> Pada Sayap (a) AoA 0° (b) AoA 5° (c) AoA 10° (d) AoA 15° | 67 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 4. 1 Spesifikasi Komputer | 36 |
| Tabel 4. 2 Parameter Y^+ Kalkulator | 44 |
| Tabel 4. 3 Kualitas <i>Meshing Rectangular</i> VG 2 Pasang | 45 |
| Tabel 4. 4 Kualitas <i>Meshing Rectangular</i> VG 10 Pasang | 46 |
| Tabel 4. 5 Kualitas <i>Meshing</i> NACA 2412 2 Pasang | 46 |
| Tabel 4. 6 Kualitas <i>Meshing</i> NACA 2412 10 Pasang | 46 |
| Tabel 4. 7 Hasil <i>Mesh Independency Test</i> | 47 |
| Tabel 5. 1 Perhitungan Performa Aerodinamika Terhadap Pengaruh Variasi Geometri VG | 58 |
| Tabel 5. 2 Perhitungan Performa Aerodinamika Terhadap Pengaruh Variasi Jumlah Konfigurasi VG | 61 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|-----|
| Lampiran 1 Distribusi Kecepatan di Sekitar Wing Root Pengaruh Variasi Geometri VG | 74 |
| Lampiran 2 Distribusi Kecepatan di Sekitar Wing Root Pengaruh Variasi Jumlah Konfigurasi Pada VG Penampang NACA 2412 | 76 |
| Lampiran 3 Distribusi Kecepatan di Sekitar Wing Root Pengaruh Variasi Jumlah Konfigurasi Pada <i>Rectangular</i> VG | 78 |
| Lampiran 4 <i>Streamline</i> Pada Sayap Pengaruh Variasi Geometri VG | 80 |
| Lampiran 5 <i>Streamline</i> Pada Sayap Pengaruh Jumlah Konfigurasi VG Pada VG Penampang NACA 2412 | 82 |
| Lampiran 6 <i>Streamline</i> Pada Sayap Pengaruh Jumlah Konfigurasi VG Pada <i>Rectangular</i> VG | 84 |
| Lampiran 7 Distribusi Vortisitas Pengaruh Variasi Geometri VG | 86 |
| Lampiran 8 Distribusi Vortisitas Pengaruh Variasi Jumlah Konfigurasi Pada VG Penampang NACA 2412 | 88 |
| Lampiran 9 Distribusi Vortisitas Pengaruh Variasi Jumlah Konfigurasi Pada <i>Rectangular</i> VG | 90 |
| Lampiran 10 <i>Vortex Core Region</i> Pengaruh Variasi Geometri VG | 92 |
| Lampiran 11 <i>Vortex Core Region</i> Pengaruh Variasi Jumlah Konfigurasi VG Penampang NACA 2412 | 94 |
| Lampiran 12 <i>Vortex Core Region</i> Pengaruh Variasi Jumlah Konfigurasi <i>Rectangular</i> VG | 96 |
| Lampiran 13 Geometri Sayap | 98 |
| Lampiran 14 Geometri <i>Vortex Generator</i> | 99 |
| Lampiran 15 Geometri Domain Komputasi | 100 |
| Lampiran 16 Geometri <i>Vortex Generator</i> 2 Pasang | 101 |
| Lampiran 17 Geometri <i>Vortex Generator</i> 10 Pasang | 102 |
| Lampiran 18 Ukuran <i>Fluid Domain</i> (Wibowo <i>et al.</i> , 2019) | 103 |