



## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR SIMBOL.....	xiii
INTISARI.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
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
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
BAB III.....	9
LANDASAN TEORI.....	9
3.1 Pesawat Udara Tanpa Awak.....	9
3.1.1 Sistem kendali pesawat udara tanpa awak sayap tetap .....	9
3.1.2 Gerak terbang pesawat udara tanpa awak .....	10
3.2 Sistem .....	13
3.2.1 Klasifikasi sistem .....	14
3.3 Pemodelan Sistem .....	14
3.3.1 Model .....	14
3.3.2 Tahapan-tahapan dalam pengembangan model .....	16
3.4 Pemodelan Gerak Terbang Pesawat Tanpa Awak.....	17
3.5 United States Air Force Data Compendium (DATCOM) .....	20
3.6 Identifikasi Sistem dan Estimasi Model .....	21
3.7 MATLAB .....	22
3.7.1 Simulink .....	22
3.7.2 System identification pada software MATLAB .....	23
3.8 <i>Flight Data Recorder</i> .....	24
3.9 <i>Flight Gear Flight Simulator</i> .....	25
BAB IV .....	26
PERANCANGAN DAN PEMODELAN .....	26
4.1 Analisis Kebutuhan .....	26
4.2 Rancangan Sistem Keseluruhan .....	27
4.3 Rancangan Perangkat Keras .....	29
4.4 Rancangan Pengambilan Data.....	31
4.4.1 Rancangan pengambilan data geometri pesawat.....	31



4.4.2	Rancangan pengambilan data terbang.....	32
4.5	Rancangan Pemodelan Sistem.....	33
4.5.1	Pemodelan analitis .....	35
4.5.2	Pemodelan empiris .....	41
4.5.3	Komparasi model .....	42
4.6	Rancangan Visualisasi Model .....	43
BAB V	.....	44
IMPLEMENTASI	.....	44
5.1	Implementasi Perangkat Keras .....	44
5.2	Implementasi Pengambilan Data .....	48
5.2.1	Implementasi pengambilan data geometri pesawat.....	48
5.2.2	Implementasi pengambilan data terbang pesawat.....	52
5.3	Implementasi Pemodelan.....	54
5.3.1	Implementasi pemodelan analitis .....	54
5.3.2	Implementasi pemodelan empiris .....	60
5.3.3	Implementasi komparasi model .....	62
5.4	Implementasi Visualisasi Model .....	65
BAB VI	.....	70
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	.....	70
6.1	Hasil Pemodelan Analitis .....	70
6.2	Hasil Pemodelan Empiris .....	74
6.3	Hasil Komparasi .....	77
6.4	Hasil Visualisasi dan Simulasi pesawat udara tanpa awak UX-6 .....	80
BAB VII	.....	82
PENUTUP	.....	82
7.1	Kesimpulan.....	82
7.2	Saran .....	83
DAFTAR PUSTAKA	.....	84
LAMPIRAN A	.....	87
PEMODELAN ANALITIS	.....	87
LAMPIRAN B	.....	102
PEMODELAN EMPIRIS	.....	102
LAMPIRAN C	.....	116
SOURCE CODE FLIGHT DATA RECORDER	.....	116



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Bagian-bagian sistem kendali pesawat terbang tanpa awak .....	9
Gambar 3.2 Definisi gaya, kecepatan, momen, dan orientasi pesawat .....	10
Gambar 3.3 Sudut Euler $\phi, \theta, \psi$ untuk menentukan orientasi terbang pesawat. (a) Rotasi <i>yaw</i> pada sumbu Z. (b) Rotasi <i>pitch</i> pada sumbu Y. (c) Rotasi <i>roll</i> pada sumbu X (Nelson, 1998) .....	11
Gambar 3.4 Gambaran Suatu Sistem (Sridadi, 2009) .....	13
Gambar 3.5 Skema pendekatan <i>model-based-design</i> (Mathworks,2016) .....	16
Gambar 3.6 Tampilan Datcom+ Pro .....	20
Gambar 3.7 Sistem dinamis dengan <i>input</i> $u(t)$ , <i>output</i> $y(t)$ dan gangguan <i>disturbance</i> $v(t)$ , dengan t menunjukkan waktu (Söderström dan Stoica, 2001) .	21
Gambar 3.8 Langkah-langkah identifikasi sistem (Sridadi, 2009) .....	22
Gambar 3.9 Tampilan GUI pada <i>system identification toolbox</i> (SITB) dan blok <i>system identification</i> pada Simulink (Mathwork, 2016) .....	23
Gambar 3.10 Blok diagram arsitektur ADAHRS (Astuti dkk, 2008) .....	25
Gambar 4.1 Skema penggunaan model matematika dalam kontrol pesawat .....	26
Gambar 4.2 Skema rancangan penelitian secara keseluruhan .....	27
Gambar 4.3 Skema perangkat keras .....	30
Gambar 4.4 Diagram pengambilan data geometri pesawat .....	32
Gambar 4.5 Bentuk sinyal <i>doublet input</i> (Raol dkk, 2009) .....	32
Gambar 4.6 Diagram blok kendali pesawat UX-6 .....	33
Gambar 4.7 Diagram prosedur pengambilan data terbang .....	33
Gambar 4.8 Diagram blok struktur model <i>state-space</i> .....	34
Gambar 4.9 Diagram prosedur pemodelan analitis .....	35
Gambar 4.10 Diagram langkah-langkah identifikasi sistem .....	42
Gambar 4.11 Diagram komparasi model .....	43
Gambar 4.12 Diagram visualisasi model .....	43
Gambar 5.1 Implementasi pesawat tanpa awak UX-6 .....	44
Gambar 5.2 Implementasi <i>flight data recorder</i> pada pesawat udara tanpa awak sayap tetap UX-6 .....	45
Gambar 5.3 Implementasi <i>receiver</i> pada pesawat tanpa awak UX-6 Aktuator ...	46
Gambar 5.4 Implementasi aktuator: <i>mini-servo</i> kanan [a], <i>mini-servo</i> kiri [b], koneksi aktuator- <i>port PWM reader</i> [c], dan <i>motor brushless</i> [d] .....	47
Gambar 5.5 Implementasi catu daya pada pesawat .....	47
Gambar 5.6 Sketsa pesawat tanpa awak sayap tetap UX-6 .....	48
Gambar 5.7 Sketsa <i>airfoil</i> sayap pesawat tanpa awak UX-6 [a], bentuk <i>airfoil</i> dari data yang dimasukkan ke Datcom+ Pro [b] .....	49
Gambar 5.8 Pengukuran berat pesawat [a], pengukuran titik <i>center-of-gravity</i> pesawat [b] .....	50
Gambar 5.9 Perhitungan momen inerti sumbu x dan z pesawat dengan menggunakan metode <i>bifilar suspension</i> .....	51
Gambar 5.10 Perhitungan momen inerti sumbu y pesawat dengan menggunakan metode <i>knife edge</i> .....	51
Gambar 5.11 Lokasi pengambilan data terbang (a). Implementasi pengambilan data terbang (b) .....	53



Gambar 5.12 Plot Lintasan Hasil Pembacaan GPS .....	54
Gambar 5.13 Implementasi <i>input</i> kondisi penerbangan .....	55
Gambar 5.14 Implementasi <i>options</i> dan <i>synthesis input</i> .....	55
Gambar 5.15 Implementasi <i>input</i> geometri <i>fuselage</i> pesawat .....	56
Gambar 5.16 Implementasi <i>input</i> dimensi sayap .....	56
Gambar 5.17 Implementasi <i>input</i> geometri airfoil sayap .....	57
Gambar 5.18 Implementasi simulasi pergerakan <i>elevator</i> .....	57
Gambar 5.19 Implementasi simulasi pergerakan <i>aileron</i> .....	58
Gambar 5.20 Koefisien Aerodinamika statis dan dinamis UX-6 yang dihasilkan Datcom+ Pro .....	58
Gambar 5.21 Implementasi kalkulasi derivatif kestabilan mode <i>longitudinal</i> dan <i>lateral</i> .....	59
Gambar 5.22 Implementasi derivatif kestabilan mode <i>longitudinal</i> dan <i>lateral</i> dengan stuktur model <i>state-space</i> .....	60
Gambar 5.23 Bentuk doublet input komparasi model .....	62
Gambar 5.24 Implementasi komparasi model mode <i>longitudinal</i> .....	63
Gambar 5.25 Implementasi komparasi model mode <i>lateral</i> .....	64
Gambar 5.26 Implementasi <i>simulator</i> pesawat udara tanpa awak sayap tetap UX-6 secara keseluruhan .....	65
Gambar 5.27 Implementasi blok pilot .....	66
Gambar 5.28 Implementasi blok UX-6 <i>airframe</i> .....	66
Gambar 5.29 Implementasi blok <i>aircraft dynamics</i> .....	67
Gambar 5.30 Implementasi blok <i>total forces and moments</i> .....	68
Gambar 5.31 Implementasi blok <i>electric motor</i> .....	68
Gambar 5.32 Implementasi blok <i>aerodynamics</i> .....	69
Gambar 6.1 Model 3 dimensi UX-6 .....	71
Gambar 6.2 Grafik perbandingan model analitis mode <i>longitudinal</i> (biru) vs model empiris mode <i>longitudinal</i> (merah) .....	77
Gambar 6.3 Grafik perbandingan model analitis mode <i>lateral</i> (biru) vs model empiris mode <i>lateral</i> (merah) .....	78
Gambar 6.4 Simulasi UX-6 UAV pada <i>flight simulator</i> Flight Gear .....	81



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Matriks perbandingan .....	9
Tabel 4.1 Spesifikasi perangkat keras.....	30
Tabel 4.2 Koefisien aerodinamika statis keluaran Datcom+ Pro .....	37
Tabel 4.3 Koefisien aerodinamika dinamis keluaran Datcom+ Pro .....	37
Tabel 4.4 Input kalkulasi derivatif mode <i>longitudinal</i> .....	38
Tabel 4.5 Derivatif kestabilan mode <i>longitudinal</i> .....	39
Tabel 4.6 Derivatif kestabilan mode <i>lateral</i> .....	40
Tabel 5.1 Dimensi pesawat udara tanpa awak sayap tetap UX-6 .....	52
Tabel 5.2 Kondisi <i>trim</i> pesawat tanpa awak sayap tetap UX-6 .....	77
Tabel 6.1 Koefisien aerodinamika statis pesawat udara tanpa awak sayap tetap UX-6 .....	61
Tabel 6.2 Koefisien aerodinamika dinamis pesawat udara tanpa awak sayap tetap UX-6 .....	72
Tabel 6.3 Derivatif kestabilan pesawat udara tanpa awak sayap tetap UX-6 .....	73
Tabel 6.4 Hasil validasi model empiris mode <i>longitudinal</i> .....	75
Tabel 6.5 Hasil validasi model empiris mode <i>lateral</i> .....	76