Pengembangan Sensorless Electronic Speed Controller dengan SimpleFOC untuk Motor Brushless Direct Current
Muhammad Ghiyats Ar Rahmaniey, Ir. Eka Firmansyah, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

# DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN ..... ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ..... iv
HALAMAN PERSEMBAHAN ..... v
KATA PENGANTAR ..... vi
DAFTAR ISI ..... vii
DAFTAR TABEL ..... ix
DAFTAR GAMBAR ..... x
DAFTAR SINGKATAN ..... xi
INTISARI ..... xii
ABSTRACT ..... xiii
BAB I PENDAHULUAN ..... 1
1.1 Latar Belakang ..... 1
1.2 Rumusan Masalah ..... 3
1.3 Tujuan Penelitian ..... 3
1.4 Batasan Penelitian ..... 3
1.5 Manfaat Penelitian ..... 4
1.6 Sistematika Penulisan ..... 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI ..... 5
2.1 Tinjauan Pustaka ..... 5
2.1.1 Komparasi Algoritma Komutasi pada Sistem Propulsi UAV ..... 5
2.1.2 Implementasi Metode Sensorless untuk Kendali Motor ..... 6
2.1.3 Implementasi Kendali Velocity pada Motor UAV ..... 6
2.1.4 Platform Pengembangan Open-Source dan Akselerasi Komputasi . 7
2.2 Dasar Teori ..... 8
2.2.1 Sistem Propulsi dan Kelistrikan Unmanned Aerial Vehicle (UAV). 8
2.2.2 Karakteristik Motor Brushless DC (BLDC) Tipe Outrunner ..... 9
2.2.3 Konsep Dasar Field Oriented Control (FOC) ..... 9
2.2.3.1 Transformasi Clarke ..... 10
2.2.3.2 Transformasi Park ..... 10
2.2.4 Metode Sensorless FOC dan Estimasi Posisi ..... 12
2.2.5 Model Matematis Hubungan Kecepatan Motor dengan Propeller .. 12
2.2.6 Kontroler Proportional-Integral (PI) ..... 13
2.2.7 Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM) ..... 14
2.2.8 Library SimpleFOC dan Arsitektur Mikrokontroler STM32 ..... 16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN ..... 17
3.1 Metode yang Digunakan ..... 17

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pengembangan Sensorless Electronic Speed Controller dengan SimpleFOC untuk Motor Brushless Direct Current**
Muhammad Ghiyats Ar Rahmaniey, Ir. Eka Firmansyah, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
**Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/**

3.1.1 Arsitektur Kendali Sistem ..... 18
3.1.2 Pemilihan Komponen Perangkat Keras ..... 20
3.1.2.1 Laptop ..... 20
3.1.2.2 Baterai ..... 20
3.1.2.3 Board B-G431B-ESC1 ..... 20
3.1.2.4 Motor BLDC A2212/6T 2200 KV ..... 23
3.1.3 Konfigurasi Lingkungan Perangkat Lunak ..... 24
3.1.4 Pemilihan Algoritma Estimasi Sensorless ..... 24
3.1.5 Pemilihan Metode Kontrol Kecepatan ..... 25
3.1.6 Pemilihan Metode Modulasi SVPWM ..... 26
3.1.7 Blok Diagram Keseluruhan Sistem ..... 27
3.1.8 Strategi Tuning Parameter FOC ..... 28
3.2 Alur Penelitian ..... 29
3.3 Keterbatasan dan Skenario Pengujian ..... 30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN ..... 33
4.1 Persiapan dan Perangkaian Perangkat Keras (*Hardware*) ..... 33
4.1.1 Modifikasi Komponen dan Antarmuka Kelistrikan ..... 33
4.1.2 Integrasi Rangkaian *Hardware* ..... 34
4.2 Persiapan Lingkungan Perangkat Lunak (*Software*) ..... 34
4.2.1 Konfigurasi *Board Support Package* (BSP) pada Arduino IDE ..... 34
4.2.2 Instalasi Pustaka *SimpleFOC* dan Ekstensi Algoritma ..... 36
4.2.2.1 Instalasi Pustaka Utama SimpleFOC ..... 36
4.2.2.2 Integrasi Ekstensi Algoritma MXLEMMING ..... 38
4.3 Implementasi Algoritma dan Inisialisasi Parameter ..... 39
4.3.1 Integrasi Kode ..... 39
4.3.2 Konfigurasi Parameter ..... 42
4.4 Skenario Pengujian dan Penalaan (*Tuning*) PI Kontroler ..... 42
4.4.1 Respon Awal Sistem Tanpa Penalaan ..... 44
4.4.2 Penalaan Penguatan Proporsional ($K_p$) ..... 45
4.4.3 Penalaan Penguatan Integral ($K_i$) ..... 46
4.5 Analisis Hasil Pengujian Kinerja ..... 47
4.5.1 Analisis Hubungan $K_p$ Terhadap Nilai Aktual RPM Motor ..... 47
4.5.2 Analisis Hubungan $K_i$ Terhadap Nilai Aktual RPM Motor ..... 48
BAB V Kesimpulan dan Saran ..... 50
5.1 Kesimpulan ..... 50
5.2 Saran ..... 50
DAFTAR PUSTAKA ..... 52
LAMPIRAN ..... L-1
L.1 Isi Lampiran ..... L-1

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pengembangan Sensorless Electronic Speed Controller dengan SimpleFOC untuk Motor Brushless Direct Current**
Muhammad Ghiyats Ar Rahmaniey, Ir. Eka Firmansyah, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
**Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/**

# DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Baterai LiPo CNHL ..... 20
Tabel 3.2 Spesifikasi Board B-G431B-ESC1 ..... 23

Tabel 4.1 Konfigurasi *Locked Parameter* dan *User Defined Parameter* pada Sistem ..... 43
Tabel 4.2 Rerata Aktual RPM Percobaan 1-10 ..... 46
Tabel 4.3 Penalaan Ki terhadap Respon RPM Motor ..... 47

Tabel L.1 Percobaan 1 ..... L-1
Tabel L.2 Percobaan 2 ..... L-2
Tabel L.3 Percobaan 3 ..... L-2
Tabel L.4 Percobaan 4 ..... L-3
Tabel L.5 Percobaan 5 ..... L-3
Tabel L.6 Percobaan 6 ..... L-4
Tabel L.7 Percobaan 7 ..... L-4
Tabel L.8 Percobaan 8 ..... L-5
Tabel L.9 Percobaan 9 ..... L-5
Tabel L.10 Percobaan 10 ..... L-6

Pengembangan Sensorless Electronic Speed Controller dengan SimpleFOC untuk Motor Brushless Direct
Current
Muhammad Ghiyats Ar Rahmaniey, Ir. Eka Firmansyah, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

# DAFTAR GAMBAR


Gambar 2.1 Diagram Alir Sistem Kelistrikan dan Propulsi UAV ..... 8
Gambar 2.2 Representasi Vektor dan Gelombang Arus Tiga Fasa $(a, b, c)$ ..... 10
Gambar 2.3 Representasi Vektor dan Gelombang Arus Hasil Transformasi Clarke $(\alpha, \beta)$ ..... 11
Gambar 2.4 Representasi Vektor dan Sinyal DC Hasil Transformasi Park $(d, q)$ 11
Gambar 2.5 Kombinasi Status Saklar dan Representasi Ruang Vektor pada SVPWM ..... 15
Gambar 3.6 Skema Integrasi Perangkat Keras dan Perangkat Lunak ..... 18
Gambar 3.7 Diagram Blok Arsitektur Kendali Sistem ..... 19
Gambar 3.8 Baterai LiPo CNHL 3S 2200 mAh ..... 21
Gambar 3.9 Development Board B-G431B-ESC1 ..... 21
Gambar 3.10 Diagram Blok Arsitektur Perangkat Keras B-G431B-ESC1 ..... 22
Gambar 3.11 Motor BLDC A2212/6T 2200 KV ..... 23
Gambar 3.12 Blok Diagram Keseluruhan Sistem Kendali *Sensorless* FOC ..... 27
Gambar 3.13 Diagram Alir Penelitian ..... 31
Gambar 4.14 Kondisi Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kabel serta Konektor *Banana* ..... 33
Gambar 4.15 Kondisi Sebelum dan Sesudah Pemasangan *Heatsink* pada MOSFET ESC ..... 34
Gambar 4.16 Hasil Integrasi Keseluruhan Perangkat Keras Pengujian (*Bench Test*) ..... 35
Gambar 4.17 Tampilan Konfigurasi Parameter Menu *Tools* STM32 pada Arduino IDE ..... 37
Gambar 4.18 Proses Instalasi Pustaka Utama *SimpleFOC* Melalui *Library Manager* ..... 38
Gambar 4.19 Flowchart dari inisialisasi dan loop utama *SimpleFOC* ..... 40
Gambar 4.20 Grafik Respons Sistem Tanpa Penalaan ($K_p = 0$, $K_i = 0$) ..... 44
Gambar 4.21 Grafik Karakteristik Tanggapan Kecepatan terhadap Variasi Parameter $K_p$ ..... 48
Gambar 4.22 Grafik Karakteristik Tanggapan Waktu Penetapan (*Settling Time*) terhadap Variasi Parameter $K_i$ ..... 49
Gambar L.1 Skematik Rangkaian Komunikasi CAN ..... L-7
Gambar L.2 Skematik Rangkaian *Daughterboard* ..... L-8
Gambar L.3 Skematik Rangkaian Mikrokontroler (MCU) ..... L-9
Gambar L.4 Skematik Rangkaian Manajemen Daya (*Power*) ..... L-10
Gambar L.5 Skematik Rangkaian Pembacaan Sensor (*Sensing*) ..... L-11