

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN	iv
PRAKATA.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SIMBOL	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
INTISARI	xvii
ABSTARCT.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat	5
1.6 Kontribusi Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
BAB III LANDASAN TEORI.....	13
3.1 VTOL-plane Unmanned Aerial Vehicle (UAV) berjenis Quadplane.....	13
3.2 Fixed-Wing Unmanned Aerial Vehicle (UAV).....	14
3.3 Rotary-Wing Unmanned Aerial Vehicle (UAV)	18
3.4 Model Wahana Terbang.....	19
3.4.1 Pendefinisian variable model wahana terbang	19
3.4.2 Persamaan gerak wahana Terbang	21
3.5 Linear Quadratic Regulator (LQR).....	22
3.6 Momen Inersia	24
3.7 Inertial Measurement Unit (IMU).....	25
3.7.1 Gyroscope.....	25
3.7.2 Accelerometer.....	25



3.8	Digital Motion Processing (DMP)	26
3.9	Global Positioning System (GPS).....	27
3.10	Respon Transien Sistem Kendali	28
BAB IV METODE PENELITIAN		30
4.1	Tahapan Penelitian	30
4.2	Analisis Sistem.....	32
4.3	Arsitektur Sistem	35
4.4	Skenario Penerbangan.....	37
4.4.1	Fase Terbang Vertikal	37
4.4.2	Fase Terbang Hover (altitude hold).....	37
4.4.3	Fase Terbang Horisontal.....	38
4.5	Rancangan Sistem Kendali	38
4.6	Penentuan Model VTOL- <i>plane</i>	42
4.7	Final Element Control.....	46
4.8	Rancangan Perangkat Keras Elektronik	50
4.9	Rancangan Perangkat Keras mekanik.....	51
4.10	Rancangan Simulasi.....	52
4.11	Rancangan Perangkat Lunak.....	54
4.12	Sub-Program Setup	56
4.13	Sub- program sistem kendali	57
4.14	Rancangan Pengujian.....	58
4.14.1	Rancangan Pengujian Kestabilan anti-rotasi Wahana VTOL- <i>plane</i>	59
4.14.2	Rancangan Pengujian Kestabilan <i>Automated</i> VTOL pada fase lepas landas dan mendarat	59
4.14.3	Rancangan Pengujian Kestabilan Transisi pada saat <i>Cruise</i>	60
BAB V IMPLEMENTASI.....		63
5.1	Implementasi Perangkat Keras.....	63
5.1.1	Implementasi Elektronik	63
5.1.2	Implementasi Mekanik	63
5.2	Simulasi Sistem Kendali	64
5.2.1	Penentuan Parameter Kendali.....	64

5.2.2	Simulasi kendali	66
5.3	Implementasi Kendali <i>Full State Feedback</i> LQR untuk gerak Rotasi....	67
5.4	Implementasi Wahana untuk mempertahankan ketinggian (<i>altitude hold</i>)	68
BAB VI PEMBAHASAN.....		70
6.1	Hasil Kalibrasi Pengukuran Orientasi Sikap.....	70
6.2	Hasil pengujian sikap Anti-rotasi wahana Pada Fase Lepas Landas dan Mendarat	72
6.2.1	Hasil simulasi dan Validasi di Lapangan sudut roll	72
6.2.2	Hasil simulasi dan Validasi di Lapangan sudut <i>pitch</i>	76
6.2.3	Hasil simulasi dan Validasi di Lapangan sudut <i>yaw</i>	79
6.3	Hasil Pengujian kestabilan <i>Automated</i> VTOL pada fase lepas landas dan mendarat.....	82
6.3.1	Hasil Pengujian kestabilan wahana <i>Automated</i> VTOL fase lepas landas	82
6.3.2	Hasil Pengujian kestabilan wahana <i>Automated</i> VTOL fase mendarat	90
6.4	Hasil Pengujian kestabilan Transisi pada saat <i>Cruise</i>	97
6.4.1	Hasil Pengujian kestabilan transisi mode VTOL ke mode Flying-wing pada saat <i>Cruise</i>	98
6.4.2	Hasil Pengujian kestabilan transisi mode Flying-wing ke VTOL pada saat <i>Cruise</i>	107
BAB VII KESIMPULAN		115
7.1	Kesimpulan	115
7.2	Saran	115
DAFTAR USTAKA		117

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 VTOL-plane dengan konfigurasi flywing UAV	13
Gambar 3.2 Desain flying wing UAV (Kakaes et al., 2015)	14
Gambar 3.3 Gerak pada 3 sumbu axis (Hall NASA, 2015)	15
Gambar 3.4 <i>Body-axes</i> dan <i>angle of attack and sideslip</i> (Markin,2010).....	17
Gambar 3.5 <i>Quadrotor</i> (Carrilo dkk., 2013).....	18
Gambar 3.6 Konfigurasi pergerakan <i>quadrotor</i> (Domingues, 2009).....	19
Gambar 3.7 Sumbu wahana, kecepatan gaya, momen dan sudut <i>euler</i> (Fossen, 2011)	20
Gambar 3.8 Gambaran sistem 6-DOF (Starlino, 2009)	26
Gambar 3.9 Arsitektur komunikasi sensor dengan DMP (Nasiri dkk,2010).....	27
Gambar 4.1 Arsitektur Sistem Elektronik	36
Gambar 4.2 Skenario Penerbangan.....	37
Gambar 4.3 Sistem kendali secara umum.....	38
Gambar 4.4 Blok diagram sistem kendali.....	40
Gambar 4.5 Rancangan skematik elektronis sistem.....	51
Gambar 4.6 Rancangan model pesawat	52
Gambar 4.7 Diagram alir simulasi sistem kendali	53
Gambar 4.8 Rancangan Perangkat Lunak.....	55
Gambar 4.9 Algoritme sub-program setup.	57
Gambar 4.10 Algoritme sub-program kendali	58
Gambar 5.1 Mekanik wahana VTOL- <i>plane</i>	64
Gambar 5.2 Kode program simulasi kendali LQR pada MATLAB	67
Gambar 5.3 Deklarasi variabel K yang digunakan	68
Gambar 5.4 Kode program sistem kendali stabilisasi rotasi.....	68
Gambar 5.5 Kode Program Sistem Kendali Ketinggian.....	69
Gambar 6.1 Grafik hasil simulasi untuk stabilisasi rotasi <i>roll</i> dengan nilai $Q\phi = 100$	73
Gambar 6.2 Hasil validasi di lapangan untuk stabilisasi rotasi <i>roll</i> dengan nilai $Q\phi = 100$	74

Gambar 6.3 Grafik hasil simulasi untuk stabilisasi rotasi <i>roll</i> dengan nilai $Q\phi = 65$	74
Gambar 6.4 Hasil validasi di lapangan untuk stabilisasi rotasi <i>roll</i> dengan nilai $Q\phi = 65$	75
Gambar 6.5 Grafik hasil simulasi MATLAB untuk stabilisasi rotasi <i>pitch</i>	77
Gambar 6.6 Hasil validasi di lapangan untuk stabilisasi rotasi <i>pitch</i>	78
Gambar 6.7 Grafik hasil simulasi MATLAB untuk stabilisasi rotasi <i>yaw</i>	80
Gambar 6.8 Hasil validasi di lapangan untuk stabilisasi rotasi <i>yaw</i>	81
Gambar 6.9 Hasil validasi dilapangan stabilisasi <i>Automated</i> VTOL terhadap ketinggian fase lepas landas	84
Gambar 6.10 Hasil validasi di lapangan stabilisasi <i>Automated</i> VTOL gerak rotasi <i>roll</i> fase lepas landas tanpa perlakuan gangguan	85
Gambar 6.11 Hasil validasi di lapangan stabilisasi <i>Automated</i> VTOL gerak rotasi <i>roll</i> fase lepas landas dengan perlakuan gangguan simpangan.....	86
Gambar 6.12 Hasil validasi di lapangan stabilisasi <i>Automated</i> VTOL gerak rotasi <i>pitch</i> fase lepas landas tanpa perlakuan gangguan.....	88
Gambar 6.13 Hasil validasi di lapangan stabilisasi <i>Automated</i> VTOL gerak rotasi <i>pitch</i> fase lepas landas dengan perlakuan gangguan simpangan.....	89
Gambar 6.14 Hasil validasi dilapangan stabilisasi <i>Automated</i> VTOL terhadap ketinggian fase mendarat	92
Gambar 6.15 Hasil validasi di lapangan stabilisasi <i>Automated</i> VTOL gerak sudut <i>roll</i> fase mendarat tanpa perlakuan gangguan.....	93
Gambar 6.16 Hasil validasi di lapangan stabilisasi <i>Automated</i> VTOL gerak sudut <i>roll</i> fase mendarat dengan perlakuan gangguan simpangan	94
Gambar 6.17 Hasil validasi di lapangan stabilisasi <i>Automated</i> VTOL gerak sudut <i>pitch</i> fase mendarat tanpa perlakuan gangguan	95
Gambar 6.18 Hasil validasi di lapangan stabilisasi <i>Automated</i> VTOL gerak sudut <i>pitch</i> fase mendarat dengan perlakuan gangguan simpangan	96
Gambar 6.19 Variasi hasil validasi di lapangan kendali <i>auto</i> transisi VTOL ke <i>flying-wing</i> terhadap ketinggian fase <i>cruise</i>	100



Gambar 6.20 Hasil validasi di lapangan stabilisasi gerak rotasi <i>roll</i> fase <i>cruise</i> tanpa perlakuan gangguan.....	101
Gambar 6.21 Hasil validasi di lapangan stabilisasi gerak rotasi <i>roll</i> fase <i>cruise</i> dengan perlakuan gangguan simpangan	102
Gambar 6.22 Hasil validasi di lapangan stabilisasi gerak rotasi <i>pitch</i> fase <i>cruise</i> tanpa perlakuan gangguan.....	104
Gambar 6.23 Hasil validasi di lapangan stabilisasi gerak rotasi <i>pitch</i> fase <i>cruise</i> dengan perlakuan gangguan simpangan	105
Gambar 6.24 Variasi hasil validasi di lapangan kendali <i>auto</i> transisi <i>flying-wing</i> ke VTOL terhadap ketinggian fase <i>cruise</i>	108
Gambar 6.25 Hasil validasi di lapangan stabilisasi gerak rotasi <i>roll</i> fase <i>cruise</i> tanpa perlakuan gangguan.....	109
Gambar 6.26 Hasil validasi di lapangan stabilisasi gerak rotasi <i>roll</i> fase <i>cruise</i> dengan perlakuan gangguan simpangan	110
Gambar 6.27 Hasil validasi di lapangan stabilisasi gerak rotasi <i>pitch</i> fase <i>cruise</i> tanpa perlakuan gangguan.....	112
Gambar 6.28 Hasil validasi di lapangan stabilisasi gerak rotasi <i>pitch</i> fase <i>cruise</i> dengan perlakuan gangguan simpangan	113

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tinjauan pustaka	10
Tabel 2.2 (lanjutan)	11
Tabel 2.3 (lanjutan)	12
Tabel 3.1 Tabel persamaan momen inersia (Hibbeler, 2016).....	25
Tabel 4.1 Tahapan Penelitian.....	30
Tabel 4.2 Penyesuaian variabel untuk penurunan model.....	42
Tabel 5.1 Spesifikasi mekanik wahana VTOL- <i>plane</i>	64
Tabel 5.2 Komponen <i>inersia</i> wahana	65
Tabel 6.1 Hasil kalibrasi nilai <i>offset</i> sensor	70
Tabel 6.2 Nilai rata-rata dan standar deviasi luaran sensor hasil pengujian	71
Tabel 6.3 Variasi penalaan nilai $Q\phi$ dengan nilai K yang dihasilkan.....	72
Tabel 6.4 Karakteristik respon sistem gerak rotasi <i>roll</i>	76
Tabel 6.5 Penalaan nilai $Q\theta$ dan nilai K yang optimal.....	77
Tabel 6.6 Karakteristik respon sistem gerak rotasi <i>pitch</i>	79
Tabel 6.7 Penalaan nilai $Q\theta$ dan nilai K yang optimal.....	79
Tabel 6.8 Karakteristik respon sistem gerak rotasi <i>yaw</i>	82
Tabel 6.9 Penalaan nilai $Q\theta$ dan nilai K yang optimal.....	83
Tabel 6.10 Karakteristik kendali LQR pada gerak rotasi <i>roll</i>	87
Tabel 6.11 Karakteristik kendali LQR pada gerak rotasi <i>pitch</i>	90
Tabel 6.12 Penalaan nilai Q dan nilai K yang optimal	91
Tabel 6.13 Karakteristik kendali LQR pada gerak rotasi <i>roll</i>	95
Tabel 6.14 Karakteristik kendali LQR pada gerak rotasi <i>pitch</i>	97
Tabel 6.15 Nilai Optimal Q dan K.....	99
Tabel 6.16 Hasil variasi pengujian ketinggian transisi fase <i>cruise</i>	101
Tabel 6.17 Karakteristik respon sistem gerak rotasi <i>roll</i>	103
Tabel 6.18 Variasi percobaan karakteristik respon sistem gerak rotasi <i>roll</i>	103
Tabel 6.19 Karakteristik respon sistem gerak rotasi <i>Pitch</i>	105
Tabel 6.20 Karakteristik respon sistem gerak rotasi <i>Pitch</i>	106
Tabel 6.21 Nilai Optimal Q dan K.....	107



Tabel 6.22 Hasil variasi pengujian ketinggian transisi fase <i>cruise</i>	109
Tabel 6.23 Karakteristik respon sistem gerak rotasi <i>roll</i>	111
Tabel 6.24 Karakteristik respon sistem gerak rotasi <i>roll</i>	111
Tabel 6.25 Karakteristik respon sistem gerak rotasi <i>pitch</i>	113
Tabel 6.26 Karakteristik respon sistem gerak rotasi <i>pitch</i>	114