



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
INTISARI.....	xii
ABSTRACT	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Kontribusi Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Sistem pada <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (UAV).....	8
2.2 Metode Sistem Kendali pada UAV	11
2.3 Model Matematika QTW UAV.....	18
BAB III LANDASAN TEORI.....	28
3.1 <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (UAV) dan <i>Quad-Tilt-Wing</i>	28
3.1.1 Deskripsi dari Mode Terbang QTW.....	30
3.2 <i>Inertial Measurement Unit</i> (IMU).....	31
3.2.1 Akselerometer	31
3.2.2 Giroskop	36
3.3 Pemodelan dengan <i>State space</i>	36
3.4 <i>Linear Quadratic Integral</i> (LQI).....	40
3.4.1 Formulasi <i>State Augmentation</i> LQI.....	41
3.4.2 Penambahan <i>State Integrator</i>	45
3.4.3 Fungsi Biaya pada Pengendali <i>Linear Quadratic Integral</i> (LQI) 52	
3.4.4 Persamaan Riccati dan Perhitungan <i>Gain</i> LQI	56
3.4.5 <i>Gain Linear Quadratic Integral</i> (LQI).....	66
BAB IV METODE PENELITIAN	72
4.1 Tahapan Penelitian	72
4.1.1 Analisa kebutuhan sistem kendali.....	72
4.1.2 Pemodelan matematika pada wahana QTW UAV	74
4.1.3 Simulasi usulan metode pada QTW UAV	76
4.1.4 Kriteria Toleransi Performa (Acceptance Criteria).....	77
4.2 Penulisan naskah publikasi dan laporan disertasi	78
4.2.1 Penulisan naskah publikasi.....	78
4.2.2 Penulisan Laporan Disertasi.....	78
4.3 Peralatan	79
4.4 Spesifikasi Ukuran Wahana Quad Tilt-Wing (QTW) UAV	80



4.4.1	Dimensi Utama Wahana.....	80
4.4.2	Dimensi Sayap.....	80
4.4.3	Jarak Antar Sayap (Tandem Wing Stagger).....	80
4.4.4	Posisi Rotor (Sesuai Model Dinamika).....	81
BAB V PEMODELAN DAN SIMULASI		82
5.1	Model Matematika <i>Quad Tilt Wing</i> UAV.....	82
5.1.1	Gaya Total pada QTW UAV.....	84
5.1.2	Gaya Pada Motor.....	84
5.1.3	Gaya Pada Sayap.....	87
5.1.4	Gaya Pada <i>Fuselage</i>	89
5.1.5	Gaya Gravitasi.....	92
5.1.6	Torsi pada QTW UAV	92
5.1.7	Torsi Giroskopik	93
5.1.8	Torsi <i>Rotor</i>	96
5.1.9	Torsi Sayap.....	103
5.1.10	Mode <i>take off - hovering</i> – transisi – <i>cruise</i> – transisi - <i>hover</i> – <i>descent/landing</i> pada gerak Translasi dan Gerak Rotasi.....	106
5.2	Rancangan sistem kendali QTW UAV	111
5.2.1	Sistem kendali QTW UAV dengan LQI.....	111
5.2.2	Blok diagram sistem kendali.....	127
5.3	Pengujian model dengan sistem kendali	132
5.3.1	Pengujian model matematika QTW UAV menggunakan simulasi.....	132
5.4	Hasil Penentuan Nilai Parameter Pemodelan dan Simulasi.....	133
5.5	Perubahan Momen Inersia UAV terhadap Sudut <i>Tilt</i>	135
5.5.1	Komponen dan Konfigurasi UAV.....	135
5.5.2	Transformasi Inersia Akibat <i>Tilt</i>	135
5.5.3	Perhitungan Momen Inersia Total UAV	136
5.5.4	Implikasi terhadap Sistem Kendali	138
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN		141
6.1	Hasil Pengujian pada semua mode menggunakan LQI LTI	141
6.1.1	3D <i>Trajectory</i>	151
6.1.2	<i>Rotor Thrusts</i>	154
6.1.3	Total <i>Body Moments</i>	156
6.1.4	Gaya pada QTW UAV	158
6.1.5	<i>Wing Tilt Angle</i>	161
6.1.6	<i>Airspeed vs Reference</i>	163
6.1.7	Respon <i>error</i> pada sumbu z	164
6.1.8	<i>Attitude</i> pada sumbu x	167
6.1.9	Respon <i>error</i> pada sumbu y	168
6.1.10	Respon <i>error</i> pada sudut <i>roll</i> (ϕ)	170
6.1.11	Respon <i>error</i> pada sudut <i>pitch</i> (θ)	171
6.1.12	Respon <i>error</i> pada sudut <i>Yaw</i> (ψ).....	173
6.1.13	Analisis Kinerja Kendali Berdasarkan Metrik RMSE pada Setiap Fase Penerbangan pada QTW UAV dengan metode kendali LTI-LQI.....	174



6.2	Hasil Pengujian pada semua mode menggunakan LPV LQI	179
6.2.1	Trajektori 3D	189
6.2.2	Respon <i>error</i> ϕ	190
6.2.3	Respon <i>error</i> θ	191
6.2.4	Respon <i>error</i> ψ	192
6.2.5	<i>Attitude</i> pada sumbu x	192
6.2.6	Respon <i>error</i> Y	194
6.2.7	Respon <i>error</i> Z (<i>Altitude tracking Error</i>)	195
6.2.8	<i>Thrust Rotor</i>	197
6.2.9	<i>Total Body Moments</i>	198
6.2.10	Gaya pada QTW UAV	199
6.2.11	<i>Wing Tilt Angle</i>	201
6.2.12	<i>Airspeed vs Reference</i>	202
6.2.13	Analisis Kinerja Kendali Berdasarkan Metrik RMSE pada Setiap Fase Penerbangan pada QTW UAV dengan metode kendali LPV-LQI	204
6.3	Perbandingan Hasil Pengujian Kendali LTI-LQI dan LPV-LQI....	210
6.3.1	Stabilitas Sistem pada Seluruh Fase Penerbangan	210
6.3.2	Respons Dinamika pada Fase Transisi <i>Hover-Cruise</i> dan <i>Cruise-Hover</i>	210
6.3.3	Performa <i>tracking</i> terhadap Referensi <i>Airspeed</i> dan <i>Altitude</i>	211
6.3.4	Karakteristik Gaya Angkat dan Respons Sistem Kendali....	211
6.3.5	Perbandingan Analisis Kinerja Kendali Berdasarkan Metrik RMSE (LTI-LQI vs LPV-LQI).....	212
BAB VII	223
KESIMPULAN DAN SARAN	223
7.1	Kesimpulan.....	223
7.2	Saran.....	224
DAFTAR PUSTAKA	226