

**PERANCANGAN SISTEM KENDALI ROTASI DAN HEADING
MENGUNAKAN METODE PID PADA ROBOT AZIMUTH
DRIVE BERBASIS ESP32-S3**



Intelligentia - Dignitas

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi

Oleh :

PARTAONAN LUBIS

NIM : 1527422041

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2026

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kendali rotasi dan *heading* menggunakan metode *Proportional-Integral-Derivative* (PID) pada robot *azimuth drive* berbasis ESP32-S3 sehingga mampu menghasilkan pergerakan robot yang presisi dan stabil. Penelitian menggunakan metode prototipe yang meliputi analisis kebutuhan, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi komunikasi antara aplikasi Android dan ESP32-S3, penerapan algoritma *sensor fusion* Madgwick untuk memperoleh orientasi robot, identifikasi sistem berdasarkan respons yaw terhadap waktu untuk memperoleh model transfer fungsi, penentuan parameter awal PID menggunakan metode *Internal Model Control* (IMC), penyetelan (*tuning*) parameter PID, serta pengujian kinerja sistem. Perintah gerak berupa nilai LX, LY, dan RX dikirimkan dari aplikasi Android ke ESP32-S3 untuk mengendalikan motor stepper dan motor DC, sedangkan data orientasi dari sensor MPU9250 digunakan sebagai sinyal umpan balik pada sistem kendali PID. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter PID terbaik untuk kendali rotasi robot adalah $K_p = 1,2$, $K_i = 1,2$, dan $K_d = 0,425$, dengan rata-rata *error* sebesar $2,24^\circ$ dan *steady-state error* sebesar $0,88^\circ$. Pada sistem *heading hold*, parameter terbaik diperoleh pada $K_p = 2,3$, $K_i = 0,16$, dan $K_d = 0,2$, dengan rata-rata *error* sebesar $1,77^\circ$ serta *RMS error* sebesar $2,13^\circ$. Pengujian manuver menunjukkan bahwa robot mampu melakukan gerakan lurus, belok 45° , belok 90° , dan rotasi 180° dengan respons yang stabil serta *error* sudut yang relatif kecil. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa penerapan metode PID dengan parameter awal yang diperoleh menggunakan metode IMC mampu meningkatkan akurasi rotasi dan kestabilan *heading*, sehingga robot *azimuth drive* berbasis ESP32-S3 mampu bergerak sesuai arah yang diinginkan dengan tingkat presisi yang baik.

Kata kunci: *azimuth drive*, ESP32-S3, *heading*, IMC, PID.

ABSTRACT

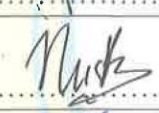
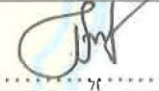
This study aims to design and implement a rotation and heading control system using the Proportional-Integral-Derivative (PID) method for an ESP32-S3-based azimuth drive robot to achieve accurate and stable robot motion. The research employed the prototype method, which included requirements analysis, hardware and software design, implementation of communication between the Android application and the ESP32-S3, implementation of the Madgwick sensor fusion algorithm for robot orientation estimation, system identification based on the robot's yaw response over time to obtain the transfer function model, determination of the initial PID parameters using the Internal Model Control (IMC) method, PID parameter tuning, and system performance evaluation. Motion commands in the form of LX, LY, and RX values were transmitted from the Android application to the ESP32-S3 to control the stepper motors and DC motors, while orientation data from the MPU9250 sensor were used as feedback signals for the PID control system. The experimental results showed that the optimal PID parameters for robot rotation control were $K_p = 1.2$, $K_i = 1.2$, and $K_d = 0.425$, resulting in an average error of 2.24° and a steady-state error of 0.88° . For the heading hold controller, the optimal parameters were $K_p = 2.3$, $K_i = 0.16$, and $K_d = 0.2$, producing an average error of 1.77° and an RMS error of 2.13° . Maneuver tests demonstrated that the robot successfully performed straight motion, 45° turns, 90° turns, and 180° rotations with stable responses and relatively small angular errors. These results indicate that the PID controller, whose initial parameters were determined using the IMC method, effectively improved rotational accuracy and heading stability, enabling the ESP32-S3-based azimuth drive robot to move accurately in the desired direction.

Keywords: azimuth drive, ESP32-S3, heading, IMC, PID.

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR
BENTUK : SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Partaonan Lubis
NIM : 1527422041
Program Studi/Fakultas : Teknologi Rekayasa Otomasi / Teknik
Judul Penelitian : Perancangan Sistem Kendali Rotasi dan Heading
Menggunakan Metode PID Pada Robot Azimuth Drive
Berbasis ESP32-S3

ini telah dipertahankan dihadapan dewan penguji dan dinyatakan **Lulus** / ~~Tidak Lulus~~)*
Ujian Tugas Akhir oleh Tim Penguji pada Tanggal 17 Juli 2026
Tim Penguji,

Ketua Penguji	Rafiuddin Syam, Ph.D.	
	NIDN : 0030037203	
Anggota Penguji (Penguji Ahli 1)	Churnia Sari, S.T., M.T.	
	NIDN : 0708129004	
Anggota Penguji (Penguji Ahli 2)	Nur Hanifah Yuninda, S.T., M.T.	
	NIDN : 0011068204	
Anggota Penguji (Pembimbing 1)	Taryudi, Ph.D.	
	NIDN : 0006088005	
Anggota Penguji (Pembimbing 2)	Rizki Pratama Putra, ST., MT.	
	NIDN : 0315089103	

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Neneng Siti Silfi Ambarwati, S.Si., Apt., M.Si.
NIDN. 0029027204

Koordinator Program Studi
Teknologi Rekayasa Otomasi



Syufrijal, S.T., M.T.
NIDN. 0027037604

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Nama : Partaonan Lubis
NIM : 1527422041
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Fakultas : Teknik
Judul : Perancangan Sistem Kendali Rotasi dan Heading
Menggunakan Metode PID Pada Robot Azimuth Drive Berbasis
ESP32-S3

Menyatakan Bahwa Tugas Akhir ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini saya siap menanggung risiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya tulis ilmiah ini.

Jakarta, 26 Juli 2026
Yang Menyatakan



Partaonan Lubis
No. Reg. 1527422041



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN
TEKNOLOGI UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
PERPUSTAKAAN DAN KEARSIPAN
Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220
Telepon/Faksimili 021-4894221
Laman: lib.unj.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya :

Nama : Partaonan Lubis
Nim : 1527422041
Fakultas/Prodi : Teknik/Teknologi Rekayasa Otomasi
Alamat email : partaonan12@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

☒ Skripsi ☐ Tesis ☐ Disertasi ☐ Lain-Lain (.....)

Yang Berjudul :

**PERANCANGAN SISTEM KENDALI ROTASI DAN HEADING
MENGUNAKAN METODE PID PADA ROBOT AZIMUTH DRIVE
BERBASIS ESP32-S3**

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 26 Juli 2026

Partaonan Lubis
1527422041

KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi berjudul *"Perancangan Sistem Kendali Rotasi dan Heading Menggunakan Metode PID pada Robot Azimuth Drive Berbasis ESP32-S3"* dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T.) pada Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Otomasi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis memperoleh bimbingan, bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat, kemudahan, dan kelancaran selama penyusunan skripsi.
2. Umak dan Ayah tercinta atas doa, kasih sayang, pengorbanan, serta dukungan selama penulis menempuh pendidikan.
3. Adik-adik penulis atas doa, pengertian, dan dukungan.
4. Bapak Taryudi, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing 1, atas bimbingan dan motivasi selama penyusunan skripsi.
5. Bapak Rizki Pratama Putra, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing 2, atas bimbingan dan arahan selama proses penelitian.
6. Bapak Syufrijal, ST., MT., Bapak Rafiuddin Syam, Ph.D., Bapak Drs. Rimulyo Wicaksono, MM., Ibu Nur Hanifah Yuninda, ST., MT., Bapak Heri Firmansyah, ST., MT., Ibu Churnia Sari, ST., MT., dan Bapak Bambang Tri Priya Sumprayaka, A.Md., selaku dosen Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Otomasi atas ilmu, arahan, dan bimbingan selama perkuliahan.
7. Teman-teman seperjuangan TRO, rekan-rekan Robotic Club UNJ 2024, khususnya Badan Pengurus Harian, serta rekan-rekan BEMP TRO 2023 atas kebersamaan, dukungan, dan kerja sama selama perkuliahan maupun kegiatan organisasi.
8. Seluruh pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan karya ilmiah ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang robotika, sistem kendali, dan teknologi otomasi.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI SARJANA TERAPAN	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN KARYA	v
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Rumusan Masalah.....	6
1.5 Tujuan Penelitian	6
1.6 Manfaat Penelitian	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA	8
2.1 Kerangka Teoritik.....	8
2.1.1 Penelitian Terdahulu yang Relevan.....	8
2.1.2 Definisi Robot.....	9
2.1.3 Sistem Pergerakan Robot Mobile	10
2.1.4 Heading, Rotasi, dan Steering.....	12
2.1.5 Kendali PID (Proportional-Integral-Derivative).....	14
2.1.6 Kontrol Robot dengan Aplikasi Android Studio	20
2.1.7 Motor Stepper	21
2.1.8 MPU9250	22
2.1.9 ESP32-S3-N16R8	25
2.2 Produk yang Dikembangkan.....	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	28

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	28
3.2 Metode Pengembangan Produk	28
3.3 Tahapan Penelitian	29
3.4 Bahan dan/atau Peralatan yang Digunakan.....	30
3.4.1 Perangkat Keras (Hardware).....	30
3.4.2 Perangkat Lunak (Software)	32
3.5 Rancangan Metode Pengembangan	33
3.5.1 Analisis Kebutuhan	33
3.5.2 Sasaran Produk.....	34
3.5.3 Rancangan Produk	35
3.5.4 Perancangan Sistem Kendali PID	38
3.5.5 Analisis dan Perancangan Sistem Steering	44
3.6 Metode Pengujian Sistem	48
3.6.1 Pengujian Fungsional Sistem.....	48
3.6.2 Pengujian Kalibrasi dan Akurasi MPU9250	49
3.6.3 Pengujian Respon PID Rotasi Robot	49
3.6.4 Pengujian Kendali PID Heading Hold	49
3.6.5 Pengujian Manuver Robot	49
3.7 Instrumen Penelitian	50
3.7.1 Kisi-Kisi Instrumen Penelitian.....	50
3.7.2 Validasi Instrumen Penelitian.....	51
3.8 Teknik Pengumpulan Data	52
3.9 Teknik Analisis Data	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	56
4.1 Deskripsi Hasil Penelitian.....	56
4.1.1 Penyusunan Komponen.....	56
4.1.2 Perakitan Body Robot	57
4.1.3 Prinsip Kerja Sistem	58
4.1.4 Hasil Kalibrasi dan Akurasi Heading MPU9250	59
4.1.5 Identifikasi Sistem dan Penentuan Parameter PID Awal	60
4.1.6 Hasil Pengujian dan Tuning PID Putar Robot	65
4.1.7 Hasil Pengujian PID Heading Hold	67

4.1.8 Hasil Pengujian Manuver Robot	68
4.1.9 Hasil Perbandingan Sistem Open-Loop dan Sistem Kendali PID	69
4.1.10 Konfigurasi Akhir Sistem Kendali PID yang Diterapkan	70
4.2 Analisis Data Penelitian	71
4.2.1 Analisis Akurasi Heading MPU9250	71
4.2.2 Analisis Respon PID Putar Robot	71
4.2.3 Analisis RMSE dan Respon PID Heading Hold	72
4.2.4 Analisis Manuver Robot	73
4.2.5 Analisis Perbandingan Sistem Open-Loop dan Sistem PID	74
4.2.6 Analisis Statistik	75
4.3 Pembahasan	76
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	81
5.1 Kesimpulan	81
5.2 Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	84
LAMPIRAN	86
RIWAYAT HIDUP	90