



**RANCANG BANGUN SISTEM NAVIGASI MOBILE
ROBOT DENGAN *INERTIAL MEASUREMENT UNIT*
(IMU) BERBASIS LOGIKA FUZZY DAN
PENDEKATAN KENDALI PROPORSIONAL
INTEGRAL DERIVATIF (PID)**

SKRIPSI

FAIZ DAFFA ULHAQ

2010314035

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
2023**



**RANCANG BANGUN SISTEM NAVIGASI MOBILE
ROBOT DENGAN *INERTIAL MEASUREMENT UNIT*
(IMU) BERBASIS LOGIKA FUZZY DAN
PENDEKATAN KENDALI PROPORSIONAL
INTEGRAL DERIVATIF (PID)**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik**

FAIZ DAFFA ULHAQ

2010314035

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
2023**

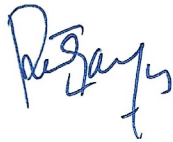
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi diajukan oleh :
Nama : Faiz Daffa Ulhaq
NIM : 2010314035
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : RANCANG BANGUN SISTEM NAVIGASI
MOBILE ROBOT DENGAN *INERTIAL
MEASUREMENT UNIT* (IMU) BERBASIS LOGIKA
FUZZY DAN PENDEKATAN KENDALI
PROPORSIONAL INTEGRAL DERIVATIF (PID)

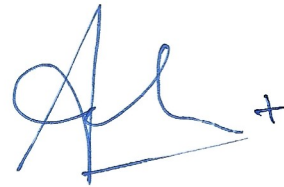
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.



Dr. Didit Widiyanto, S. Komp., M.Si
Penguji Utama



Fajar Rahayu Ikhwanul, S.T., M.T.
Penguji Lembaga



Achmad Zuchriadi P., S.T., M.T
Penguji I (Pembimbing)



Dr. Muchamad Oktaviandri, ST., MT., IPM., ASEAN.Eng.
Plt. Dekan Fakultas Teknik



Achmad Zuchriadi, S.T., M.T.
Kepala Program Studi Teknik Elektro

Ditetapkan di : Jakarta
Tanggal Ujian : 9 Januari 2024

LEMBAR PENGESAHAN

Rancang Bangun Sistem Navigasi Mobile Robot dengan *Inertial Measurement Unit* (IMU) berbasis Logika Fuzzy dan Pendekatan Kendali *Proporsional Integral Derivatif* (PID)

Faiz Daffa Ulhaq

NIM 2010314035

Disetujui Oleh

Pembimbing I



Achmad Zuchriadi S.T., M.T.

Pembimbing II

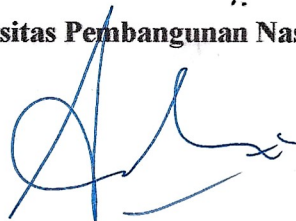


Ferdyanto S.T., M.T.

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta



Achmad Zuchriadi S.T., M.T.

PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini merupakan hasil karya sendiri, dan semua sumber yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan benar.

Nama : Faiz Daffa Ulhaq

NIM : 2010314035

Program Studi : Teknik Elektro

Bilamana dikemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan saya ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 9 Januari 2024

Yang menyatakan,



(Faiz Daffa Ulhaq)

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta,
Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Faiz Daffa Ulhaq

NIM : 2010314035

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-Exclusive Royalty Free Rights*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**RANCANG BANGUN SISTEM NAVIGASI MOBILE ROBOT DENGAN
INERTIAL MEASUREMENT UNIT (IMU) BERBASIS LOGIKA FUZZY
DAN PENDEKATAN KENDALI PROPORSIONAL INTEGRAL
DERIVATIF (PID)**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti ini, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 9 Januari 2024

Yang menyatakan,



Faiz Daffa Ulhaq

**RANCANG BANGUN SISTEM NAVIGASI MOBILE ROBOT DENGAN
INERTIAL MEASUREMENT UNIT (IMU) BERBASIS LOGIKA FUZZY
DAN PENDEKATAN KENDALI *PROPORSIONAL INTEGRAL
DERIVATIF* (PID)**

Faiz Daffa Ulhaq

ABSTRAK

Perkembangan robot semakin menjadi lebih otonom, dapat menyesuaikan diri, dan dapat berkolaborasi seiring waktu, sehingga mereka dapat berinteraksi satu sama lain dan bekerja bersama dengan manusia. Di antara berbagai jenis robot, mobile robot memiliki karakteristik unik yang mampu berpindah dari satu tempat ke tempat lain. Sistem navigasi mobile robot menjadi tantangan karena robot harus bergerak secara otonom tanpa menabrak objek di sekitarnya. Sistem komputasi lunak dianggap sebagai solusi untuk mengontrol mobile robot. Logika fuzzy dianggap sebagai teknik yang tepat untuk memecahkan masalah yang berurusan dengan aspek yang tidak tepat. Kinerja navigasi robot dapat ditingkatkan dengan menggabungkan sistem kontrol logika fuzzy dan PID. Sistem kendali PID digunakan untuk menstabilisasikan pembacaan sensor *Inertial Measurement Unit* (IMU) sesuai sudut akhir yang sudah ditentukan sebelumnya agar robot dapat bergerak lurus. Hasil pengujian logika fuzzy dengan percobaan masing-masing 100 data dari keluaran fuzzy didapat akurasi 97% dan presisi 97%. Hasil tuning PID dengan metode Ziegler-Nichols 2 masih perlu diperbaiki dengan menaikkan nilai Kd sehingga dapat menurunkan nilai *steady state error*. Pengujian penggabungan logika fuzzy dan kendali PID telah dilakukan dengan memberikan dua rintangan yang berbeda sehingga robot dapat bergerak menghindari rintangan secara adaptif.

Kata Kunci: *Mobile Robot*, Logika Fuzzy, dan Sistem Kendali PID.

**DESIGN AND DEVELOPMENT OF A MOBILE ROBOT NAVIGATION
SYSTEM WITH AN INERTIAL MEASUREMENT UNIT (IMU) BASED
ON FUZZY LOGIC AND A PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE
(PID) CONTROL APPROACH**

Faiz Daffa Ulhaq

ABSTRACT

Robots are increasingly becoming more autonomous, adaptable, and collaborative over time so that they can interact with each other and work together with humans. Among the various types of robots, mobile robots have the unique characteristic of moving from one place to another. Mobile robot navigation systems are challenging because they must move autonomously without colliding with objects around them. Soft computing systems are considered a solution to control mobile robots. Fuzzy logic is considered an appropriate technique for solving problems dealing with imprecise aspects. Combining fuzzy logic and PID control systems can improve robot navigation performance. The PID control system stabilizes the Inertial Measurement Unit (IMU) sensor readings according to a predetermined final angle so that the robot can move straight. The results of fuzzy logic testing by experimenting with 100 data each from the fuzzy output obtained an accuracy of 97% and a precision of 97%. The results of PID tuning using the Ziegler-Nichols 2 method still need to be improved by increasing the Kd value to reduce the steady-state error value. Tests combining fuzzy logic and PID control have been carried out by providing two different obstacles so that the robot can move to avoid obstacles adaptively.

Keywords: Mobile Robot, Fuzzy Logic, and PID Control System.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur ke hadirat Allah SWT atas segala kehendak dan karunia-Nya sehingga skripsi dengan judul “Rancang Bangun Sistem Navigasi Mobile Robot dengan *Inertial Measurement Unit* (IMU) berbasis Logika Fuzzy dan Pendekatan Kendali *Proporsional Integral Derivatif* (PID)”, dapat disusun dengan baik. Dalam penyusunan skripsi ini, tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan doa dari banyak pihak, Pada kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyusun karya ini, ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan kelancaran bagi penulis dalam menyusun skripsi.
2. Bapak Achmad Zuchriadi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I sekaligus selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta yang telah memberikan saran dan dukungan dalam menyusun skripsi.
3. Bapak Ferdyanto S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan saran dan dukungan dalam menyusun skripsi.
4. Keluarga yang memberikan dukungan dan mendoakan penulis agar dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Teman-teman Program Studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta yang telah memberikan bantuan, semangat, dan motivasi sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Jakarta, Januari 2024

Penulis,

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	ii
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 LANDASAN TEORI	4
2.1 State of the Art.....	4
2.2 Sistem Kendali Logika Fuzzy	8
2.3 Logika Fuzzy dengan Model Takagi-Sugeno-Kang.....	9
2.4 Sistem Kendali <i>Proportional Integral Derivative</i> (PID)	11
2.5 Metode Tuning PID dengan Ziegler-Nichols.....	13
2.6 <i>Inertial Measurement Unit</i> (IMU).....	14
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	16
3.1 Tahap Penelitian	16
3.2 Perangkat yang digunakan	17
3.3 Teknik Pengumpulan Data.....	19
3.4 Teknik Pengolahan Data	20
3.5 Implementasi	21

3.6	Jadwal Penelitian	26
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1	Pengujian Logika Fuzzy.....	27
4.2	Kalibrasi Sensor IMU	28
4.3	Tuning Kendali PID.....	28
4.4	Pengujian Sistem Fuzzy-PID dengan Rintangan.....	32
BAB 5	PENUTUP	34
5.1	Kesimpulan.....	34
5.2	Saran	34

DAFTAR PUSTAKA

RIWAYAT HIDUP

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Kontrol Fuzzy	8
Gambar 2.2 Representasi Kurva Linier Naik	10
Gambar 2.3 Representasi Kurva Linier Turun	10
Gambar 2.4 Representasi Kurva Segitiga	11
Gambar 2.5 Osilasi Ziegler-Nichols	14
Gambar 2.6 Roll (x), Pitch (y), dan Yaw (z) pada sensor IMU	15
Gambar 2.7 IMU berdasarkan dua jenis sensor.....	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	16
Gambar 3.2 Diagram Blok Mobile Robot.....	17
Gambar 3.3 Skematik Diagram Mobile Robot. (a) layout PCB atas, (b) layout PCB bawah.....	18
Gambar 3.4 Desain PCB Mobile Robot, (a) layout atas, (b) layout bawah	19
Gambar 3.5 Flowchart Alur Kerja Sistem.....	21
Gambar 3.6 Ilustrasi mobile robot mendeteksi objek disekitarnya	21
Gambar 3.7 Diagram Blok Fuzzy-PID	22
Gambar 3.8 Fungsi Keanggotaan Input Fuzzy	22
Gambar 3.9 Fungsi Keanggotaan Output Fuzzy (Singleton)	25
Gambar 3.10 Diagram Blok PID Stabilisasi Robot	25
Gambar 4.1 Alur kalibrasi sensor IMU.....	28
Gambar 4.2 Grafik Respon Mobile Robot pada Tuning PID.....	29
Gambar 4.3 Nilai periode kritis (Pcr) dari grafik respon	29
Gambar 4.4 Grafik Respon Mobile Robot dengan setpoint 0 ke -90,	30
Gambar 4.5 Grafik Respon Mobile Robot dengan setpoint 0 ke 90,.....	31
Gambar 4.6 Pengujian Hasil Fuzzy-PID pada Rintangan 1	32
Gambar 4.7 Ilustrasi Pergerakan Robot pada rintangan 1	32
Gambar 4.8 Pengujian Hasil Fuzzy-PID pada Rintangan 2.....	33
Gambar 4.9 Ilustrasi Pergerakan Robot pada rintangan 2	33

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 State of the Art Penelitian.....	4
Tabel 2.2 Tabel Ziegler-Nichols 2.....	14
Tabel 3.1 Multiclass Confusion Matrix	20
Tabel 3.2 Basis Aturan Fuzzy Takagi-Sugeno-Kang	23
Tabel 3.3 Jadwal Penelitian.....	26
Tabel 4.1 Confusion Matrix Logika Fuzzy	27