

**PERANCANGAN SISTEM PENGGERAK MOTOR BLDC BERBASIS *FIELD*
ORIENTED CONTROL (FOC) MENGGUNAKAN *CONTROLLER*
HOVERBOARD STM32F103RCT6 PADA AGV *FORKLIFT***

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan pada
Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro



Oleh:

Nadia Nur Rufaidhah

40040322650063

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO**

SEMARANG

2026

LAPORAN TUGAS AKHIR

PERANCANGAN SISTEM PENGGERAK MOTOR BLDC BERBASIS *FIELD ORIENTED CONTROL* (FOC) MENGGUNAKAN *CONTROLLER HOVERBOARD STM32F103RCT6*
PADA AGV *FORKLIFT*

Diajukan oleh:

Nadia Nur Rufaidhah

40040322650063

TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA DENGAN BAIK OLEH

Menyetujui,

Dosen Pembimbing


Rofiq Cahyo Prayogo, S.T., M.T.

NIP. 199505292024061001

Semarang, 29 September 2026

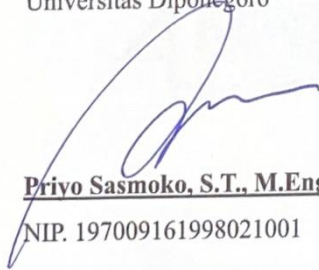
Mengetahui,

Ketua

Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro


Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng

NIP. 197009161998021001

Semarang, 29 September 2026

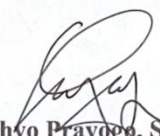
HALAMAN PENGESAHAN

PERANCANGAN SISTEM PENGGERAK MOTOR BLDC BERBASIS *FIELD ORIENTED CONTROL* (FOC) MENGGUNAKAN *CONTROLLER* HOVERBOARD STM32F103RCT6 PADA AGV *FORKLIFT*

Disusun oleh:
Nadia Nur Rufaidhah
40040322650063

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji
29 September 2026

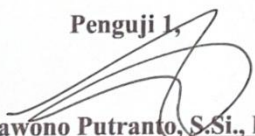
Pembimbing,


Rofiq Cahyo Prayogo, S.T., M.T.

NIP. 199505292024061001

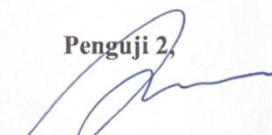
Tim Penguji

Penguji 1,


Ari Bawono Putranto, S.Si., M.Si.

NIP. 198501252019031007

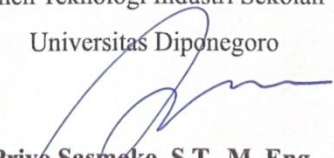
Penguji 2,


Priyo Sasmoko, S.T., M. Eng.

NIP. 197009161998021001

Mengetahui,

Ketua Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro


Priyo Sasmoko, S.T., M. Eng.

NIP. 197009161998021001

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Nama : Nadia Nur Rufaidhah
NIM : 40040322650063
Program Studi : S. Tr Teknologi Rekayasa Otomasi
Judul Tugas Akhir : PERANCANGAN SISTEM PENGGERAK MOTOR
BLDC BERBASIS *FIELD ORIENTED CONTROL* (FOC)
MENGUNAKAN *CONTROLLER* HOVERBOARD
STM32F103RCT6 PADA AGV *FORKLIFT*

Dengan ini menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh derajat keahlian di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan Mendiknas RI No 17 Tahun 2010 dan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Semarang, 25 September 2026

Penulis

Nadia Nur Rufaidhah

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, serta hidayah-Nya, tak terbilang sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Perancangan Sistem Penggerak Motor BLDC Berbasis *Field Oriented Control* (FOC) Menggunakan *Controller* Hoverboard STM32F103RCT6 Pada AGV *Forklift*” dengan baik. Shalawat serta salam disanjungkan pula kepada Baginda Besar Muhammad SAW

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis memperoleh banyak bantuan, bimbingan, dukungan, dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT. yang telah memberikan kesehatan, kekuatan, dan kemudahan selama proses perancangan, pengujian, dan penyusunan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua, Ibu Wiyani dan Ayah Sujianto yang dengan ketulusan dan kesabaran senantiasa memberi dukungan dan doa kepada penulis serta selalu mengusahakan apa yang penulis inginkan.
3. Bapak Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi D-IV Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.
4. Bapak Rofiq Cahyo Prayogo, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang dengan penuh kesabaran telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam memberikan bimbingan, arahan, serta masukan untuk penulis terus berkembang.
5. Adik penulis Navisa Nur Azizah beserta keluarga yang selalu memberikan dukungan dan semangat.
6. Firda Amanda Fitri sebagai teman penulis dari maba, magang hingga sampai di titik penulisan tugas akhir ini yang selalu memberikan support dan mendengarkan keluhan penulis selama di tembalang.
7. Yufa Artika Dewi sebagai teman penulis sejak maba yang selalu mendengarkan keluhan penulis selama di tembalang.
8. Rekan sekelompok Iqbal Ahnaf Khairullah dan Ernanta Fidel Mahardhika sebagai rekan dalam perancangan, diskusi dari awal sampai penyelesaian tugas akhir ini
9. Kezia, Elhida, Shafa, Putri sebagai teman seperjuangan penulis dari maba hingga menyelesaikan tugas akhir.

10. Kiki dan Farih yang membantu penulis dalam perancangan hingga membantu hal kecil dalam perancangan tugas akhir.
11. Teman-teman SATNAYAKA yang membuat hari hari penulis selama di tembalang lebih berwarna
12. Last but not least, untuk diri penulis sendiri. Terimakasih sudah mau memilih untuk terus berjuang dan bangkit dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Terimakasih sudah bertahan sejauh ini.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran membangun sangat diharapkan .

Semarang, 25 September

Nadia Nur Rufaidhah

NIM.40040322650063

DAFTAR ISI

LAPORAN TUGAS AKHIR.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
INTISARI	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Tugas Akhir.....	3
1.4 Manfaat Tugas Akhir	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Tugas Akhir	5
BAB II DASAR TEORI.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 <i>Autonomous Guided Vehicle (AGV)</i>	8
2.3 Kinematika Ackerman.....	9
2.4 <i>Brushless Direct Current (BLDC)</i>	10
2.4.1 Prinsip Kerja Motor BLDC	11
2.4.2 Model Elektrik Motor BLDC.....	12
2.4.3 Hubungan Torsi dan Dinamika Rotor	13

2.5	<i>Hall Effect Sensor</i>	14
2.6	<i>Controller Hoverboard STM32F103RCT6</i>	15
2.6.1	<i>Inverter Tiga Fasa dan PWM Komplementer</i>	17
2.6.2	<i>ADC dan Pengukuran Arus</i>	17
2.6.3	<i>Sinkronisasi Timer-ADC-DMA</i>	19
2.6.4	<i>Komunikasi Serial Controller</i>	19
2.7	<i>Field-Oriented Control (FOC)</i>	19
2.7.1	<i>Transformasi Clarke</i>	20
2.7.2	<i>Transormasi Park</i>	21
2.7.3	<i>Pengendali Arus d-q</i>	21
2.7.4	<i>Pembatasan Vektor Tegangan</i>	22
2.7.5	<i>Inverse Park dan Iverse Clarke</i>	22
2.7.6	<i>Space Vector PWM (SVPWM)</i>	23
2.7.7	<i>Arsitektur Cascade Kecepatan-Arus</i>	23
2.8	<i>Hubungan Beban, Torsi dan Arus Motor BLDC</i>	24
2.9	<i>Parameter Evaluasi Kinerja Sistem</i>	25
BAB III METODE PENELITIAN		27
3.1	<i>Diagram Blok</i>	27
3.1.1	<i>Diagram Blok Sistem</i>	27
3.1.2	<i>Diagram Blok Power</i>	28
3.1.3	<i>Diagram Blok Kontrol FOC</i>	29
3.2	<i>Gambar 3D AGV</i>	31
3.3	<i>Flowchart Sistem</i>	31
3.4	<i>Wiring Diagram</i>	33
3.5	<i>Spesifikasi dan Fitur</i>	34

3.5.1.	Spesifikasi Umum AGV.....	34
3.5.2.	Spesifikasi Motor BLDC	34
3.5.3.	Spesifikasi <i>Controller Motor</i>	35
3.5.4.	Spesifikasi Komponen	36
3.6	Teknik Fabrikasi.....	37
3.6.1.	Kebutuhan Mekanik dan Sistem Penggerak	37
a	Pembuatan Mekanisme Pengangkatan Fork	38
b	Pemasangan Motor BLDC.....	39
3.6.2.	Integrasi Hardware <i>Controller Motor</i> BLDC.....	40
a.	Instalasi Kabel Daya dan Motor Tiga Fasa	41
b.	Instalasi Hall Sensor dan Kabel Feedback	42
c.	Integrasi Jalur Pengukuran Arus dan DC-Link	43
3.7	Konfigurasi <i>Controller STM32F103RCT6</i>	44
3.8	Implementasi FOC dan Sinkronisasi ISR	47
3.9	Konfigurasi, <i>Telemetry</i> , dan <i>Controller ID</i>	49
3.10	Metode Tuning dan Prosedur Pengujian	50
3.10.1	Konfigurasi Awal Pengujian	50
3.10.2	Tahapan Tuning Inner Loop Arus	51
3.10.3	Pemilihan Kandidat Gain.....	53
3.10.4	Tuning Loop Kecepatan	53
BAB IV	PENGUJIAN DAN ANALISA	54
4.1	Pengujian Batas Arus Startup.....	54
4.2	Pengujian Pengaruh Gain terhadap Respon Kecepatan pada Seluruh Setpoint	59
4.2.1	Pengujian 1	59

4.2.2	Pengujian 2	61
4.2.3	Pengujian 3	63
4.3	Karakteristik Arus Id dan Iq pada Variasi Kp dan Ki Final	64
4.3.1	Respon Kecepatan	66
4.3.2	Respon Arus Iq	67
4.3.3	Pengaruh dan Arus Id	67
4.4	Analisis Kinerja Keseluruhan Berdasarkan Data Tuning dan Pengujian	68
4.4.1	Analisis Respon Kecepatan	69
BAB V PENUTUP		70
5.1	Kesimpulan	70
5.2	Saran	71
DAFTAR PUSTAKA		72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 AGV [14]	9
Gambar 2. 2 Roda BLDC [19]	11
Gambar 2. 3 Prinsip Kerja Motor BLDC (Sumber: Analisis Penulis, 2026)	11
Gambar 2. 4 Rangkaian Inverter 3 Fasa [22]	12
Gambar 2. 5 Controller Motor BLDC [23]	13
Gambar 2. 6 STM32F103RCT6 [27]	16
Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem (Sumber: Analisis Penulis, 2026)	27
Gambar 3. 2 Diagram Blok Power (Sumber: Analisis Penulis, 2026)	28
Gambar 3. 3 Diagram Blok FOC [32]	29
Gambar 3. 4 Desain AGV (Sumber: Analisis Penulis, 2026)	31
Gambar 3. 5 Flowchart Sistem (Sumber: Analisis Penulis, 2026)	32
Gambar 3. 6 Wiring Diagram (Sumber: Analisis Penulis, 2026)	33
Gambar 3. 7 Pengelasan Kerangka (Sumber: Analisis Penulis, 2026)	37
Gambar 3. 8 Pengelasan Motor BLDC (Sumber: Analisis Penulis, 2026)	38
Gambar 3. 9 Pengelasan Penggerak (Sumber: Analisis Penulis, 2026)	39
Gambar 3. 10 Pemasangan Panel Box (Sumber: Analisis Penulis, 2026)	40
Gambar 3. 11 Controller Hoverboard [28]	41
Gambar 3. 12 Rangkaian gate driver half-bridge MOSFET [28]	41
Gambar 3. 13 Skematik rangkaian I/O dan antarmuka board mikrokontroler [28]	43
Gambar 3. 14 Rangkaian penguat diferensial untuk pengondisian sinyal arus fasa motor [28]	44
Gambar 3. 15 Alur sinkronisasi PWM, sampling ADC, DMA, dan interrupt kendali FOC (Sumber: Analisis Penulis, 2026)	48
Gambar 3. 16 Flowchart sinkronisasi akuisisi arus dan algoritma FOC (Sumber: Analisis Penulis, 2026)	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tinjauan Pustaka (Sumber: Analisis Penulis,2026)	6
Tabel 2. 2 Spesifikasi BLDC	10
Tabel 2. 3 Fungsi Peripheral STM32F103RCT6 pada Controller Hoverboard	16
Tabel 3. 1 Spesifikasi AGV	34
Tabel 3. 2 Spesifikasi Motor BLDC	35
Tabel 3. 3 Spesifikasi Controller Hoverboard	35
Tabel 3. 4 Spesifikasi Komponen	36
Tabel 3. 5 Konfigurasi Terminal Daya dan Fasa Motor pada Controller Hoverboard	42
Tabel 3. 6 Konfigurasi Motor Controller	45
Tabel 3. 7 Konfigurasi Hall Sensor	45
Tabel 3. 8 Konfigurasi PWM Motor Kiri.....	45
Tabel 3. 9 Konfigurasi PWM Motor Kanan	46
Tabel 3. 10 Konfigurasi ADC Arus dan Tegangan.....	46
Tabel 3. 11 Konfigurasi Pin Komunikasi USART3 pada STM32F103RCT6	50
Tabel 3. 12 Konfigurasi Awal Pengujian Controller Motor BLDC	51
Tabel 3. 13 Tahapan Tuning Inner Loop Arus FOC	52

INTISARI

PERANCANGAN SISTEM PENGGERAK MOTOR BLDC BERBASIS *FIELD ORIENTED CONTROL* (FOC) MENGGUNAKAN *CONTROLLER* HOVERBOARD STM32F103RCT6 PADA AGV *FORKLIFT*

Nadia Nur Rufaidhah

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi,
Universitas Diponegoro

Autonomous Guided Vehicle (AGV) forklift membutuhkan sistem penggerak yang mampu mengendalikan kecepatan dan torsi motor secara stabil. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem penggerak dua motor *Brushless Direct Current* (BLDC) berbasis *Field Oriented Control* (FOC) menggunakan controller hoverboard STM32F103RCT6. Metode pengendalian menerapkan transformasi Clarke dan Park, pengendali PI pada arus dan kecepatan, *inverse transform*, serta *Space Vector Pulse Width Modulation* (SVPWM). Pengujian dilakukan melalui pengujian batas arus *startup*, variasi parameter Kp dan Ki, respons kecepatan pada setpoint 500 ERPM, serta karakteristik arus sumbu-d (I_d) dan sumbu-q (I_q). Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi Kp dan Ki memengaruhi respons kecepatan kedua motor. Pada variasi terpilih, kecepatan maksimum motor kiri mencapai sekitar 519 ERPM dan motor kanan 510 ERPM. Pengujian FOC menunjukkan bahwa perubahan arus lebih dominan pada I_q , sedangkan I_d relatif dipertahankan mendekati 0 A. Secara keseluruhan, sistem FOC berhasil diimplementasikan dan mampu mengendalikan kedua motor BLDC, meskipun masih terdapat perbedaan karakteristik respons antara motor kiri dan kanan.

Kata Kunci: AGV forklift, BLDC, Field Oriented Control, STM32F103RCT6, pengendali PI.

ABSTRACT

DESIGN OF A BLDC MOTOR DRIVE SYSTEM BASED ON FIELD-ORIENTED CONTROL (FOC) USING AN STM32F103RCT6 HOVERBOARD CONTROLLER FOR AN AGV FORKLIFT

Nadia Nur Rufaidhah

Automation Engineering Technology Study Program, Vocational School,
Diponegoro University

An Autonomous Guided Vehicle (AGV) forklift requires a drive system capable of controlling motor speed and torque stably. This study aims to design and implement a dual Brushless Direct Current (BLDC) motor drive system based on Field Oriented Control (FOC) using an STM32F103RCT6 hoverboard controller. The control method implements Clarke and Park transformations, PI current and speed controllers, inverse transformation, and Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM). The system was evaluated through startup current-limit testing, K_p and K_i parameter variations, speed-response testing at a 500 ERPM setpoint, and analysis of d-axis (I_d) and q-axis (I_q) currents. The results show that variations in K_p and K_i affect the speed response of both motors. With the selected parameter variation, the maximum speeds reached approximately 519 ERPM for the left motor and 510 ERPM for the right motor. The FOC test also shows that current variation is predominantly represented by I_q, while I_d remains relatively close to 0 A. Overall, the FOC system was successfully implemented and controlled both BLDC motors, although differences in response characteristics between the left and right motors remain.

Keywords: Robotic arm; Inverse kinematics; STM32F411CEU6; Red chili harvesting.