

# **SKRIPSI**

## **DESAIN PENGENDALI *STEERING* PADA *AUTONOMOUS VEHICLE* MENGGUNAKAN METODE *IMPROVE SWERVE DRIVE* BERBASIS ALGORITMA *FUZZY LOGIC* TIPE 2**



**Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada  
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya**

**OLEH:**

**MUHAMMAD REYHAN KARISMA**

**03041182126022**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2025**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**DESAIN PENGENDALI *STEERING* PADA *AUTONOMOUS VEHICLE*  
MENGUNAKAN METODE *IMPROVE SWERVE DRIVE*  
BERBASIS ALGORITMA *FUZZY LOGIC* TIPE 2**



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

**Oleh  
MUHAMMAD REYHAN KARISMA  
03041182126022**

**Palembang, 25 Juli 2025**

**Mengetahui,**

**Ketua Jurusan Teknik Elektro**



**Ir. Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D, IPU., APEC Eng.  
NIP.197108141999031005**

**Menyetujui,**

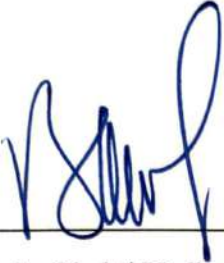
**Dosen Pembimbing**

**Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM.  
NIP. 197502112003121002**

## HALAMAN PERNYATAAN 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 : 25 Juli 2025

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

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

Nama : Muhammad Reyhan Karisma  
NIM : 03041182126022  
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 PENGENDALI *STEERING* PADA *AUTONOMOUS VEHICLE*  
MENGUNAKAN METODE *IMPROVE SWERVE DRIVE*  
BERBASIS ALGORITMA *FUZZY LOGIC* TIPE 2**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih media/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 : Palembang

Pada tanggal : 25 Juli 2025



Muhammad Reyhan Karisma

NIM. 03041182126022

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Reyhan Karisma

NIM : 03041182126022

Fakultas : Teknik

Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Universitas : Universitas Sriwijaya

Hasil Pengecekan Software *iThenticate/Turnitin* : 10%

Menyatakan bahwa laporan hasil penelitian Saya yang berjudul “Desain Pengendali Steering Pada *Autonomous Vehicle* Menggunakan Metode *Improve Swerve Drive* Berbasis Algoritma *Fuzzy Logic Tipe 2*” 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, 25 Juli 2025



Muhammad Reyhan Karisma

NIM. 03041182126022

## KATA PENGANTAR

Puji syukur bagi Allah SWT, yang telah memberikan Ridha dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “Desain Pengendali *Steering* Pada *Autonomous Vehicle* Menggunakan Metode *Improve Swerve Drive* Berbasis Algoritma *Fuzzy Logic Tipe 2*” Penyusunan skripsi ini tidak akan terselesaikan dengan baik tanpa arahan, bimbingan, kritik, saran, dukungan dan juga semangat dari berbagai pihak.

Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian skripsi ini. Dengan rasa hormat dan kerendahan hati, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Keluarga penulis, Ayah dan Ibu, serta kedua saudara saya yang telah memberikan doa dan semangat serta dukungan baik yang berbentuk moril maupun materil sehingga saya bisa menyelesaikan studi saya di Universitas Sriwijaya.
2. Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak berkontribusi baik tenaga, waktu dan pikiran dalam membimbing, mendukung dan memberi arahan dalam penelitian ini.
3. Ir. Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D, IPU., APEC Eng. selaku dosen Pembimbing akademik dan ketua jurusan teknik elektro yang telah membimbing penulis selama masa perkuliahan.
4. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya yang telah mendidik dan memberikan ilmu selama perkuliahan
5. Teman teman seperjuangan *Autonomous Electric Vehicle* Badar, Oriz, dan Dzaky yang telah berkontribusi baik tenaga, waktu, dan pikiran dalam menyelesaikan penelitian ini.
6. Naurahuljannah Athirah yang telah memberikan semangat, dukungan, kehadiran baik secara langsung maupun tidak langsung, dan kasih sayang selama pengerjaan skripsi.
7. Teman teman Angkatan 2021 terutama konsentrasi Teknik kendali dan komputer serta teman teman dari Klub Robotika UNSRI yang telah memberikan semangat serta dukungan dalam mendukung menyelesaikan penelitian ini.
8. Seluruh teman-teman teknik elektro serta pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, karena itu segala kritik dan saran yang membangun akan menyempurnakan skripsi ini serta bermanfaat bagi penulis dan para pembaca.

Palembang, 25 Juli 2025

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ryhan' with a stylized flourish at the end.

Muhammad Reyhan Karisma

**ABSTRAK**  
**DESAIN PENGENDALI *STEERING* PADA *AUTONOMOUS VEHICLE***  
**MENGUNAKAN METODE *IMPROVE SWERVE DRIVE***  
**BERBASIS ALGORITMA *FUZZY LOGIC* TIPE 2**

(Muhammad Reyhan Karisma, 03041182126022, 2025, 97 halaman)

---

Kendaraan otonom adalah inovasi penting dalam meningkatkan keselamatan dan efisiensi transportasi. Penelitian ini mengembangkan sistem kendali kemudi menggunakan metode *Improved Swerve Drive* berbasis algoritma *Fuzzy Logic* Tipe-2, karena kemampuannya menghasilkan gerakan holonomik, memungkinkan manuver fleksibel seperti belok tajam, parkir paralel, dan menghindari rintangan. *Fuzzy Logic* Tipe-2 digunakan karena lebih mampu menangani ketidakpastian dan noise dibanding tipe-1. Simulasi dilakukan menggunakan MATLAB dengan *membership function* sebanyak 3, 5, dan 7. Hasil simulasi menunjukkan konfigurasi 7 member menghasilkan performa terbaik dengan *steady-state error* sebesar 0,0139 dan overshoot minimal 9,2774%. Pengujian real-time menunjukkan bahwa sistem mampu menyelesaikan manuver jalan lurus dengan deviasi kemudi maksimum sebesar 2,4°, serta belokan 90° dalam waktu 3,1 detik dengan tingkat akurasi lintasan mencapai 96,8%. Sistem juga menunjukkan respons adaptif terhadap obstacle pada jarak 0,5 hingga 2 meter. Hasil uji beban menunjukkan deformasi maksimum pada rangka sebesar 2,18 mm dan tegangan Von Mises sebesar 154 MPa, jauh di bawah batas leleh material 250 MPa, sehingga struktur kendaraan dinyatakan aman.

**Kata kunci:** Kendaraan Otonom, Penggerak Swerve, Logika Fuzzy Tipe 2, Kontrol Kemudi, Gerakan Holonomik.

**ABSTRACT**  
**STEERING CONTROL DESIGN ON AUTONOMOUS VEHICLE USING**  
**IMPROVE SWERVE DRIVE METHOD BASED ON FUZZY LOGIC**  
**ALGORITHM TYPE 2**

(Muhammad Reyhan Karisma,03041182126022,2025,97 pages)

---

*Autonomous vehicles enhance transportation safety and efficiency. This study develops a steering control system using an Improved Swerve Drive with a Type-2 Fuzzy Logic algorithm. Swerve Drive is selected for its holonomic movement, enabling flexible maneuvers such as sharp turns, parallel parking, and obstacle avoidance. Type-2 Fuzzy Logic is applied for superior handling of uncertainty and sensor noise compared to Type-1. MATLAB simulations with 3, 5, and 7 membership functions showed that the 7-function configuration achieved the best performance, with a steady-state error of 0.0139 and overshoot of 9.2774%. Real-time tests showed straight-path maneuvers under disturbance had a maximum steering deviation of 2.4°, while 90° turns were completed in 3.1 seconds with 96.8% path accuracy. The system adaptively responded to obstacles at 0.5–2 m. Finite element analysis indicated maximum deformation of 2.18 mm and Von Mises stress of 154 MPa, below the 250 MPa yield strength, ensuring structural safety.*

**Keywords:** *Autonomous Vehicle, Swerve Drive, Fuzzy Logic Type 2, Steering Control, Holonomic Movement.*

## DAFTAR ISI

|                                                                             |            |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ABSTRAK .....</b>                                                        | <b>ii</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                       | <b>iii</b> |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                                                      | <b>iv</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                                   | <b>vi</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                                   | <b>x</b>   |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                                               | <b>1</b>   |
| 1.1 Latar Belakang .....                                                    | 1          |
| 1.2 Perumusan Masalah .....                                                 | 2          |
| 1.3 Tujuan .....                                                            | 2          |
| 1.4 Pembatasan Masalah.....                                                 | 3          |
| 1.5 Keaslian Penelitian.....                                                | 3          |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                                         | <b>7</b>   |
| 2.1 <i>State of the art</i> .....                                           | 7          |
| 2.2 <i>Autonomous Vehicle</i> .....                                         | 15         |
| 2.3 <i>Swerve Drive</i> .....                                               | 16         |
| 2.3.1 <i>Swerve Drive Kinematics</i> .....                                  | 17         |
| 2.3.1.1 <i>Forward kinematics</i> .....                                     | 18         |
| 2.3.1.2 <i>Inverse kinematics</i> .....                                     | 18         |
| 2.4 <i>Sistem Kendali Fuzzy Logic type 2</i> .....                          | 20         |
| 2.4.1 <i>Fungsi Keanggotaan Upper dan Lower</i> .....                       | 20         |
| 2.4.2 <i>Inferensi sistem kendali Fuzzy type-2</i> .....                    | 22         |
| 2.4.3 <i>Reduksi Tipe dan Defuzzifikasi Fuzzy type 2</i> .....              | 23         |
| 2.5 <i>Fuzzy Logic Metode Sugeno</i> .....                                  | 24         |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>                                      | <b>7</b>   |
| 3.1 <i>Studi Literatur</i> .....                                            | 26         |
| 3.2. <i>Perancangan Sistem</i> .....                                        | 26         |
| 3.2.1 <i>Perancangan Desain Prototipe Autonomous Electric Vehicle</i> ..... | 26         |
| 3.2.2 <i>Perancangan Desain Autonomous Electric Vehicle</i> .....           | 27         |
| 3.2.3 <i>Perancangan Software</i> .....                                     | 29         |
| 3.2.4 <i>Perancangan Hardware</i> .....                                     | 29         |
| 3.2.4.2 <i>Mikrokontroler</i> .....                                         | 30         |
| 3.2.4.3 <i>Sensor MPU6050</i> .....                                         | 31         |
| 3.2.4.4 <i>Controller VOTOL EM-100</i> .....                                | 32         |

|                                                                                              |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 3.2.4.5 Motor <i>Brushless</i> DC QS3000W.....                                               | 32       |
| 3.2.4.6 GPS Ublox NeoM8N .....                                                               | 33       |
| 3.2.4.7 Webcam Logitech C925.....                                                            | 33       |
| 3.2.4.8 Sensor Ultrasonic .....                                                              | 34       |
| 3.2.4.9 Stepper Motor <i>Driver</i> DM860H.....                                              | 34       |
| 3.3 Pengujian.....                                                                           | 35       |
| 3.3.1 Pengujian Performa Algoritma .....                                                     | 35       |
| 3.3.2 Perancangan Sistem Kendali <i>Fuzzy Logic</i> Tipe 2 .....                             | 36       |
| 3.3.3 Pengujian secara <i>real time</i> di lapangan.....                                     | 40       |
| 3.4 Pengujian Sistem.....                                                                    | 41       |
| 3.5 Analisis dan Kesimpulan.....                                                             | 42       |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>                                                      | <b>7</b> |
| 4.1 Hasil Perancangan Alat .....                                                             | 7        |
| 4.1.1 Simulasi Beban Rangka .....                                                            | 44       |
| 4.1.2 Simulasi Beban Roda.....                                                               | 48       |
| 4.1.3. Prototipe AEV .....                                                                   | 51       |
| 4.2 Pengujian <i>Fuzzy Logic Type-2</i> Pada MATLAB .....                                    | 52       |
| 4.2.1 Membership Function FLC Type-2.....                                                    | 52       |
| 4.2.2 Fuzzifikasi.....                                                                       | 62       |
| 4.2.3 Fuzzy Rules.....                                                                       | 63       |
| 4.2.4 Reduksi dan Defuzzifikasi .....                                                        | 66       |
| 4.2.5 Pengujian Simulasi <i>Position Control</i> Stepper Motor pada MATLAB.....              | 66       |
| 4.2.5.1 Pengujian Simulasi <i>Fuzzy Type-1</i> dan <i>Fuzzy Type-2</i> dengan 3 Member ..... | 67       |
| 4.2.5.2 Pengujian Simulasi <i>Fuzzy Type-1</i> dan <i>Fuzzy Type-2</i> dengan 5 Member ..... | 70       |
| 4.2.5.3 Pengujian Simulasi <i>Fuzzy Type-1</i> dan <i>Fuzzy Type-2</i> dengan 7 Member ..... | 71       |
| 4.2.6 Pengujian Simulasi <i>Speed Control</i> BLDC Motor pada MATLAB .....                   | 74       |
| 4.2.6.1 Pengujian Simulasi <i>Fuzzy Type-1</i> dan <i>Fuzzy Type-2</i> dengan 3 Member ..... | 75       |
| 4.2.6.2 Pengujian Simulasi <i>Fuzzy Type-1</i> dan <i>Fuzzy Type-2</i> dengan 5 Member ..... | 77       |
| 4.2.6.3 Pengujian Simulasi <i>Fuzzy Type-1</i> dan <i>Fuzzy Type-2</i> dengan 7 Member ..... | 78       |
| 4.3 Pengujian <i>Realtime</i> Prototipe.....                                                 | 80       |
| 4.3.1 Pengujian Jalan Lurus .....                                                            | 80       |
| 4.3.2 Pengujian Belok 90 Derajat .....                                                       | 83       |
| 4.3.3 Pengujian Parkir Paralel.....                                                          | 87       |
| 4.3.4 Pengujian Menghindari Rintangn .....                                                   | 91       |
| 4.3.5 Pengujian Bermanuver di Tempat.....                                                    | 95       |

|                                        |           |
|----------------------------------------|-----------|
| <b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b> | <b>97</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....                   | 97        |
| 5.2 Saran .....                        | 97        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>            | <b>97</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2. 1 Data input hasil dari algoritma YOLOv8[5] .....                                                                                                  | 7  |
| Gambar 2. 2 Grafik Output 3 Member (a) Steering angle (b) Kecepatan.....                                                                                     | 7  |
| Gambar 2. 3 Grafik Output 5 Member (a) Steering angle (b) Kecepatan.....                                                                                     | 7  |
| Gambar 2. 4 Type-2 Fuzzy Inference System[8] .....                                                                                                           | 8  |
| Gambar 2. 5 Arsitektur kontrol elektronik diferensial[11] .....                                                                                              | 10 |
| Gambar 2. 6 Fungsi keanggotaan input dan output dari FIS (a) Normalised yaw rate Error (b) Normalised slip ratio (c) Normalised corrective voltage[11] ..... | 11 |
| Gambar 2. 7 Bentuk robot dan peletakan tujuh .....                                                                                                           | 12 |
| Gambar 2. 8 Arsitektur behavior untuk navigasi pada robot dalam simulasi .....                                                                               | 13 |
| Gambar 2. 9 Gerak lateral kendaraan berdasarkan kinematika.[10].....                                                                                         | 14 |
| Gambar 2. 10 Dinamika kendaraan lateral dan sudut selip ban[10] .....                                                                                        | 14 |
| Gambar 2. 11 Diagram blok sistem[10].....                                                                                                                    | 15 |
| Gambar 2. 12 General Architecture Autonomous Electric Vehicle[13] .....                                                                                      | 16 |
| Gambar 2. 13 Swerve Drive Mechanism[14] .....                                                                                                                | 17 |
| Gambar 2. 14 Blok Diagram Sistem Swerve Drive[3] .....                                                                                                       | 17 |
| Gambar 2. 15 Vektor dari roda dan robot[1] .....                                                                                                             | 19 |
| Gambar 2. 16 Blok proses logika Fuzzy tipe 2[1] .....                                                                                                        | 20 |
| Gambar 2. 17 Interval type-2 membership function[1] .....                                                                                                    | 22 |
| Gambar 2. 18 Inferensi Fuzzy model Sugeno[16] .....                                                                                                          | 22 |
| Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian .....                                                                                                                       | 7  |
| Gambar 3. 2 Desain Prototipe Autonomous Electric Vehicle .....                                                                                               | 26 |
| Gambar 3. 3 Desain swerve Drive prototipe.....                                                                                                               | 27 |
| Gambar 3. 4 Desain Autonomous Electric Vehicle skala penuh.....                                                                                              | 28 |
| Gambar 3. 5 Desain Improved Swerve Drive Skala Penuh .....                                                                                                   | 28 |

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 3. 6 Flowchart Perancangan Software.....                                                           | 29 |
| Gambar 3. 7 Laptop Lenovo Ideapad Gaming 3.....                                                           | 30 |
| Gambar 3. 8 Arduino Mega 2560 .....                                                                       | 31 |
| Gambar 3. 9 STM32F411CEU6 Blackpill.....                                                                  | 31 |
| Gambar 3. 10 Sensor MPU6050 .....                                                                         | 32 |
| Gambar 3. 11 Controller VOTOL EM-100.....                                                                 | 32 |
| Gambar 3. 12 Brushless DC Motor.....                                                                      | 33 |
| Gambar 3. 13 GPS Ublox NeoM8N .....                                                                       | 33 |
| Gambar 3. 14 Webcam Logitech C925 .....                                                                   | 34 |
| Gambar 3. 15 Sensor ultrasonic .....                                                                      | 34 |
| Gambar 3. 16 Stepper Motor Driver DM860H.....                                                             | 35 |
| Gambar 3. 17 Flowchart proses kerja sistem .....                                                          | 36 |
| Gambar 3. 18 Blok Diagram Sistem Kendali .....                                                            | 40 |
| Gambar 4. 1 Desain Autonomous Electric Vehicle skala penuh.....                                           | 7  |
| Gambar 4. 2 Desain Improved Swerve Drive .....                                                            | 44 |
| Gambar 4. 3 Mesh finite element pada rangka .....                                                         | 44 |
| Gambar 4. 4 Simulasi regangan pada rangka.....                                                            | 46 |
| Gambar 4.5 Simulasi tegangan von mises pada rangka.....                                                   | 46 |
| Gambar 4. 6 Simulasi deformasi total.....                                                                 | 47 |
| Gambar 4. 7 Mesh finite element pada roda .....                                                           | 48 |
| Gambar 4. 8 Simulasi deformasi total pada ban .....                                                       | 49 |
| Gambar 4. 9 Simulasi tegangan von mises pada ban.....                                                     | 49 |
| Gambar 4.10 Simulasi regangan pada ban.....                                                               | 50 |
| Gambar 4. 11 Dimensi Prototipe AEV (a) tampak depan (b) tampak atas .....                                 | 51 |
| Gambar 4. 12 Wiring Prototipe AEV .....                                                                   | 51 |
| Gambar 4. 13 Kurva Variabel Range Obstacle 3 Member.....                                                  | 53 |
| Gambar 4. 14 Kurva Variabel Range Obstacle 5 Member.....                                                  | 54 |
| Gambar 4. 15 Kurva Variabel Range Obstacle 7 Member.....                                                  | 55 |
| Gambar 4. 16 Kurva Variabel Position Obstacle 3 Member.....                                               | 57 |
| Gambar 4. 17 Kurva Variabel Position Obstacle 5 Member.....                                               | 59 |
| Gambar 4. 18 Kurva Variabel Position Obstacle 7 Member.....                                               | 60 |
| Gambar 4. 19 Model simulink pada software matlab .....                                                    | 66 |
| Gambar 4. 20 Hasil pengujian Simulasi Fuzzy Type-1 dan Fuzzy Type-2 dengan 3<br>membership function ..... | 68 |

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4. 21 Hasil pengujian Simulasi Fuzzy Type-1 dan Fuzzy Type-2 dengan 5 membership function .....   | 70 |
| Gambar 4. 22 Hasil pengujian Simulasi Fuzzy Type-1 dan Fuzzy Type-2 dengan 7 membership function .....   | 71 |
| Gambar 4. 23 Hasil pengujian Fuzzy Type 1 & Fuzzy Type 2 dengan 3,5,7 member .....                       | 73 |
| Gambar 4. 24 Model simulink pada software matlab .....                                                   | 74 |
| Gambar 4. 25 Hasil pengujian Simulasi Fuzzy Type-1 dan Fuzzy Type-2 dengan 3 membership function .....   | 75 |
| Gambar 4. 26 Hasil pengujian Simulasi Fuzzy Type-1 dan Fuzzy Type-2 dengan 5 membership function .....   | 77 |
| Gambar 4. 27 Hasil pengujian Simulasi Fuzzy Type-1 dan Fuzzy Type-2 dengan 7 membership function .....   | 78 |
| Gambar 4. 28 Hasil pengujian Fuzzy Type 1, Fuzzy Type 2 dengan 3,5,7 member dan PID. 79                  |    |
| Gambar 4. 29 Lintasan Pengujian Jalan Lurus .....                                                        | 80 |
| Gambar 4. 30 Grafik Perbandingan Steering Angle FLC type-1 3 member , FLC type-2 3 member, dan PID. .... | 81 |
| Gambar 4. 31 Grafik Perbandingan Steering Angle FLC type-1 5 member, FLC type-2 5 member, dan PID .....  | 82 |
| Gambar 4. 32 Grafik Perbandingan Steering Angle FLC type-1 7 member, FLC type-2 7 member, dan PID .....  | 82 |
| Gambar 4. 33 Lintasan Pengujian Belok 90 Derajat.....                                                    | 83 |
| Gambar 4. 34 Grafik Perbandingan Steering Angle FLC type-1 3 member, FLC type-2 3 member, dan PID .....  | 84 |
| Gambar 4. 35 Grafik Perbandingan Steering Angle FLC type-1 5 member, FLC type-2 5 member, dan PID .....  | 85 |
| Gambar 4. 36 Grafik Perbandingan Steering Angle FLC type-1 7 member, FLC type-2 7 member, dan PID .....  | 86 |
| Gambar 4. 37 Pengujian Parkir paralel.....                                                               | 87 |
| Gambar 4. 38 Grafik Perbandingan Steering Angle FLC type-1 3 member, FLC type-2 3 member, dan PID .....  | 88 |
| Gambar 4. 39 Grafik Perbandingan Steering Angle FLC type-1 5 member, FLC type-2 5 member, dan PID .....  | 89 |
| Gambar 4. 40 Grafik Perbandingan Steering Angle FLC type-1 7 member, FLC type-2 7 member, dan PID .....  | 90 |

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4. 41 Pengujian Menghindari Rintangan.....                                                                    | 91 |
| Gambar 4. 42 Grafik Perbandingan Steering Angle FLC type-1 3 member, FLC type-2 3 member, dan PID .....              | 92 |
| Gambar 4. 43 Gambar 4. 32 Grafik Perbandingan Steering Angle FLC type-1 5 member, FLC type-2 5 member, dan PID ..... | 93 |
| Gambar 4. 44 Grafik Perbandingan Steering Angle FLC type-1 5 member, FLC type-2 5 member, dan PID .....              | 94 |
| Gambar 4. 45 Pengujian Bermanuver di Tempat .....                                                                    | 95 |
| Gambar 4. 46 Grafik Pengujian Memutar 45 derajat.....                                                                | 95 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2. 1 Linguist Terms of the Fuzzy Multiple Expert Decision-Making[8] ..... | 9  |
| 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 Spesifikasi Solid Mesh .....                                   | 45 |
| Tabel 4. 2 Hasil Simulasi Beban Rangka .....                                    | 48 |
| Tabel 4. 3 Hasil Simulasi Beban Roda .....                                      | 50 |
| Tabel 4. 4 Rule base 3 member .....                                             | 63 |
| Tabel 4. 5 Rule base 5 member .....                                             | 64 |
| Tabel 4. 6 Rule base 7 member .....                                             | 65 |
| Tabel 4. 7 Parameter Position Control dan nilai Stepper Motor .....             | 67 |
| Tabel 4. 8 Parameter Speed Control dan Nilai BLDC Motor .....                   | 74 |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Evolusi teknologi dalam dunia robotika telah menjadi fokus utama belakangan ini, menciptakan inovasi yang mengesankan dalam berbagai industri. Robot bukan hanya mesin yang bekerja secara otomatis, namun telah memiliki kemampuan yang semakin kompleks dan pintar, salah satu implementasinya ialah *Autonomous Electric Vehicle*. [1] *Autonomous Electric Vehicle* dewasa ini menjadi pusat perhatian besar karena kemampuannya yang menjanjikan dalam menaikkan peluang keamanan berkendara maupun efektifitas transportasi. [2] *Autonomous Electric Vehicle* bisa bergerak tanpa memerlukan pengemudi yang mengendalikan, sehingga kendaraan tersebut harus memiliki berbagai jenis sensor sebagai gantinya, salah satunya ialah dengan kamera sebagai *inputan* visual untuk melakukan pendeteksian objek disekitar. [3]

Mekanisme *swerve Drive* adalah salah satu jenis mekanisme sering diaplikasikan pada robot yang mana mekanisme ini memiliki manuverabilitas tingkat tinggi. Mekanisme ini juga memungkinkan tiap rodanya dapat melakukan gerakan translasi dan rotasi secara individual. Disisi lain, mekanisme ini memiliki metode pengendalian yang cukup rumit. Setiap roda masing-masing memiliki sistem penggerak dan kemudi yang keduanya tidak dapat dipisahkan. Mekanisme *swerve Drive* secara umum terdiri dari dua motor yang masing-masing berfungsi sebagai penggerak dan kemudi. [4] Sistem kendali pada *Autonomous Electric Vehicle* merupakan solusi utama dalam mewujudkan kendaraan yang handal dan efisien dengan memanfaatkan kondisi lingkungan sekitar yang dilalui. Keterampilan sistem kendali pada *Autonomous Electric Vehicle* menjadi aspek yang krusial dalam merancang kendaraan otomatis. Keterampilan yang diperlukan dalam hal ini ialah sudut kemudi dan kecepatan dari kendaraan itu sendiri. [5]

Analisis mengenai sudut kemudi atau kendali kecepatan pada *Autonomous Vehicle* telah dilakukan oleh berbagai peneliti menggunakan metode-metode yang berbeda, contohnya dengan metode pengendali *Fuzzy Type-2* [5], *Convolutional Neural Network* [6], dan juga *Fuzzy Logic* yang pertama [7]. Sistem kendali yang

digunakan sudah menunjukkan hasil yang baik untuk mekanisme gerakan dengan rangka konvensional, sehingga pada penelitian ini, dikembangkan sistem kendali yang untuk menentukan sudut kemudi kendaraan dan kecepatan pada mekanisme *Swerve Drive*.

Algoritma logika *Fuzzy* akan digunakan sebagai pengambilan keputusan dari *Autonomous Vehicle*. Dengan menggunakan *Fuzzy*, kendaraan dapat membuat keputusan secara langsung dari tiap sensor yang digunakan untuk mendeteksi kondisi sekitar.[5] Logika *Fuzzy* yang akan digunakan adalah logika *Fuzzy* tipe-2 dimana algoritma ini memiliki batas-batas fungsi keanggotaan dibentuk dengan ketidakpastian berbeda dengan *Fuzzy* tipe-1, sehingga dapat menghasilkan sistem yang lebih kompleks. Penelitian yang dilakukan oleh [1] pada robot humanoid menggunakan logika *Fuzzy* tipe-2 sebagai pengendali pergerakan, menghasilkan stabilitas yang lebih baik dibandingkan FLC tipe-1, kesalahan steady-state yang minimal, dan tidak ada overshoot.

Dalam penelitian ini, logika *Fuzzy* tipe-2 digunakan untuk mengendalikan sudut kemudi dan kecepatan menggunakan metode *swerve Drive*. Fokus utama dari penelitian ini adalah penerapan sistem kendali *Fuzzy* tipe-2 untuk *Autonomous vehicle* dengan mekanisme gerak *swerve Drive*.

## 1.2 Perumusan Masalah

Pada *Autonomous vehicle* dengan sistem kontrol dengan kemudi konvensional, terdapat satu problematika yang cukup menjadi perhatian, yakni Ketika mobil ingin melakukan parkir. Hal ini karena sistem kontrol kemudi yang ada saat ini memiliki efektifitas yang kurang baik, sehingga mengakibatkan kurangnya fleksibilitas pada pergerakan mobil. Untuk mengatasi hal ini digunakan metode *improved swerve Drive* sebagai Solusi karena dapat melakukan pergerakan secara holonomik. Disisi lain, perancangan sistem *swerve Drive* memiliki tingkat kesulitan yang tinggi sehingga diperlukan sebuah sistem pengendalian sudut kemudi yang presisi.

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini untuk mengendalikan sudut kemudi dan kecepatan menggunakan metode *swerve Drive*. Penelitian ini juga bertujuan untuk melihat performa dari desain *swerve Drive*.

#### 1.4 Pembatasan Masalah

Agar penelitian menjadi lebih spesifik, dilakukan pembatasan masalah.

Batasan pada penelitian ini adalah:

1. *Input* untuk sudut jalan diperoleh dari computer vision
2. Proses pengujian algoritma akan dilakukan di sekitar jalan kampus Unsri Indralaya.
3. Sistem kendali *Autonomous vehicle* yaitu kendali *steering* dan kecepatan menggunakan *Fuzzy Logic* type 2 metode sugeno.
4. Desain pergerakan *swerve Drive* dan desain sasis menjadi fokus utama.
5. Penelitian ini berfokus pada bagaimana *improved swerve Drive* pada mobil otonom melakukan pergerakan.

#### 1.5 Keaslian Penelitian

Penelitian yang berkaitan dengan sistem kendali pada *Autonomous Vehicle* pada saat ini telah cukup banyak dilakukan oleh para peneliti. Muhammad Firly Rafliansyah.[5] membahas perancangan sistem kendali berbasis *Fuzzy Logic* type-2 untuk mengontrol *steering angle* dan kecepatan kendaraan secara simultan. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan stabilitas dan keakuratan kendali *Autonomous vehicle* dalam berbagai kondisi lingkungan jalan. Dalam pengujian simulasi, *Fuzzy Logic* type-2 dibandingkan dengan *Fuzzy Logic* type-1, di mana hasilnya menunjukkan bahwa *Fuzzy Logic* type-2 menghasilkan *output* yang lebih stabil dan responsif terhadap variasi kondisi jalan. Selain itu, pengujian secara real-time dilakukan dengan menggunakan tiga dan lima membership function, yang menunjukkan bahwa *Fuzzy type-2* dengan lima *membership function* lebih akurat dalam mereplikasi perilaku berkendara manusia. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata *Error steering angle* sebesar  $12,1^\circ$  dan *Error* kecepatan sebesar 0,185 km/jam, yang membuktikan efektivitas metode *Fuzzy Logic* type-2 dalam meningkatkan performa kendali *Autonomous Electric Vehicle*.

Penelitian mengenai pengenalan gaya mengemudi dilakukan oleh Iago Pachêco Gomes dkk.[8] membahas pendekatan berbasis *Interval Type-2 Fuzzy Inference System* (IT2-FIS) dan *Multiple Experts Decision Making* untuk mengklasifikasikan gaya mengemudi menjadi *calm*, *moderate*, dan *aggressive*. Pada penelitian ini, parameter *input* yang digunakan mencakup karakteristik *longitudinal* dan *lateral*

kendaraan, seperti kecepatan rata-rata, percepatan rata-rata, deselerasi rata-rata, dan standar deviasi dari *lateral jerk*. *Interval Type-2 Fuzzy Sets* dipilih karena kemampuannya dalam menangani ketidakpastian dan data yang bising, sedangkan metode *Multiple Experts Decision Making* digunakan untuk mengurangi bias dalam pembuatan aturan fuzzy. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem IT2-FIS memiliki kecenderungan lebih stabil dalam mengklasifikasikan gaya mengemudi dibandingkan dengan algoritma *clustering* dan sistem *fuzzy type-1*. Pengujian menggunakan dataset Argoverse v.1 menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan dapat mengelompokkan gaya mengemudi dengan lebih akurat berdasarkan pola kinematik kendaraan, di mana pengemudi *calm* memiliki profil kecepatan dan akselerasi yang lebih rendah, sedangkan pengemudi *aggressive* menunjukkan pola manuver yang lebih tajam dengan percepatan dan *jerk lateral* yang lebih tinggi.

Penelitian terkait navigasi berbasis logika fuzzy pada robot bergerak otonom telah banyak dilakukan. Rendyansyah dkk.[9] mengembangkan sistem navigasi robot menggunakan metode behavior yang dipadukan dengan fuzzy logic untuk mengontrol pergerakan dan kecepatan robot secara optimal. Dalam penelitian tersebut, robot dilengkapi dengan tujuh sensor jarak yang dikelompokkan untuk menguji berbagai perilaku, seperti berjalan, menghindari halangan, mengikuti dinding, dan navigasi dalam koridor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa robot mampu bernavigasi secara halus dalam berbagai kondisi lingkungan yang kompleks. Implementasi logika fuzzy terbukti efektif dalam mengontrol manuver robot, terutama dalam menjaga jarak optimal terhadap halangan dan dinding, serta menyesuaikan kecepatan berdasarkan kondisi sekitar.

Penelitian mengenai pengendalian kemudi dilakukan oleh Bustanul Arifin dkk.[10] Pada Penelitian ini dilakukan riset kendali kemudi pada kendaraan listrik otonom menggunakan metode *Type-2 Fuzzy Logic Control* dan *PI Control* untuk menghasilkan kontrol yang lebih halus dan stabil dibandingkan dengan *Type-1 Fuzzy Logic Control*. Pada penelitian ini, digunakan tiga *input* utama, yaitu jarak, navigasi, dan kecepatan, untuk menentukan sudut kemudi yang optimal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *Type-2 Fuzzy Logic Control* mampu mengatasi gangguan yang muncul lebih baik daripada *Type-1 Fuzzy Logic Control*, menghasilkan pergerakan kemudi yang lebih halus terutama pada kecepatan tinggi.

Selain itu, penggunaan *PI Control* sebagai kendali sekunder memungkinkan motor kemudi mencapai posisi target dengan lebih cepat dan stabil. Hasil eksperimen juga menunjukkan bahwa *Type-2 Fuzzy Logic Control* memberikan kontrol yang lebih akurat dan nyaman bagi pengguna kendaraan otonom.

Penelitian mengenai kontrol traksi dan stabilitas pada kendaraan listrik dilakukan oleh Nimantha Dasanayake dkk.[11] membahas integrasi sistem kontrol traksi dan stabilitas menggunakan *Fuzzy Inference System* (FIS) pada *electronic differential* untuk kendaraan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan stabilitas *yaw* dan traksi kendaraan dalam berbagai kondisi jalan yang berubah-ubah. Metode yang digunakan melibatkan *reaction torque observer* untuk estimasi rasio slip dan *Recursive Least Squares* (RLS) untuk estimasi *cornering stiffness*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem kendali terintegrasi mampu mengurangi *peak slip ratio* hingga 42,31% dan *RMS yaw rate Error* hingga 88,17% pada uji simulasi lintasan balap. Selain itu, pada uji *double lane change* pada kecepatan 40 km/jam dan 100 km/jam, sistem berhasil mengurangi *RMS yaw rate Error* masing-masing sebesar 86,96% dan 92,34%. Peningkatan performa ini menunjukkan bahwa metode FIS yang digunakan efektif dalam menjaga stabilitas kendaraan listrik tanpa mengorbankan kecepatan dan responsivitas manuver

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Y. Suprpto, S. Dwijayanti, and D. Amri, "Development of a Position Control System for Wheeled Humanoid Robot Movement Using the Swerve Drive Method Based on Fuzzy Logic Type-2," *Elektron. ir Elektrotechnika*, vol. 30, no. 1, pp. 4–13, 2024, doi: 10.5755/j02.eie.35912.
- [2] 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.
- [3] I. Fanthony, "DESAIN AUTONOMOUS VEHICLE BERBASIS SENSOR FUSION DENGAN ALGORITMA HYBRID DEEP LEARNING DAN PATH PLANNING," Universitas Sriwijaya, 2021.
- [4] 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.
- [5] M. F. Rafliansyah, J. T. Elektro, F. Teknik, and U. Sriwijaya, "PERANCANGAN SISTEM KENDALI PERILAKU ( BEHAVIOR CONTROL ) PADA STEERING ANGLE DAN KECEPATAN AUTONOMOUS VEHICLE BERBASIS FUZZY LOGIC TYPE -2," no. 03041182025010, 2024.
- [6] K. Du Nguyen Tu, H. Dung Nguyen, and T. H. Tran, "Vision based steering angle estimation for autonomous vehicles," *Int. Conf. Adv. Technol. Commun.*, vol. 2020-Octob, pp. 187–192, 2020, doi: 10.1109/ATC50776.2020.9255456.
- [7] H. Halin *et al.*, "Design Simulation of a Fuzzy Steering Wheel Controller for a buggy car," *2018 Int. Conf. Intell. Informatics Biomed. Sci. ICIIBMS 2018*, vol. 3, pp. 85–89, 2018, doi: 10.1109/ICIIBMS.2018.8550008.
- [8] I. Pachêco Gomes and D. F. Wolf, "Driving Style Recognition Using Interval Type-2 Fuzzy Inference System and Multiple Experts Decision-Making," *Int. J. Fuzzy Syst.*, vol. 26, no. 2, pp. 553–571, 2024, doi: 10.1007/s40815-023-01616-9.
- [9] K. Exaudi, A. P. P. Prasetyo, and others, "Navigasi Berbasis Behavior dan Fuzzy Logic pada Simulasi Robot Bergerak Otonom," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 1, 2016.
- [10] 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.

- [11] N. Dasanayake and S. Perera, "Traction and Stability Control using Fuzzy-based Controller Integration for Electric Vehicles," 2023, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2306.04782>
- [12] A. Faisal, T. Yigitcanlar, M. Kamruzzaman, and G. Currie, "Understanding autonomous vehicles: A systematic literature review on capability, impact, planning and policy," *J. Transp. Land Use*, vol. 12, no. 1, pp. 45–72, 2019, doi: 10.5198/jtlu.2019.1405.
- [13] J. Wang, L. Zhang, Y. Huang, and J. Zhao, "Safety of Autonomous Vehicles," *J. Adv. Transp.*, vol. 2020, no. i, 2020, doi: 10.1155/2020/8867757.
- [14] M. Vranas and N. J. Mourtos, "Compact Shaft-Rotating Swerve Drive with Prong Structure for Highly-Maneuverable and Agile Robots," *Athens J. Technology Eng.*, vol. 9, no. 1, pp. 25–42, 2022, doi: 10.30958/ajte.9-1-2.
- [15] Z. Ashraf, M. L. Roy, P. K. Muhuri, and Q. M. D. Lohani, "Interval type-2 fuzzy logic system based similarity evaluation for image steganography," *Heliyon*, vol. 6, no. 5, p. e03771, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03771.
- [16] M. Sari, A. A. Zahra, and S. Sudjadi, "Perancangan Kontroler Pada Alat Pencampur Warna Menggunakan Fuzzy Logic Control Metode Sugeno," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 3, pp. 351–359, 2020, doi: 10.14710/transient.v9i3.351-359.
- [17] K. Mittal, A. Jain, K. S. Vaisla, O. Castillo, and J. Kacprzyk, "A comprehensive review on type 2 fuzzy logic applications: Past, present and future," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 95, no. August, p. 103916, 2020, doi: 10.1016/j.engappai.2020.103916.