

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----|
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR TABEL | x |
| INTISARI | xi |
| <i>ABSTRACT</i> | xii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.6 Metodologi Penelitian | 3 |
| 1.7 Sistematika Penulisan | 5 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| BAB III LANDASAN TEORI | 9 |
| 3.1 <i>Quadrotor</i> | 9 |
| 3.2 <i>Sensor Fusion</i> | 10 |
| 3.2.1 <i>Madgwick quaternion</i> | 10 |
| 3.2.2 <i>Kalman Filter</i> | 12 |
| 3.3 LQR | 13 |
| 3.4 Pemodelan <i>Quadrotor</i> | 15 |
| BAB IV ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM | 20 |
| 4.1 Analisis Sistem | 20 |
| 4.2 <i>Sensor Fusion</i> IMU | 22 |
| 4.2.1 <i>Madgwick quaternion</i> | 22 |
| 4.2.2 <i>Kalman Filter</i> | 24 |
| 4.3 Arsitektur Sistem | 27 |
| 4.4 Rancangan Sistem Kendali | 28 |
| 4.5 Rancangan <i>Hardware</i> | 35 |
| 4.6 Rancangan Perangkat Lunak | 37 |
| 4.6.1 Prosedur setup | 38 |
| 4.6.2 Sub program <i>sensor fusion</i> IMU | 39 |
| 4.6.3 Prosedur kendali | 41 |
| 4.7 Rencana Pengujian | 42 |
| 4.7.1 Rencana pengujian <i>Madgwick quaternion Kalman Filter</i> | 42 |
| 4.7.2 Rencana pengujian kendali LQR untuk gerak rotasi | 43 |
| 4.7.3 Rencana pengujian kendali LQR untuk gerak translasi | 44 |
| 4.7.4 Rencana pengujian kendali LQR <i>auto take off</i> dan <i>landing</i> | 44 |
| BAB V IMPLEMENTASI | 46 |
| 5.1 Implementasi <i>Hardware</i> | 46 |

| | | |
|-----------------------------------|---|----|
| 5.2 | Penentuan Parameter Pemodelan | 47 |
| 5.3 | Pengujian <i>Madgwick quaternion Kalman Filter</i> | 49 |
| 5.4 | Pengujian Kendali LQR untuk Gerak Rotasi | 51 |
| 5.5 | Pengujian Kendali LQR untuk Gerak Translasi | 52 |
| 5.6 | Pengujian Kendali LQR <i>Auto Take Off</i> dan <i>Landing</i> | 54 |
| BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN | | 55 |
| 6.1 | Hasil Pengujian <i>Madgwick Quaternion Kalman Filter</i> | 55 |
| 6.2 | Hasil Pengujian Kendali LQR untuk Gerak Rotasi | 60 |
| 6.2.1 | Hasil pengujian sudut <i>roll</i> | 61 |
| 6.2.2 | Hasil pengujian sudut <i>pitch</i> | 64 |
| 6.2.3 | Hasil pengujian sudut <i>yaw</i> | 67 |
| 6.3 | Hasil Pengujian Kendali LQR untuk Gerak Translasi | 70 |
| 6.3.1 | Hasil pengujian pada sumbu <i>z</i> | 70 |
| 6.3.2 | Hasil pengujian pada sumbu <i>x</i> | 72 |
| 6.3.3 | Hasil pengujian pada sumbu <i>y</i> | 74 |
| 6.4 | Hasil Pengujian Kendali LQR <i>Auto Take Off</i> dan <i>Landing</i> | 76 |
| BAB VII KESIMPULAN | | 80 |
| 7.1 | Kesimpulan | 80 |
| 7.2 | Saran | 80 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 81 |
| LAMPIRAN | | 83 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 3.1 (a) <i>Pitch</i> , <i>roll</i> dan <i>yaw</i> dan (b) Konfigurasi <i>quadrotor</i> (Carrillo et al., 2013)..... | 10 |
| Gambar 3.2 <i>Frame</i> pada <i>quaternion</i> (Craig, 2005) | 12 |
| Gambar 3.3 Operasi <i>Kalman Filter</i> (Welch dan Bishop, 2006) | 13 |
| Gambar 4.1 Diagram arsitektur sistem <i>hardware</i> | 28 |
| Gambar 4.2 <i>Quadrotor</i> konfigurasi “X” | 31 |
| Gambar 4.3 Blok diagram sistem kendali dengan <i>gain K</i> | 34 |
| Gambar 4.4 Rancangan elektronik <i>shield board</i> | 35 |
| Gambar 4.5 Rancangan mekanik | 37 |
| Gambar 4.6 Bagan alir algoritme program utama..... | 38 |
| Gambar 4.7 Bagan alir algoritme setup..... | 39 |
| Gambar 4.8 (a) Bagan alir algoritme <i>Madgwick quaternion</i> dan (b) <i>Kalman Filter</i> | 40 |
| Gambar 4.9 Bagan alir algoritme kendali LQR | 42 |
| Gambar 5.1 <i>Shield board</i> | 46 |
| Gambar 5.2 Mekanik <i>quadrotor</i> | 47 |
| Gambar 5.3 Kode program MATLAB perhitungan nilai <i>K</i> | 49 |
| Gambar 5.4 Kode program <i>Kalman Filter</i> | 49 |
| Gambar 5.5 Kode program <i>Madgwick quaternion</i> | 50 |
| Gambar 5.6 Kode program kendali LQR untuk gerak rotasi | 52 |
| Gambar 5.7 Kode program kendali LQR untuk gerak translasi..... | 53 |
| Gambar 5.8 Kode program <i>auto take off</i> dan <i>landing</i> | 54 |
| Gambar 6.1 Karakteristik sensor IMU MPU6050 | 55 |
| Gambar 6.2 Hasil pengujian sudut <i>pitch Madgwick quaternion Kalman Filter</i> ... | 56 |
| Gambar 6.3 Hasil pengujian sudut <i>roll Madgwick quaternion Kalman Filter</i> | 58 |
| Gambar 6.4 (a) Hasil pengujian sudut <i>roll Q</i> sebesar 44 <i>Madgwick quaternion Kalman Filter</i> dan (b) <i>Madgwick quaternion</i> | 62 |
| Gambar 6.5 (a) Hasil pengujian respon sistem sudut <i>roll Madgwick quaternion Kalman Filter</i> dan (b) <i>Madgwick quaternion</i> | 63 |
| Gambar 6.6 (a) Hasil pengujian sudut <i>pitch Q</i> sebesar 35 <i>Madgwick quaternion Kalman Filter</i> dan (b) <i>Madgwick quaternion</i> | 66 |
| Gambar 6.7 (a) Hasil pengujian respon sistem sudut <i>pitch Madgwick quaternion Kalman Filter</i> dan (b) <i>Madgwick quaternion</i> | 67 |
| Gambar 6.8 Hasil pengujian sudut <i>yaw Q</i> sebesar 8 | 68 |
| Gambar 6.9 Hasil pengujian respon sistem sudut <i>yaw</i> | 69 |
| Gambar 6.10 Hasil pengujian sumbu <i>z Q</i> sebesar 2..... | 72 |
| Gambar 6.11 Hasil pengujian sumbu <i>x Q</i> sebesar 0,1 | 74 |
| Gambar 6.12 Hasil pengujian sumbu <i>y Q</i> sebesar 0,09 | 76 |
| Gambar 6.13 Grafik gerak translasi sumbu <i>z</i> pengujian <i>take off</i> dan <i>landing</i> otomatis | 76 |
| Gambar 6.14 Grafik gerak rotasi pengujian <i>take off</i> dan <i>landing</i> otomatis | 77 |
| Gambar 6.15 Grafik gerak translasi sumbu <i>x</i> dan <i>y</i> pengujian <i>take off</i> dan <i>landing</i> otomatis | 78 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Tinjauan pustaka | 7 |
| Tabel 3.1 Aturan <i>quaternion</i> | 11 |
| Tabel 3.2 Persamaan momen inersia (Hibbeler, 2016)..... | 19 |
| Tabel 4.1 Rencana pengujian | 45 |
| Tabel 5.1 Momen inersia..... | 48 |
| Tabel 6.1 Karakteristik sensor IMU MPU6050 | 55 |
| Tabel 6.2 Nilai rata-rata dan standar deviasi sudut <i>pitch Madgwick quaternion Kalman Filter</i> | 57 |
| Tabel 6.3 Nilai rata-rata dan standar deviasi sudut <i>roll Madgwick quaternion Kalman Filter</i> | 59 |
| Tabel 6.4 Variasi nilai Q sudut <i>roll</i> | 61 |
| Tabel 6.5 Variasi nilai Q sudut <i>pitch</i> | 65 |
| Tabel 6.6 Variasi nilai Q sudut <i>yaw</i> | 68 |
| Tabel 6.7 Variasi nilai Q sumbu z | 71 |
| Tabel 6.8 Variasi nilai Q sumbu x | 73 |
| Tabel 6.9 Variasi nilai Q sumbu y | 75 |