

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR SIMBOL	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xv
INTISARI.....	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Manfaat.....	3
1.5. Batasan Masalah	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Studi Pustaka.....	5
2.2. Dasar Teori	10
2.2.1. <i>Quadcopter</i>	10
2.2.2. <i>Mini Quadcopter</i>	13
2.2.3. <i>State Space</i>	13
2.2.4. <i>Pemodelan Matematis Quadcopter</i>	16
2.2.5. <i>Linear Quadratic Estimator</i>	24
2.2.6. <i>Linear Quadratic Regulator</i>	24
2.2.7. <i>Controllability dan Observability</i>	26
2.2.8. <i>Perangkat Lunak Simulasi</i>	27
2.2.9. <i>Mini Quadcopter Berbasis STM32F401</i>	28
BAB III METODE PROYEK AKHIR.....	36
3.1. Lokasi Pengambilan Data.....	36

3.2. Bahan.....	36
3.3. Peralatan	37
3.4. Tahapan Proyek Akhir.....	38
3.5. Perancangan <i>Mini Quadcopter</i>	39
3.5.1. Rangkaian <i>Flight Controller</i>	39
3.5.2. <i>Programmer Flight Controller</i>	41
3.5.3. <i>Frame Mini Quadcopter</i>	42
3.5.4. Perakitan <i>Mini Quadcopter</i>	43
3.5.5. Perancangan <i>Testbed</i>	44
3.6. Perancangan Kontrol	45
3.7. Cara Pengujian	51
3.8. Data Simulasi.....	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	58
4.1. Hasil <i>Open loop Response</i> Model <i>linear</i> dan <i>Nonlinear</i>	58
4.2. <i>Gain</i> LQE dan LQR	59
4.3. Hasil Simulasi Menggunakan MATLAB	60
4.4. Hasil Implementasi Pada <i>Mini Quadcopter</i> STM32F401	61
4.4.1. Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Mendekati Nol	62
4.4.2. Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 0 Hingga 15 Derajat	64
4.4.3. Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 30 Hingga 60 Derajat	72
4.4.4. Saat <i>Swing</i>	80
4.5. Simpulan Hasil Implementasi	87
BAB V PENUTUP	88
5.1. Kesimpulan	88
5.2. Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Jenis Gerakan <i>Quadcopter</i>	10
Gambar 2. 2 Orientasi <i>Quadcopter</i>	11
Gambar 2. 3 Blok Diagram <i>State Space</i>	14
Gambar 2. 4 <i>Zero Order Hold</i>	15
Gambar 2. 5 Blok Diagram LQR.....	25
Gambar 2. 6 Desain Kontrol LQR dan Kalman Filter	26
Gambar 2. 7. STM32F401.....	28
Gambar 2. 8. Sensor MPU6050.....	30
Gambar 2. 9. Motor DC 716 <i>Coreless</i>	31
Gambar 2. 10 Rangkaian <i>Driver Motor</i>	32
Gambar 2. 11. Baterai Li-Po	33
Gambar 2. 12. <i>Propeller</i>	34
Gambar 2. 13 <i>Testbed</i>	35
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Tahapan Proyek Akhir	38
Gambar 3. 2 <i>Schematic Flight Controller</i>	40
Gambar 3. 3 Desain PCB <i>Mini Quadcopter</i>	41
Gambar 3. 4 Desain PCB Programmer Flight Controller	42
Gambar 3. 5 Kerangka <i>Quadcopter</i>	43
Gambar 3. 6 <i>Hardware Mini Quadcopter</i>	44
Gambar 3. 7 Perancangan <i>Testbed</i>	45
Gambar 3. 8 <i>Flowchart Quadcopter</i> STM32F401	46
Gambar 3. 9 Pengujian <i>Mini Quadcopter</i>	51
Gambar 3. 10 <i>Flowchart</i> Sistem Simulasi	52
Gambar 4. 1 <i>Open Loop Response</i> Model <i>Linear</i> dan <i>Nonlinear</i>	58
Gambar 4. 2 Hasil <i>Plot</i> Sudut <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> MATLAB.....	60
Gambar 4. 3 Hasil <i>Plot</i> Kecepatan Sudut <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> MATLAB	61
Gambar 4. 4 Arah Pengujian <i>Mini Quadcopter</i>	62
Gambar 4. 5 Kecepatan Sudut Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> mendekati Nol.....	63
Gambar 4. 6 Posisi <i>Roll</i> dan Kontrol U2	63
Gambar 4. 7 Posisi <i>Pitch</i> dan Kontrol U3.....	64
Gambar 4. 8 Kecepatan Sudut Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 0° Hingga 15° Arah <i>left</i>	65
Gambar 4. 9 Kecepatan Sudut Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 0° Hingga 15° Arah <i>Right</i>	65
Gambar 4. 10 Kecepatan Sudut Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 0° Hingga 15° Arah <i>Forward</i>	66
Gambar 4. 11 Kecepatan Sudut Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 0° Hingga 15° Arah <i>Backward</i>	66
Gambar 4. 12 Posisi Sudut <i>Roll</i> dan Kontrol U2 Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 0° Hingga 15° Arah <i>Left</i>	67
Gambar 4. 13 Posisi Sudut <i>Pitch</i> dan Kontrol U3 Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 0° Hingga 15° Arah <i>Left</i>	67

Gambar 4. 14 Posisi Sudut <i>Roll</i> dan Kontrol U2 Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 0° Hingga 15° Arah <i>Right</i>	68
Gambar 4. 15 Posisi Sudut <i>Pitch</i> dan Kontrol U3 Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 0° Hingga 15° Arah <i>Right</i>	68
Gambar 4. 16 Posisi Sudut <i>Roll</i> dan Kontrol U2 Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 0° Hingga 15° Arah <i>Forward</i>	69
Gambar 4. 17 Posisi Sudut <i>Pitch</i> dan Kontrol U3 Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 0° Hingga 15° Arah <i>Forward</i>	69
Gambar 4. 18 Posisi Sudut <i>Roll</i> dan Kontrol U2 Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 0° Hingga 15° Arah <i>Forward</i>	70
Gambar 4. 19 Posisi Sudut <i>Pitch</i> dan Kontrol U3 Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 0° Hingga 15° Arah <i>Forward</i>	70
Gambar 4. 20 Kecepatan Sudut Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 30° Hingga 60° Arah <i>Left</i>	72
Gambar 4. 21 Kecepatan Sudut Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 30° Hingga 60° Arah <i>Right</i>	73
Gambar 4. 22 Kecepatan Sudut Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 30° Hingga 60° Arah <i>Forward</i>	73
Gambar 4. 23 Kecepatan Sudut Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 30° Hingga 60° Arah <i>Backward</i>	74
Gambar 4. 24 Posisi Sudut <i>Roll</i> dan Kontrol U2 Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 30° Hingga 60° Arah <i>Left</i>	75
Gambar 4. 25 Posisi Sudut <i>Pitch</i> dan Kontrol U3 Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 30° Hingga 60° Arah <i>Left</i>	75
Gambar 4. 26 Posisi Sudut <i>Roll</i> dan Kontrol U2 Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 30° Hingga 60° Arah <i>Right</i>	76
Gambar 4. 27 Posisi Sudut <i>Pitch</i> dan Kontrol U3 Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 30° Hingga 60° Arah <i>Right</i>	76
Gambar 4. 28 Posisi Sudut <i>Roll</i> dan Kontrol U2 Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 30° Hingga 60° Arah <i>Forward</i>	77
Gambar 4. 29 Posisi Sudut <i>Pitch</i> dan Kontrol U3 Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 30° Hingga 60° Arah <i>Forward</i>	77
Gambar 4. 30 Posisi Sudut <i>Roll</i> dan Kontrol U2 Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 30° Hingga 60° Arah <i>Backward</i>	78
Gambar 4. 31 Posisi Sudut <i>Pitch</i> dan Kontrol U3 Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 30° Hingga 60° Arah <i>Backward</i>	78
Gambar 4. 32 Kecepatan Sudut <i>Pitch</i> Saat <i>Swing Left- Right</i>	81
Gambar 4. 33 Kecepatan Sudut <i>Roll</i> Saat <i>Swing Left- Right</i>	81
Gambar 4. 34 Kecepatan Sudut <i>Pitch</i> Saat <i>Swing Forward-Backward</i>	82
Gambar 4. 35 Kecepatan Sudut <i>Roll</i> Saat <i>Swing Forward-Backward</i>	82
Gambar 4. 36 Posisi Sudut <i>Pitch</i> dan Kontrol U3 Saat <i>Swing Left - Right</i>	84
Gambar 4. 37 Posisi Sudut <i>Roll</i> dan Kontrol U2 Saat <i>Swing Left - Right</i>	84

Gambar 4. 38 Posisi Sudut <i>Pitch</i> dan Kontrol U3 Saat <i>Swing Forward - Backward</i>	85
Gambar 4. 39 Posisi Sudut <i>Roll</i> dan Kontrol U2 Saat <i>Swing Forward - Backward</i>	85

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tinjauan Pustaka	8
Tabel 2. 2 Tinjauan Pustaka (lanjutan)	9
Tabel 2. 3 Parameter <i>Coreless Mini Quadcopter</i>	12
Tabel 2. 4 Spesifikasi STM32F401	29
Tabel 2. 5 Spesifikasi Motor DC 716 <i>Coreless</i>	31
Tabel 2. 6 Spesifikasi Baterai Li-Po	33
Tabel 2. 7 Spesifikasi <i>Propeller</i>	34
Tabel 3. 1 Bahan Pembuatan <i>Quadcopter</i> dan <i>Testbed</i>	36
Tabel 3. 2 Peralatan	37
Tabel 3. 3 Program Arduino Pembacaan MPU6050	48
Tabel 3. 4 Program Arduino Perhitungan <i>State Variable</i>	48
Tabel 3. 5 Program Arduino Hitung Nilai <i>Error</i>	49
Tabel 3. 6 Program Arduino Koreksi Estimasi <i>State</i>	49
Tabel 3. 7 Program Arduino Hitung Nilai <i>Input</i> Kontrol	49
Tabel 3. 8 Program Arduino Kalkulasi PWM Kontrol	50
Tabel 3. 9 Program Arduino Kirim PWM Motor	50
Tabel 3. 10 Program MATLAB Parameter <i>Quadcopter</i>	53
Tabel 3. 11 Program MATLAB Matriks <i>State Space</i>	53
Tabel 3. 12 Program MATLAB Uji <i>Controllability</i> dan <i>Observability</i>	54
Tabel 3. 13 Program MATLAB Desain LQE	56
Tabel 3. 14 Program MATLAB Desain LQR	57
Tabel 3. 15 Program MATLAB Simulasi Perancangan Kontrol	57
Tabel 4. 1 Matriks Q dan R (LQE)	59
Tabel 4. 2 Matriks Q dan R (LQR)	59
Tabel 4. 3 Hasil Gain LQE (L)	59
Tabel 4. 4 Hasil Gain LQR (K)	60
Tabel 4. 5 Kecepatan Sudut Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> diantara 0° hingga 15°	65
Tabel 4. 6 Kecepatan Sudut Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> diantara 0° hingga 15° (Lanjutan)	66
Tabel 4. 7 Posisi dan Kontrol Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 0° Hingga 15°	67
Tabel 4. 8 Posisi dan Kontrol Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 0° Hingga 15°	68
Tabel 4. 9 Posisi dan Kontrol Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 0° Hingga 15°	69
Tabel 4. 10 Posisi dan Kontrol Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara Sudut 0° Hingga 15°	70
Tabel 4. 11 Kecepatan Sudut Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara 30° Hingga 60°	72
Tabel 4. 12 Kecepatan Sudut Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara 30° Hingga 60°	73
Tabel 4. 13 Kecepatan Sudut Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara 30° Hingga 60°	74
Tabel 4. 14 Posisi dan Kontrol Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara 30° Hingga 60°	75
Tabel 4. 15 Posisi dan Kontrol Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara 30° Hingga 60°	76
Tabel 4. 16 Posisi dan Kontrol Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara 30° Hingga 60°	77
Tabel 4. 17 Posisi dan Kontrol Saat <i>Roll</i> dan <i>Pitch</i> Diantara 30° Hingga 60°	78
Tabel 4. 18 Kecepatan Sudut Saat <i>Swing</i>	81

Tabel 4. 19 Kecepatan Sudut Saat <i>Swing</i> (Lanjutan).....	82
Tabel 4. 20 Posisi dan Kontrol Saat <i>Swing</i>	84
Tabel 4. 21 Posisi dan Kontrol Saat <i>Swing</i> (Lanjutan)	85