

SKRIPSI
DESAIN *STEERING CONTROL* PADA *AUTONOMOUS*
VEHICLE* MENGGUNAKAN METODE *IMPROVED
SWERVE DRIVE* BERBASIS ALGORITMA *FUZZY
LOGIC TYPE-1



Disusun Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Unviersitas Sriwijaya

Oleh :
BADAR ALPIAN
03041282126076

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025

LEMBAR PENGESAHAN

**DESAIN *STEERING CONTROL* PADA *AUTONOMOUS VEHICLE*
MENGUNAKAN METODE *IMPROVED SWERVE DRIVE* BERBASIS
*ALGORITMA FUZZY LOGIC TYPE-1***



SKRIPSI

**Disusun Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh

BADAR ALPIAN

03041282126076

Palembang, 22 Juli 2025

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Ir. M. Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU., APEC Eng.

NIP. 197108141999031005

Menyetujui,

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM.

NIP. 197502112003121002

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Badar Alpian
NIM : 03041282126076
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Universitas Sriwijaya

Hasil Pengecekan Software *iThenticate/Turnitin*: 1 %

Menyatakan bahwa laporan hasil penelitian saya yang berjudul "*Desain Steering Control Pada Autonomous Vehicle Menggunakan Metode Improved Swerve Drive Berbasis Algoritma Fuzzy Logic Type-1*" merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam karya ilmiah ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tanpa paksaan.

Indralaya, 22 Juli 2025



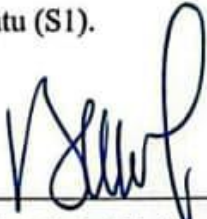
Badar Alpian

NIM. 03041282126076

HALAMAN PERNYATAAN DOSEN

Saya sebagai pembimbing menyatakan bahwa telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya skop dan kuantitas skripsi ini mencakupi sebagai mahasiswa sarjana strata satu (S1).

Tanda Tangan

:  _____

Pembimbing Utama

: Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM.

Tanggal

: Juli 2025

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Badar Alpian
NIM : 03041282126076
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah Saya yang berjudul:

**DESAIN STEERING CONTROL PADA AUTONOMOUS VEHICLE
MENGUNAKAN METODE IMPROVED SWERVE DRIVE BERBASIS
ALGORITMA FUZZY LOGIC TYPE-1**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tulisan Saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini Saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Indralaya

Pada tanggal: 22 Juli 2025



Badar Alpian

NIM. 03041282126076

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan Semesta Alam, atas segala limpahan rahmat, berkah, dan karunia-Nya sehingga penulisan dan penyusunan tugas akhir yang berjudul "*Desain Steering Control pada Autonomous Vehicle Menggunakan Metode Improved Swerve Drive Berbasis Algoritma Fuzzy Logic Type-1*" dapat diselesaikan dengan baik. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya. Proses pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan ini tentunya tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya dengan penuh ketulusan dan kerendahan hati kepada:

1. Untuk kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan moral, doa, motivasi, dan harapan kepada penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, ilmu, nasihat, doa dan berbagai masukan selama proses menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini dengan baik.
3. Ibu Dr. Eng. Ir. Suci Dwijayanti, S.T., M.S., IPM. Ibu Ir. Hera Hikmarika, S.T., M.Eng., Bapak Ir. Irmawan, S.Si., M.T., Bapak Ir. Rendyansyah, S.Kom., M.T., IPM., dan Bapak Baginda Oloan Siregar, S.T., M.T. sebagai dosen Teknik Kendali dan Robotika yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat selama perkuliahan serta memberikan bimbingan kepada penulis dalam menyusun tugas akhir ini.
4. Bapak Ir. Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D, IPU., APEC Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
5. Teman-teman seperjuangan *Autonomous Electric Vehicle* Reyhan, Oriz, dan Zaky telah berkontribusi waktu, tenaga, dan pikiran dalam menyelesaikan penelitian ini.
6. Teman-teman dan alumni klub Robotika Unsri yang selalu memberikan masukan, semangat, dan moral selama proses kepenulisan ini.

7. Seluruh teman-teman seperjuangan angkatan 2021 yang telah berjuang bersama, telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Kepada diri saya sendiri, terima kasih atas kepercayaan diri dan semangat yang tidak pernah habis dengan segala badai yang datang dari semua arah.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan, baik dari segi isi maupun penyajiannya. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca guna perbaikan dan penyempurnaan di masa yang akan datang.

Inderalaya, 22 Juli 2025

Penulis



Badar Alpian

NIM. 03041282126076

ABSTRAK
DESAIN STEERING CONTROL PADA AUTONOMOUS VEHICLE
MENGGUNAKAN METODE IMPROVED *SWERVE DRIVE* BERBASIS
ALGORITMA FUZZY LOGIC TYPE-1

(Badar Alpian, 03041282126076, 2025, 107 halaman)

Penelitian ini membahas perancangan dan implementasi sistem kendali kemudi pada kendaraan Autonomous Electric Vehicle (AEV) menggunakan metode *Improved Swerve Drive* berbasis algoritma *Fuzzy logic* Type-1. Sistem dirancang untuk meningkatkan manuverabilitas dan kestabilan kendaraan dalam berbagai kondisi operasional. Analisis struktural rangka kendaraan dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks, dan hasilnya menunjukkan bahwa desain mekanis mampu menahan beban hingga 8000 N dengan tegangan maksimum 19,454 MPa, jauh di bawah batas *yield strength* material *Alloy Steel* sebesar 620,422 MPa, serta deformasi sebesar 0,119 mm yang masih dalam batas aman. Sistem kendali *fuzzy* diuji melalui simulasi MATLAB dengan variasi *membership function* sebanyak 3, 5, dan 7. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi tujuh *membership function* memberikan performa terbaik, dengan nilai *overshoot* sebesar 7,33% dan *steady-state error* sebesar 0,0324, mengungguli konfigurasi lainnya maupun pengendali PID. Pengujian real-time prototipe AEV dilakukan dalam lima skenario: jalan lurus, belok 90°, parkir paralel, penghindaran rintangan, dan manuver di tempat. Sistem *fuzzy* 7 MF menunjukkan respons kendali yang cepat, presisi, dan adaptif dalam seluruh skenario, sedangkan pengendali PID mengalami keterbatasan dalam menghadapi perubahan lingkungan yang dinamis. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa algoritma *Fuzzy logic* Type-1 dengan tujuh *membership function* pada sistem *Improved Swerve Drive* mampu meningkatkan akurasi dan efisiensi kendali kemudi kendaraan otonom. Sistem ini layak untuk dikembangkan lebih lanjut menuju skala penuh dengan integrasi sensor visual dan sistem kendali tertutup.

Kata kunci: *Autonomous Electric Vehicle* (AEV), Sistem Kendali Kemudi, *Improved Swerve Drive*, *Fuzzy logic* Type-1

ABSTRACT
STEERING CONTROL DESIGN FOR AUTONOMOUS VEHICLES USING
AN IMPROVED SWERVE DRIVE METHOD BASED ON TYPE-1 FUZZY
LOGIC ALGORITHM

(Badar Alpian, 03041282126076, 2025, 107 pages)

This research presents the design and implementation of a steering control system for an Autonomous Electric Vehicle (AEV) using the Improved Swerve Drive method based on a Type-1 Fuzzy logic algorithm. The system is developed to enhance vehicle maneuverability and stability under various operational conditions. Structural analysis of the vehicle frame was conducted using SolidWorks, and the results indicate that the mechanical design can withstand loads up to 8000 N with a maximum stress of 19.454 MPa—well below the yield strength of Alloy Steel at 620.422 MPa—and a deformation of only 0.119 mm, demonstrating structural safety. The fuzzy control system was tested through MATLAB simulations using 3, 5, and 7 membership functions. The results show that the configuration with seven membership functions delivers the best performance, achieving an overshoot of 7.33% and a steady-state error of 0.0324, outperforming both other fuzzy configurations and conventional PID control. Real-time prototype testing was carried out across five scenarios: straight path, 90° turning, parallel parking, obstacle avoidance, and in-place maneuvering. The fuzzy 7-MF controller consistently demonstrated fast, precise, and adaptive responses, while the PID controller exhibited limitations in dynamic environments. The findings indicate that the Type-1 Fuzzy logic algorithm with seven membership functions, applied to an Improved Swerve Drive system, effectively enhances the accuracy and efficiency of steering control in autonomous vehicles. This system shows strong potential for further development at full scale, with the integration of visual sensors and closed-loop control for real-world application.

Keyword: *Autonomous Electric Vehicle (AEV), Steering Control, Improved Swerve Drive, Fuzzy logic Type-1*

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	1
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	iii
HALAMAN PERNYATAAN DOSEN	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABLE.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Keaslian Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 <i>State of The Art</i>	7
2.2 <i>Autonomous Electric Vehicle</i>	16
2.3 <i>Swerve Drive</i>	17
2.3.1 Komponen Utama <i>Swerve Drive</i>	18
2.3.2 Kinematika <i>Swerve Drive</i> [31].....	18

2.4	<i>Fuzzy Logic Controller (FLC)</i>	21
2.4.1	Fungsi Keanggotaan.....	22
2.4.2	Aturan <i>Fuzzy logic Controller</i>	24
2.4.3	Inferensi Sistem Kendali fuzzy	24
2.4.4	<i>Fuzzy logic</i> metode Sugeno.....	24
2.4.5	Defuzzifikasi	25
BAB III METODE PENELITIAN.....		26
3.1	Studi Literatur	26
3.2	Perancangan Sistem	27
3.2.1	Perancangan Desain AEV Skala Prototipe.....	27
3.2.2	Perancangan Desain <i>Improved Swerve Drive</i> Prototipe.....	27
3.2.3	Perancangan Desain AEV Skala Penuh	28
3.2.4	Perancangan Desain <i>Improved Swerve Drive</i> Skala Penuh	29
3.2.5	Perancangan Sistem <i>Hardware</i>	30
3.2.6	Perancangan <i>Software</i>	35
3.3	Pengujian Sistem.....	39
3.4	Analisis dan Kesimpulan.....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		40
4.1	Hasil Perancangan AEV Skala Penuh	40
4.2	Simulasi Beban pada <i>Solidworks</i>	40
4.1	Simulasi Beban Rangka AEV	44
4.2	Simulasi Beban Roda	46
4.3	Prototipe AEV	47
4.3.1	Spesifikasi prototipe.....	47
4.4	Hasil Perancangan Sistem Kendali <i>Fuzzy Logic Type-1</i>	48
4.4.1	Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy Logic Type-1</i>	49

4.4.2	Fuzzifikasi.....	55
4.4.3	<i>Rulebase</i>	55
4.4.4	Inferensi.....	57
4.4.5	Defuzzifikasi	58
4.5	Pengujian Simulasi <i>Steering Control</i> AEV dengan Aplikasi MATLAB.....	58
4.5.1	Simulasi <i>Fuzzy Type-1</i> dengan 3 <i>Member</i> untuk <i>Steering Angle</i> ..	60
4.5.2	Simulasi <i>Fuzzy Type-1</i> dengan 5 <i>Member</i> untuk <i>Steering Angle</i> ..	60
4.5.3	Simulasi <i>Fuzzy Type-1</i> dengan 7 <i>Member</i> untuk <i>Steering Angle</i> ..	61
4.5.4	Perbandingan 3, 5, 7 MF, dan PID <i>Steering Control</i>	62
4.6	Pengujian Simulasi <i>Speed Control</i> Motor DC AEV dengan Aplikasi MATLAB	64
4.6.1	Simulasi <i>Fuzzy Type-1</i> dengan 3 <i>Member</i> untuk <i>Speed Control</i> ...	65
4.6.2	Simulasi <i>Fuzzy Type-1</i> dengan 5 <i>Member</i> untuk <i>Speed Control</i> ...	66
4.6.3	Simulasi <i>Fuzzy Type-1</i> dengan 7 <i>Member</i> untuk <i>Speed Control</i> ...	67
4.6.4	Perbandingan 3, 5, 7 MF, dan PID untuk <i>Speed Control</i>	67
4.7	Pengujian <i>Realtime</i> Prototipe	69
4.7.1	Pengujian Jalan Lurus dengan Gangguan	69
4.7.2	Pengujian Belok 90°	83
4.7.3	Pengujian Parkir Paralel.....	90
4.7.4	Pengujian Menghindari Rintangan.....	99
4.7.5	Pengujian Bermanuver di Tempat	104
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		106
5.1	Kesimpulan	106
5.2	Saran.....	107
DAFTAR PUSTAKA		108

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Blok diagram sistem.....	7
Gambar 2. 2 Fungsi keanggotaan (a) kecepatan,(b) navigasi,(c) jarak,(d) arah stir	8
Gambar 2. 3 Rangkaian Pengontrol PID [19]	8
Gambar 2. 4 Diagram Blok Kontrol PID [19].....	9
Gambar 2. 5 Respon kecepatan dari (a) motor <i>Driving</i> (b) motor <i>steering</i>	9
Gambar 2. 6 Desain Mobil Beroda [23].....	10
Gambar 2. 7 Diagram Blok Sistem Kontrol [23]	10
Gambar 2. 8 Arsitektur robocar [24].....	12
Gambar 2. 9 Waktu yang digunakan	13
Gambar 2. 10 Kesalahan rata-rata	13
Gambar 2. 11 Swerve drive design	13
Gambar 2. 12 Blok diagram sistem kontrol [25].....	14
Gambar 2. 13 Rangkaian Schematic alat [26].....	15
Gambar 2. 14 (a) Tampilan depan dan (b) tampilan samping dari prototipe modul penggerak swerve yang dibuat dan (c) Prototipe tempat tidur rumah sakit bermotor dengan motor bernomor.	15
Gambar 2. 15 Kesalahan rata-rata secara keseluruhan (a) dan dipecah berdasarkan fase gerak, yaitu percepatan, perlambatan, dan kecepatan konstan (b) [26].....	16
Gambar 2. 16 Komponen utama AEV [27].....	16
Gambar 2. 17 Desain swerve drive [29].....	17
Gambar 2. 18 Komponen utama <i>swerve drive</i> [30]	18
Gambar 2. 19 Gerak translasi (kiri) dan gerak rotasi (kanan) [31]	19
Gambar 2. 20 vektor dari roda dan mobil [31].....	19
Gambar 2. 21 Blok diagram fuzzy logic controller [33].....	22
Gambar 2. 22 Grafik fungsi keanggotaan segitiga [34]	23
Gambar 2. 23 Grafik fungsi keanggotaan trapesium [34].....	23
Gambar 3. 1 Flowchart metode penelitian	26
Gambar 3. 2 Desain AEV skala prototipe	27
Gambar 3. 3 (a) Desain swerve drive, (b) Desain improved swerve drive	28
Gambar 3. 4 Desain AEV skala penuh.....	28
Gambar 3. 5 Desain Improved Swerve Drive AEV	29

Gambar 3. 6 Arduino Mega 2560.....	30
Gambar 3. 7 Arduino Nano	31
Gambar 3. 8 Sensor MPU6050	31
Gambar 3. 9 Sensor Jarak ultrasonik.....	31
Gambar 3. 9 Sensor Jarak ultrasonik.....	32
Gambar 3. 9 Sensor Jarak ultrasonik.....	32
Gambar 3. 11 Motor stepper NEMA 17	33
Gambar 3. 11 Driver A4988	33
Gambar 3. 10 Motor stepper NEMA 34.....	33
Gambar 3. 12 Driver DM860H	34
Gambar 3. 13 Motor Brushless DC QS3000W	34
Gambar 3. 14 Controller VOTOL EM-100.....	35
Gambar 3. 15 Diagram alir perancangan software.....	36
Gambar 3. 16 Diagram alir proses kerja sistem	37
Gambar 4. 1 Desain AEV Skala Penuh.....	40
Gambar 4. 2 a) <i>Mesh Quality</i> Rangka, b) <i>Mesh Quality</i> Roda	41
Gambar 4. 3 a) <i>Strain</i> (ESTRN) Rangka, b) <i>Strain</i> (ESTRN) Roda.....	42
Gambar 4. 4 a) <i>von Mises Stress</i> Rangka, b) <i>von Mises Stress</i> Roda.....	43
Gambar 4. 5 a) <i>Total Displacement</i> (URES) Rangka, b) <i>Total Displacement</i> (URES) Roda	44
Gambar 4. 6 AEV skala prototipe	47
Gambar 4. 7 <i>Wiring</i> Prototipe	48
Gambar 4. 8 Kurva Variabel Jarak <i>Obstacle 3 Member</i>	49
Gambar 4. 9 Kurva Variabel Jarak <i>Obstacle 5 Member</i>	50
Gambar 4. 10 Kurva Variabel Jarak <i>Obstacle 7 Member</i>	51
Gambar 4. 11 Kurva Variabel posisi <i>Obstacle 3 Member</i>	52
Gambar 4. 12 Kurva Variabel posisi <i>Obstacle 5 Member</i>	53
Gambar 4. 13 Kurva Variabel posisi <i>Obstacle 7 Member</i>	54
Gambar 4. 14 Diagram Blok <i>Simulink Steering Control</i>	58
Gambar 4. 15 Simulasi <i>Fuzzy Type-1 3 member</i>	60
Gambar 4. 16 Simulasi <i>Fuzzy Type-1 5 member</i>	61
Gambar 4. 17 Simulasi <i>Fuzzy Type-1 7 member</i>	61

Gambar 4. 18 Perbandingan 3, 5, 7 MF dan PID <i>Steering Control</i>	62
Gambar 4. 19 Diagram block simulasi <i>Simulink Speed Control</i>	64
Gambar 4. 20 Simulasi <i>Fuzzy Type-1 3 Member</i>	65
Gambar 4. 21 Simulasi <i>Fuzzy Type-1 5 Member</i>	66
Gambar 4. 22 Simulasi <i>Fuzzy Type-1 5 Member</i>	67
Gambar 4. 23 Simulasi <i>Fuzzy Type-1 5 Member</i>	67
Gambar 4. 24 Lintasan Pengujian jalan lurus	69
Gambar 4. 25 Proses distraksi manuver ke prototipe AEV.....	69
Gambar 4. 26 Pengujian Jalan Lurus 7 <i>Member Ke-1 input sudut</i>	70
Gambar 4. 27 Pengujian Jalan Lurus 7 <i>Member Ke-1 input jarak</i>	70
Gambar 4. 28 Pengujian Jalan Lurus 7 <i>Member Ke-2 input sudut</i>	71
Gambar 4. 29 Pengujian Jalan Lurus 7 <i>Member Ke-2 input jarak</i>	72
Gambar 4. 30 Pengujian Jalan Lurus 5 <i>Member Ke-1 input sudut</i>	73
Gambar 4. 31 Pengujian Jalan Lurus 5 <i>Member Ke-1 input jarak</i>	74
Gambar 4. 32 Pengujian Jalan Lurus 5 <i>Member Ke-2 input sudut</i>	74
Gambar 4. 33 Pengujian Jalan Lurus 5 <i>Member Ke-2 input jarak</i>	75
Gambar 4. 34 Pengujian Jalan Lurus 3 <i>Member Ke-1 input sudut</i>	76
Gambar 4. 35 Pengujian Jalan Lurus 3 <i>Member Ke-1 input jarak</i>	77
Gambar 4. 36 Pengujian Jalan Lurus 3 <i>Member Ke-2 input sudut</i>	77
Gambar 4. 37 Pengujian Jalan Lurus 3 <i>Member Ke-2 input jarak</i>	78
Gambar 4. 38 Pengujian Jalan Lurus PID Ke-1 <i>input sudut</i>	79
Gambar 4. 39 Pengujian Jalan Lurus PID Ke-1 <i>input jarak</i>	80
Gambar 4. 40 Pengujian Jalan Lurus PID Ke-2 <i>input sudut</i>	80
Gambar 4. 41 Pengujian Jalan Lurus PID Ke-2 <i>input jarak</i>	81
Gambar 4. 42 Pengujian Berbelok 90°	83
Gambar 4. 43 Pengujian belok 90° 7 <i>Member Ke-1 input sudut</i>	83
Gambar 4. 44 Pengujian belok 90° 7 <i>Member Ke-2 input sudut</i>	84
Gambar 4. 45 Pengujian belok 90° 5 <i>Member Ke-1 input sudut</i>	84
Gambar 4. 46 Pengujian belok 90° 5 <i>Member Ke-2 input sudut</i>	85
Gambar 4. 47 Pengujian belok 90° 3 <i>Member Ke-1 input sudut</i>	86
Gambar 4. 48 Pengujian belok 90° 3 <i>Member Ke-2 input sudut</i>	87
Gambar 4. 49 Pengujian belok 90° 3 <i>Member Ke-2 input sudut</i>	88

Gambar 4. 50 Pengujian belok 90° 3 <i>Member</i> Ke-2 <i>input</i> sudut	88
Gambar 4. 51 Pengujian Parkir Paralel dengan Jalan Menyamping.....	90
Gambar 4. 52 Pengujian Jalan Menyamping	91
Gambar 4. 53 Skenario distraksi jalan menyamping	91
Gambar 4. 54 Pengujian Parkir Paralel 7 <i>Member</i> Ke-1 <i>input</i> sudut.....	91
Gambar 4. 55 Pengujian Parkir Paralel 7 <i>Member</i> Ke-2 <i>input</i> sudut.....	92
Gambar 4. 56 Pengujian Parkir Paralel 5 <i>Member</i> Ke-1 <i>input</i> sudut.....	93
Gambar 4. 57 Pengujian Parkir Paralel 5 <i>Member</i> Ke-2 <i>input</i> sudut.....	94
Gambar 4. 58 Pengujian Parkir Paralel 3 <i>Member</i> Ke-1 <i>input</i> sudut.....	94
Gambar 4. 59 Pengujian Parkir Paralel 3 <i>Member</i> Ke-2 <i>input</i> sudut.....	95
Gambar 4. 60 Pengujian Parkir Paralel PID Ke-1 <i>input</i> sudut.....	96
Gambar 4. 61 Pengujian Parkir Paralel PID Ke-2 <i>input</i> sudut.....	97
Gambar 4. 62 Pengujian Menghindari Rintangan.....	99
Gambar 4. 63 Pengujian Menghindari Rintangan 7 <i>member</i> ke-1 <i>input</i> jarak.....	99
Gambar 4. 64 Pengujian Menghindari Rintangan 7 <i>member</i> ke-2 <i>input</i> jarak....	100
Gambar 4. 65 Pengujian Menghindari Rintangan 5 <i>member</i> ke-1 <i>input</i> jarak....	101
Gambar 4. 66 Pengujian Menghindari Rintangan 5 <i>member</i> ke-2 <i>input</i> jarak....	102
Gambar 4. 67 Pengujian Menghindari Rintangan 3 <i>member</i> ke-1 <i>input</i> jarak....	102
Gambar 4. 68 Pengujian Menghindari Rintangan 3 <i>member</i> ke-2 <i>input</i> jarak....	103
Gambar 4. 69 Pengujian Bermanuver 45°	104
Gambar 4. 70 Pengujian bermanuver 45° dengan <i>output</i> sudut stepper	105

DAFTAR TABLE

Tabel 2. 1° Keanggotaan [23].....	11
Tabel 2. 2 Nilai akurasi pada pengujian mobil.....	11
Tabel 3. 1 Fungsi Keanggotaan input Jarak Obstacle	37
Tabel 3. 2 Fungsi Keanggotaan input Posisi Obstacle	38
Tabel 3. 3 Fungsi Keanggotaan output kecepatan motor	38
Tabel 3. 4 Fungsi Keanggotaan output steering angle	39
Tabel 4. 1 Tabel Mesh Quality	41
Tabel 4. 2 Tabel Material <i>Alloy Steel</i>	43
Tabel 4. 3 Hasil simulasi beban rangka.....	44
Tabel 4. 4 Hasil simulasi beban roda	46
Tabel 4. 5 Rulebase 3 Member.....	56
Tabel 4. 6 <i>Rulebase 5 Member</i>	56
Tabel 4. 7 <i>Rulebase 7 Member</i>	57
Tabel 4. 8 Parameter Stepper Motor untuk Position Control	59
Tabel 4. 9 Perbandingan 3, 5, 7 <i>MF Steering Angle</i>	62
Tabel 4. 10 Parameter Speed Control dan Nilai DC Motor	64
Tabel 4. 11 Perbandingan 3, 5, 7 <i>MF Speed Control</i>	68
Tabel 4. 12 Perbandingan 3, 5, 7 MF, dan PID Skenario Jalan Lurus	81
Tabel 4. 13 Perbandingan 3, 5, 7 MF, dan PID Skenario Belok 90°	89
Tabel 4. 14 Perbandingan 3, 5, 7 MF, dan PID Skenario Parkir Paralel	97

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi di bidang transportasi telah membawa perubahan yang besar dalam kegiatan sehari-hari manusia dalam berpindah dari suatu tempat ke tempat lain. Salah satu inovasi yang menarik perhatian ialah kendaraan listrik atau *electric vehicle*, yang dapat mengurangi emisi karbon akibat pembakaran dari bahan bakar bensin [1][2][3]. Penggunaan kendaraan yang berbahan bakar listrik terbukti mampu menurunkan emisi CO₂ hingga 72% [3]. Selain itu juga kendaraan listrik *memberikan* suara mesin yang lebih halus dibandingkan kendaraan konvensional [3][4][5].

Selain itu juga, dalam beberapa dekade terakhir kendaraan telah mampu bergerak secara otonom atau disebut juga *autonomous vehicle* [6][7][8]. Kendaraan otonom merupakan sebuah kendaraan yang mampu bergerak secara otomatis dengan menggunakan teknologi canggih yang dapat menyesuaikan kondisi sekitar seperti, mengidentifikasi rute dan mendeteksi objek di sekitarnya [9][10][11]. Kendaraan otonom ini menggunakan beberapa sensor yang menjadi parameter kendaraan dalam bergerak seperti sensor kamera dan sensor jarak agar kendaraan dapat mengambil keputusan sendiri seperti berjalan, berhenti, berbelok sesuai perintah yang telah diprogram[11].

Dengan kelebihan ini, kendaraan otonom mampu meningkatkan keselamatan berkendara dengan meminimalisir kesalahan pengemudi, seperti kelalaian dan pengambilan keputusan yang salah[8][12]. Dengan sistem pengendali yang kompleks dan berbasis algoritma cerdas, kendaraan otonom ini dapat memprediksi situasi lalu lintas dan menghindari kecelakaan [8][12]. Selain itu juga, kendaraan otonom *memberikan* kelebihan yang mampu mengoptimalkan konsumsi energi melalui pola pengemudian yang efisien dan pengaturan kecepatan yang presisi[5][13].

Salah satu inovasi pengembangan dari kendaraan otonom ialah menggunakan metode penggerak *Swerve drive* [14][15]. Mekanisme ini memungkinkan kendaraan/mobil untuk bermanuver dengan bebas, karena setiap roda dapat berputar secara independen[15][16]. Dengan kelebihan ini, metode

gerak *swerve drive* dapat melakukan manuver yang lebih kompleks dan efisien, seperti berbelok tajam dan bergerak lateral, yang sangat berguna dalam situasi lalu lintas yang padat atau saat parkir paralel[17].

Dalam operasi kendaraan otonom umumnya, sangat bergantung terhadap data dari berbagai sensor seperti kamera dan sensor jarak, yang membutuhkan sistem pengendalian sangat kompleks untuk memastikan kendaraan dapat beroperasi dengan aman dalam berbagai situasi [11]. Ketidakpastian pada kendaraan otonom dalam menghadapi lingkungan seperti cuaca yang buruk atau jalan yang tidak terdeteksi dengan baik, juga menjadi tantangan yang signifikan [18]. Oleh karena itu, sistem pengendalian cerdas dan akurat sangatlah diperlukan untuk mengatasi permasalahan ini, terutama dalam konteks *swerve drive*, di mana kontrol sudut kemudi dan kecepatan menjadi krusial untuk mendukung kinerja kendaraan otonom agar dapat berfungsi secara optimal [19]. Bagian yang di kontrol dalam *autonomous vehicle* umumnya kecepatan dan sudut kemudi yang mempengaruhi keselamatan dan kenyamanan berkendara [9].

Berbagai metode telah dikembangkan untuk sistem kendali sudut kemudi pada kendaraan otonom, Metode *Proportional-Integral-Derivative* telah banyak digunakan dalam menentukan sudut kemudi karena kesederhanaanya[7][20], namun kurang efektif untuk sistem non-linear yang kompleks [21]. *Model Predictive Controller* (MPC) menawarkan prediksi performa yang lebih baik, akan tetapi memerlukan perhitungan matematika yang sangat kompleks, seperti menyelesaikan persamaan optimisasi kuadrat (*Quadratic Programming*) dalam waktu nyata, yang membutuhkan sumber daya komputasi tinggi [21]. Selain itu, metode *Fuzzy logic controller* (FLC) menjadi alternatif yang menarik karena kemampuannya yang adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan dan menangani ketidakpastian dan non-linearitas pada sistem kendaraan otonom [22]. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini mencakup implementasi *fuzzy logic* untuk mengatur jarak dan kecepatan mobil dengan memanfaatkan sensor inframerah dan sensor ultrasonik dalam skala prototipe. Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan keselamatan pengguna jalan dan mengurangi kecelakaan lalu lintas yang disebabkan oleh kesalahan pengemudi. Namun, dalam keadaan sebenarnya, mobil otonom harus mampu mendeteksi situasi sekitarnya dan tidak hanya

menggunakan sensor jarak, tetapi juga dengan kamera agar kendaraan dapat memahami kondisi di sekitarnya.

Dengan mempertimbangkan tantangan dan kebutuhan dalam pengendalian kendaraan otonom, penelitian ini akan mengembangkan sistem kontrol pada *Autonomous Electric Vehicle* (AEV) menggunakan metode *improved swerve drive* berbasis *Fuzzy logic controller type-1*. Metode *improved swerve drive* yang digunakan meliputi penggunaan motor DC yang terintegrasi dengan ban mobil tanpa kombinasi gear. Selain itu, pada arah sudut kemudi, sistem ini memanfaatkan pulley dan belt untuk meningkatkan torsi motor. Sistem kontrol *fuzzy* akan digunakan dalam menentukan kecepatan dan arah dari roda sehingga diharapkan dapat meningkatkan manuverabilitas, responsivitas, dan keselamatan berkendara dalam berbagai kondisi lingkungan.

1.2 Perumusan Masalah

Proses sistem kontrol kemudi yang ada pada *autonomous vehicle* saat ini masih belum efektif sepenuhnya sehingga mengakibatkan pergerakan mobil tidak fleksibel dalam beberapa kondisi seperti ruang sempit ketika parkir. Untuk mengatasi hal tersebut metode *improved swerve drive* dipilih karena kelebihanya dapat bermanuver secara *omnidirectional*. Namun, perakitan sistem *swerve drive* memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi sehingga dibutuhkan pengendalian sudut kemudi yang presisi. Selain itu, akurasi yang masih rendah juga menjadi permasalahan dalam merancang sistem kendali kemudi pada *autonomous vehicle*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem kontrol sudut kemudi yang efisien untuk mobil otonom dengan memanfaatkan motor stepper, motor DC, dan algoritma *Fuzzy logic controller*, serta melakukan perbandingan dengan PID. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem kontrol dalam meningkatkan manuverabilitas pada mobil otonom. Selain itu, penelitian ini juga akan mengidentifikasi dan mengatasi tantangan yang muncul dalam pengendalian sudut kemudi dan kecepatan pada berbagai kondisi lingkungan.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan sebagai berikut:

- a) Penelitian ini berfokus pada desain sasis dan desain *improved swerve drive* pada mobil otonom sehingga mobil mampu bergerak secara *omnidirectional*.
- b) Sistem kendali yang digunakan adalah *Fuzzy logic controller Type-1* dengan *output* berupa pengendalian sudut kemudi dan kecepatan mobil.
- c) Sistem kendali PID digunakan hanya sebagai pembanding terhadap metode utama yang diterapkan, yaitu *Fuzzy Logic Controller Type-1*.

1.5 Keaslian Penelitian

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian yang sebelumnya juga membahas AEV. Telah banyak penelitian yang telah dilakukan diantaranya, penelitian yang dilakukan oleh Bustanul Arifin, dkk. [6] mengusulkan metode kontrol kemudi untuk kendaraan otonom yang menggabungkan kontrol *fuzzy logic type-2* dengan kontrol PI, menggunakan *input* jarak, navigasi, dan kecepatan untuk menghasilkan sudut kemudi. Hasilnya menunjukkan bahwa kombinasi ini *memberikan* kontrol yang lebih halus dan efektif dibandingkan kontrol *fuzzy tipe-1*, terutama pada kecepatan rendah dan menengah. Namun, penelitian ini terbatas pada kendaraan kecil dengan kecepatan maksimum 40 km/jam dan tidak mempertimbangkan gangguan lingkungan.

Penelitian lain yang juga dilakukan oleh Naufal Rizki Prayogi, dkk. [19] membahas pengembangan teknologi *swerve drive* untuk mobil mobile yang memungkinkan gerakan *omnidirectional* dengan kecepatan tinggi. Metode yang digunakan mencakup perancangan sistem kontrol modular dengan komunikasi SPI dan penerapan kontrol PID untuk mengatur kecepatan dan posisi motor DC, yang dipilih karena kemampuannya dalam meningkatkan stabilitas dan responsivitas sistem. Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan akan mobil yang dapat beroperasi dengan presisi tinggi dalam berbagai aplikasi praktis. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kontrol PID berhasil mengurangi kesalahan hingga 0.006% untuk kontrol *Driving* dan 0.019% untuk kontrol *steering*, namun jurnal ini memiliki kekurangan dalam hal keterbatasan pengujian di berbagai kondisi dan kurangnya analisis mendalam mengenai potensi masalah serta perbandingan dengan metode kontrol lain.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Sang Made Sedana Yoga, dkk. [23] merancang sistem kendali untuk mobil beroda empat yang beroperasi secara otomatis menggunakan pengolahan citra dan *fuzzy logic*, dengan Raspberry Pi 4 sebagai mikrokomputer untuk mendeteksi objek seperti garis marka jalan, rambu lalu lintas, dan lampu lalu lintas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mobil dapat mendeteksi objek dengan akurasi rata-rata 92,7% dan mengendalikan pergerakan dengan akurasi 91,94%, mampu beroperasi otonom sesuai jalur yang ditentukan. Namun, penelitian ini memiliki kekurangan, termasuk keterbatasan dalam pengujian yang tidak mempertimbangkan variabel lingkungan yang dapat mempengaruhi kinerja mobil, serta potensi keterbatasan kecepatan pemrosesan pada Raspberry Pi dibandingkan dengan sistem yang lebih canggih.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Hongtao Xue, dkk. [24] berfokus pada pengembangan pengendali *fuzzy* untuk kendaraan otonom yang menggunakan metode rough sets dan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS). Metode yang digunakan meliputi normalisasi piramida untuk parameter keadaan dan penerapan ANFIS untuk mengendalikan pelacakan trajektori dan penghindaran rintangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengendali berbasis PN-ANFIS berhasil menghemat waktu hingga 7,6% dan mengurangi kesalahan pelacakan maksimum dan rata-rata masing-masing sebesar 8,1% dan 8,5% dibandingkan dengan pendekatan kontrol *fuzzy* lainnya. Namun, kekurangan dari penelitian ini adalah keterbatasan dalam pengujian yang hanya dilakukan pada empat jalur target, yang mungkin tidak mencakup semua kondisi lingkungan yang kompleks yang dapat dihadapi oleh kendaraan otonom di dunia nyata.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Bhakti Yudho Suprpto, dkk. [25] telah mengembangkan sistem kontrol posisi untuk gerakan mobil humanoid menggunakan metode *swerve drive* yang berbasis pada *fuzzy logic type-2*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kontroler *fuzzy* tipe-2 lebih andal dibandingkan dengan *fuzzy* tipe-1, dengan kesalahan *steady-state* yang kecil, stabilitas yang baik, dan tanpa *overshoot*, meskipun memiliki waktu respons dan durasi pemrosesan yang lebih lama. Namun, kekurangan dalam penelitian ini adalah bahwa meskipun *fuzzy* tipe-2 menunjukkan kinerja yang lebih baik, prosesnya lebih lambat

dibandingkan dengan *fuzzy* tipe-1, yang dapat menjadi kendala dalam aplikasi waktu nyata.

Lalu penelitian mengenai metode penggerak *swerve drive* dalam bidang kesehatan telah dilakukan oleh Radon Dhelika, dkk. [26] yang mengembangkan prototipe tempat tidur rumah sakit motorized dengan mekanisme *swerve drive* untuk meningkatkan mobilitas holonomik, mengatasi masalah pemindahan pasien yang sering memakan waktu dan berisiko cedera bagi perawat. Dalam penelitian ini menggunakan dua motor DC dengan sistem kontrol PID berbasis Trajektori polinomial quintic, prototipe menunjukkan kesalahan rata-rata kurang dari 3% pada kecepatan konstan, akan tetapi dalam akselerasi dan deselerasi prototipe ini memiliki kesalahan 15%. Meskipun berhasil menunjukkan kemampuan mobilitas holonomik melalui berbagai gerakan, penelitian ini mengidentifikasi kekurangan seperti akselerasi dan deselerasi yang memiliki kesalahan yang cukup tinggi dan perlunya evaluasi lebih lanjut terhadap penggunaan *steering motor* agar dapat bermanuver dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Adnan, G. M. Mahbubur Rahman, M. M. Hossain, M. S. Mim, and M. K. Rahman, "A Deep Learning Based *Autonomous Electric Vehicle* on Unstructured Road Conditions," *2022 12th IEEE Symp. Comput. Appl. Ind. Electron. ISCAIE 2022*, no. May, pp. 105–110, 2022, doi: 10.1109/ISCAIE54458.2022.9794498.
- [2] D. Strugar, R. Hussain, M. Mazzara, V. Rivera, J. Young Lee, and R. Mustafin, "On M2M Micropayments: A Case Study of Electric Autonomous Vehicles," *Proc. - IEEE 2018 Int. Congr. Cybermatics 2018 IEEE Conf. Internet Things, Green Comput. Commun. Cyber, Phys. Soc. Comput. Smart Data, Blockchain, Comput. Inf. Technol. iThings/Gree*, pp. 1697–1700, 2018, doi: 10.1109/Cybermatics_2018.2018.00283.
- [3] S. Gnanavendan *et al.*, "Challenges, Solutions and Future Trends in EV-Technology: A Review," *IEEE Access*, vol. 12, no. February, pp. 17242–17260, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3353378.
- [4] R. Ostadian, J. Ramoul, A. Biswas, and A. Emadi, "Intelligent Energy Management Systems for Electrified Vehicles: Current Status, Challenges, and Emerging Trends," *IEEE Open J. Veh. Technol.*, vol. 1, no. July, pp. 279–295, 2020, doi: 10.1109/OJVT.2020.3018146.
- [5] S. L. Prasad, "Optimal Energy Consumption Control Strategy for Electric Vehicle," *IEEE Access*, vol. 12, no. December, pp. 197734–197747, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3512188.
- [6] B. Arifin, B. Y. Suprpto, S. A. D. Prasetyowati, and Z. Nawawi, "*Steering* Control in Electric Power *Steering* Autonomous Vehicle Using Type-2 *Fuzzy logic* Control and PI Control," *World Electr. Veh. J.*, vol. 13, no. 3, 2022, doi: 10.3390/wevj13030053.
- [7] M. E. Abed, M. Aly, H. H. Ammar, and R. Shalaby, "*Steering* Control for Autonomous Vehicles Using PID Control with Gradient Descent Tuning and Behavioral Cloning," *2nd Nov. Intell. Lead. Emerg. Sci. Conf. NILES 2020*, pp. 583–587, 2020, doi: 10.1109/NILES50944.2020.9257946.
- [8] M. Aria, "Algoritma Perencanaan Jalur Kendaraan Otonom di Lingkungan

Perkotaan dari Sudut Pandang Filosofi Kuhn dan Filosofi Popper,” *Telekontran J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 7, no. 2, 2020, doi: 10.34010/telekontran.v7i2.2627.

- [9] B. Arifin, B. Y. Suprpto, S. A. D. Prasetyowati, and Z. Nawawi, “The Lateral Control of Autonomous Vehicles: A Review,” *ICECOS 2019 - 3rd Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Sci. Proceeding*, pp. 277–282, 2019, doi: 10.1109/ICECOS47637.2019.8984590.
- [10] Y. Chen, C. Hu, and J. Wang, “Human-Centered Trajectory Tracking Control for Autonomous Vehicles with Driver Cut-In Behavior Prediction,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 68, no. 9, pp. 8461–8471, 2019, doi: 10.1109/TVT.2019.2927242.
- [11] M. Hidayah, A. N. Irfansyah, and D. Purwanto, “Deteksi Objek Pada Mobil Otonom dengan Kamera Termal Inframerah,” vol. 11, no. 3, 2022.
- [12] A. A. Firmansyah, R. Effendie, and A. Santoso, “Deteksi Halangan Menggunakan Metode Stereo R-CNN pada Mobil Otonom,” vol. 9, no. 2, 2020.
- [13] A. T. A. Meshginqalam and G. S. Member, “Two-Level MPC *Speed* Profile Optimization of *Autonomous Electric Vehicles* Considering Detailed Internal and External Losses,” 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3038050.
- [14] O. Misir, “Design and Mechanical Analyses of Autonomous Mobile Mobil with Swerve *Driving* System Swerve Sürüş Sistemine Sahip Otonom Mobil Mobilun Tasarımı ve Mekanik Analizleri,” vol. 13, no. 4, pp. 66–84, 2024.
- [15] B. M. Vranas and N. J. Mourtos, “Compact Shaft-Rotating *Swerve drive* with Prong Structure for Highly-Maneuverable and Agile Mobils,” vol. 9, no. 1, pp. 25–42, 2022.
- [16] M. Irfan, I. Shanjaya, J. Endrasmono, Z. Maulana, A. Putra, and I. Sutrisno, “Pemodelan Matriks Kinematika Pada Mobil Three-Wheel *Swerve drive*,” vol. 11, no. September, pp. 760–766, 2024.
- [17] A. A. Rosyidin, A. Pracoyo, I. Siradjuddin, D. A. Permatasari, and G. Al Azhar, “Desain permodelan dan simulasi Field Oriented Control (FOC) menggunakan motor DC : Aplikasi pada Drive Train - *Swerve drive*,” vol. 10, no. September, 2023.

- [18] R. Aditya, A. Jazidie, and E. Iskandar, "Pengaturan Kemudi yang Robust terhadap Ketidakpastian Parameter Internal pada Mobil Otonom," vol. 11, no. 3, 2022.
- [19] N. R. Prayogi, I. Siradjuddin, and D. Radianto, "Implementasi Modular Papan Kontroler *Swerve drive* : Komunikasi SPI," vol. 3, no. 3, pp. 116–124, 2024.
- [20] L. Nie, J. Guan, C. Lu, H. Zheng, and Z. Yin, "Longitudinal *speed* control of autonomous vehicle based on a self-adaptive PID of radial basis function neural network," pp. 485–494, 2018, doi: 10.1049/iet-its.2016.0293.
- [21] W. Liu *et al.*, "A Systematic Survey of Control Techniques and Applications in Connected and Automated Vehicles," *IEEE Internet Things J.*, vol. PP, no. 8, p. 1, 2023, doi: 10.1109/JIOT.2023.3307002.
- [22] M. Daffa, A. Fauzan, S. Hardhienata, and M. Iqbal, "Implementasi Logika *Fuzzy* pada Pengaturan Jarak dan Kecepatan Mobil Otonom dengan Arduino," vol. 15, no. 1, pp. 1–13, 2025.
- [23] S. Made, S. Yoga, P. Pangaribuan, and A. Z. Fuadi, "Kendali Mobil Beroda sebagai Self *Driving* Car Berbasis Image Processing dengan Metode *Fuzzy logic*," vol. 2, no. 2, pp. 77–92, 2022.
- [24] Z. Zhang, M. Wu, and P. Chen, "*Fuzzy* Controller for Autonomous Vehicle Based on Rough Sets," vol. 7, 2019.
- [25] B. Y. Suprpto, S. Dwijayanti, and D. Amri, "Development of a Position Control System for Wheeled Humanoid Mobil Movement Using the *Swerve drive* Method Based on *Fuzzy logic*," 2024.
- [26] R. Dhelika, A. F. Hadi, and P. A. Yusuf, "Development of a motorized hospital bed with *swerve drive* modules for holonomic mobility," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 23, 2021, doi: 10.3390/app112311356.
- [27] A. Biswas and H. C. Wang, "Autonomous Vehicles Enabled by the Integration of IoT, Edge Intelligence, 5G, and Blockchain," *Sensors*, vol. 23, no. 4, pp. 1–60, 2023, doi: 10.3390/s23041963.
- [28] A. Santoso, R. E. A. Kadir, and B. P. Amiruddin, "Pengaturan Kemudi Kendaraan Otonom Four Wheel Steer dan Four Wheel Drive (4WS4WD) Menggunakan Model Predictive Control," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 2337–

3539, pp. E1–E6, 2021.

- [29] DeNoma, Benjamin, Kendall, Michael, Poulos, and Nick, “4-wheel Independent *Steering ‘Swerve drive,’*” pp. 1–73, 2022.
- [30] N. Mizuno *et al.*, “Development of Automatic Badminton Playing Mobil with Distance Image Sensor,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 8, pp. 206–210, 2019, doi: 10.1016/j.ifacol.2019.08.050.
- [31] A. F. Rohmansyah *et al.*, “Pemodelan kinematika four wheel *swerve drive* menggunakan pendekatan geometri dan trigonometri,” *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 11, no. 2, pp. 456–463, 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i2.5293.
- [32] C. L. Hwang, C. C. Yang, and J. Y. Hung, “Path Tracking of an Autonomous Ground Vehicle with Different Payloads by Hierarchical Improved *Fuzzy Dynamic Sliding-Mode Control*,” *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 26, no. 2, pp. 899–914, 2018, doi: 10.1109/TFUZZ.2017.2698370.
- [33] A. Aggarwal, J. N. Rai, and M. Kandpal, “Comparative Study of *Speed Control of Induction Motor Using PI and Fuzzy logic controller*,” *IOSR J. Electr. Electron. Eng. Ver. I*, vol. 10, no. 2, pp. 2278–1676, 2012, doi: 10.9790/1676-10214352.
- [34] A. Saelan, “Logika *Fuzzy*,” *Makal. If2091 Strukt. Disk. Tahun 2009*, vol. 1, no. 13508029, pp. 1–5, 2009.
- [35] N. Kovac and S. Bauk, “The Anfis based route preference estimation in sea navigation,” *J. ofMaritime Res.*, vol. 3, no. 3, 2006.
- [36] F. A. Sihombing, “Kajian *Fuzzy Metode Mamdani dan Fuzzy Metode Sugeno* serta Implementasinya,” *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 4, no. 4, pp. 4940–4955, 2024.