

SKRIPSI

**PERANCANGAN SISTEM *LATERAL CONTROL*
AUTONOMOUS VEHICLE BERBASIS *FUZZY LOGIC*
CONTROL TYPE-2 UNTUK MENJAGA KESTABILAN
LINTASAN**



MUHAMMAD IRVIN FADILLAH

03041382025120

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

SKRIPSI

PERANCANGAN SISTEM *LATERAL CONTROL* *AUTONOMOUS VEHICLE* BERBASIS *FUZZY LOGIC* *CONTROL TYPE-2* UNTUK MENJAGA KESTABILAN LINTASAN

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh Gelar Sarjana
Teknik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik pada
Universitas Sriwijaya**



MUHAMMAD IRVIN FADILLAH

03041382025120

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN SISTEM *LATERAL CONTROL AUTONOMOUS*
VEHICLE BERBASIS *FUZZY LOGIC CONTROL TYPE-2* UNTUK
MENJAGA KESTABILAN LINTASAN



SKRIPSI

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

Oleh:

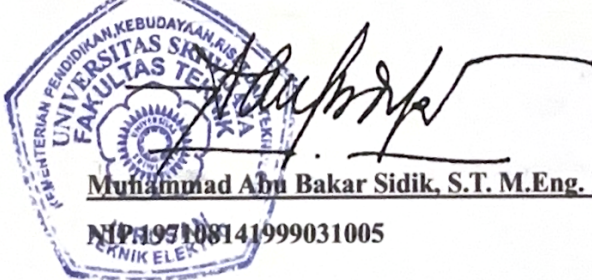
MUHAMMAD IRVIN FADILLAH

03041382025120

Palembang, 15 Juli 2024

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro



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

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 : Muhammad Irvin Fadillah

NIM : 03041382025120

Fakultas : Teknik

Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Universitas : Universitas Sriwijaya

Hasil Pengecekan *Software iThenticate/Turnitin* : 7%

Menyatakan bahwa laporan hasil penelitian Saya yang berjudul “Perancangan Sistem *Lateral Control Autonomous Vehicle* Berbasis *Fuzzy Logic Control Type-2* untuk Menjaga Kestabilan Lintasan” 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.



Palembang, 15 Juli 2024

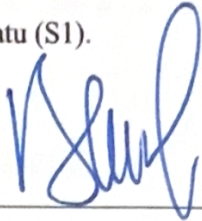
Muhammad Irvin Fadillah

NIM. 03041382025120

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

: 15/Juli/2024

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Muhammad Irvin Fadillah
NIM : 03041382025120
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:

PERANCANGAN SISTEM *LATERAL CONTROL AUTONOMOUS VEHICLE* BERBASIS *FUZZY LOGIC CONTROL TYPE-2* UNTUK MENJAGA KESTABILAN LINTASAN

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 : Palembang

Pada tanggal : 10 Juli 2024



Muhammad Irvin Fadillah

NIM. 03041382025120

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan petunjuk-Nya. Serta sholawat dan salam penulis hanturkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabat. Atas Berkat dan Rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Perancangan Sistem *Lateral Control Autonomous Vehicle* Berbasis *Fuzzy Logic Control Type-2* Untuk Menjaga Kestabilan Lintasan”.


Penyusunan skripsi ini tidak akan terselesaikan dengan baik tanpa dukungan, bimbingan, serta kritik dan saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua yang telah berperan dan berkontribusi dalam penyelesaian skripsi ini. Dengan rasa hormat dan rendah hati, saya ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan doa, semangat, serta dukungan mental dan fisik/materil, sehingga saya bisa menyelesaikan skripsi dan studi saya di Universitas Sriwijaya.
2. Pak Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam membimbing, memberikan arahan, serta mendukung penelitian ini.
3. Bapak Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM. dan Ibu Dr. Eng. Suci Dwijayanti S.T., M.S., IPM. selaku pencetus dan memberikan bimbingan pada tugas akhir ini serta pengembang ide.
4. Ibu Pak Rendyansyah, S.Kom., M.T., selaku Dosen pembimbing akademik penulis.
5. Bapak Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM., Ibu Hera Hikmarika, S.T., M.Eng., Bapak Baginda Oloan Siregar, S.T., M.T., Bapak Irmawan, S.Si., M.T., dan Bapak Rendyansyah, S.Kom., M.T., yang telah memberikan kritik dan saran untuk perbaikan penelitian ini.

6. Teman-teman satu tim *Autonomous Electric Vehicle*, Firly Rafliansyah, Gatot Aria, Alfurqon Syaidin, dan Jordy Dwi, yang telah berkontribusi waktu, pikiran, dan tenaga dalam menyelesaikan penelitian dan tugas akhir ini.
7. Teman-teman Angkatan 2020, terutama konsentrasi Teknik Kendali dan Komputer, serta teman-teman dari Klub Robotika UNSRI, yang telah memberikan semangat dan dukungan dalam menyelesaikan penelitian ini. Teman Angkatan 2020 terutama konsentrasi Teknik Kendali dan Komputer serta teman-teman dari Klub Robotika UNSRI yang telah memberikan semangat serta dukungan dalam mendukung menyelesaikan penelitian ini.

Terima kasih juga saya sampaikan kepada semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, yang telah memberikan doa dan motivasi, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Penulis menyadari bahwa laporan ini masih banyak kekurangan, baik dalam penyusunan, bahasa, maupun penulisan. Semoga laporan ini mudah dipahami oleh siapa pun yang membacanya dan bermanfaat bagi semua. Mohon maaf atas kesalahan kata-kata yang kurang berkenan dan saya memohon kritik serta saran yang membangun untuk perbaikan skripsi ini di masa mendatang.

Palembang, 10 Juli 2024


Muhammad Iryin Fadillah
NIM. 03041382025120

ABSTRAK

PERANCANGAN SISTEM *LATERAL CONTROL AUTONOMOUS VEHICLE* BERBASIS *FUZZY LOGIC CONTROL TYPE-2* UNTUK MENJAGA KESTABILAN LINTASAN

(Muhammad Irvin Fadillah, 03041382025120, 2024, 65 halaman)

Penelitian ini menganalisis penerapan *Fuzzy Logic Controller (FLC) type-2* untuk pengendalian kemudi *autonomous vehicle*, menggunakan nilai input berupa *error* dan *delta error* dari selisih antara keluaran yang dihasilkan *primary controller* dan nilai *steering angle* yang diperoleh dari perhitungan pulse encoder yang dipasang pada stir. Data ini kemudian diolah melalui ROS (robot operating system). Studi ini membandingkan kinerja FLC *type-2* dengan 7 member dan 5 member, serta pengontrol PID dalam berbagai skenario. Hasil menunjukkan bahwa FLC *type-2* dengan 7 member mencapai kesalahan rata-rata 4,97%, lebih baik daripada konfigurasi 5 member yang memiliki kesalahan 7,71%. Dalam uji penghindaran rintangan, FLC *type-2* menunjukkan akurasi unggul dengan kesalahan rata-rata 1,54% untuk penghindaran manusia, 4,28% untuk satu mobil parkir, 1,2% untuk dua mobil parkir di sebelah kiri, dan 2,13% untuk dua mobil parkir di kiri dan satu di kanan. Ini dibandingkan dengan pengontrol PID yang mencatat kesalahan masing-masing sebesar 2,19%, 3,49%, 1,12%, dan 3,49%. Pengujian rute penuh dari depan Jurusan Teknik Elektro ke Fakultas Teknik dan kembali mencatat rata-rata *error* 8,87% untuk FLC *type-2* dan 12,35% untuk PID, sementara kesalahan rute kembali adalah 4,52% untuk FLC *type-2* dan 7,57% untuk PID. FLC *type-2* dengan 7 member terbukti lebih efektif dalam menjaga akurasi dan kinerja dalam kondisi berkendara dinamis dibandingkan PID, meskipun PID memiliki respon yang lebih halus terhadap nilai *error* yang kecil. Temuan ini menunjukkan potensi FLC *type-2* dalam meningkatkan akurasi kemudi dan kinerja *Autonomous vehicle* secara keseluruhan.

Kata Kunci : *Autonomous vehicle*, FLC *type-2*, Pengontrol PID, *Steering Angle*, 5 member, 7 member

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro



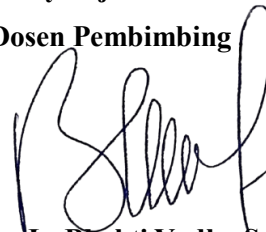
Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph. D., IPU

NIP. 197108141999031005

Palembang, 15 Juli 2024

Menyetujui

Dosen Pembimbing



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

NIP. 197502112003121002

ABSTRACT

DESIGN OF AN *AUTONOMOUS VEHICLE LATERAL CONTROL* SYSTEM BASED ON *FUZZY LOGIC CONTROL TYPE-2* TO MAINTAIN TRACK STABILITY

(Muhammad Irvin Fadillah, 03041382025120, 2024, 65 pages)

This research analyzes the application of the Fuzzy *Logic* Controller (FLC) type-2 for *Autonomous* vehicle steering control, using input values in the form of *error* and *delta error* from the difference between the output produced by the primary controller and the steering angle value obtained from the calculation of the pulse encoder installed on the steering wheel. This data is then processed through ROS (robot operating system). This study compares the performance of type-2 FLCs with 7 members and 5 members, as well as PID controllers in various scenarios. The results show that FLC type-2 with 7 members achieves an average *error* of 4.97%, better than the 5 member configuration which has an *error* of 7.71%. In *Obstacle* avoidance tests, FLC type-2 demonstrated superior accuracy with average *errors* of 1.54% for human avoidance, 4.28% for one parked car, 1.2% for two cars parked on the left, and 2.13% for two cars parking on the left and one on the right. This compares to PID controllers registering *errors* of 2.19%, 3.49%, 1.12%, and 3.49% respectively. Full route testing from the front of the Electrical Engineering Department to the Faculty of Engineering and back recorded an average *error* of 8.87% for FLC type-2 and 12.35% for PID, while the return route *error* was 4.52% for FLC type-2 and 7.57% for PID. Type-2 FLC with 7 members has proven to be more effective in maintaining accuracy and performance in dynamic driving conditions than PID, although PID has a smoother response to small *error* values. These findings demonstrate the potential of type-2 FLC in improving steering accuracy and overall performance of *Autonomous* cars.

Keywords : Autonomous Vehicle, FLC type-2, PID Control, Steering Angle, 5 member, 7 member

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro



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

NIP. 197108141999031005

Palembang, 15 Juli 2024

Menyetujui

Dosen Pembimbing

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

NIP. 197502112003121002

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	iv
HALAMAN PERNYATAAN DOSEN	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR RUMUS	xvi
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Keaslian Penelitian	5
BAB II	8
TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 <i>State of The Art</i>	8
2.2 <i>Electric Power Steering (EPS)</i>	17
2.3 <i>Lateral Control</i>	18
2.4 Sistem Kendali Fuzzy <i>Logic type-2</i>	19
2.4.1 Fuzzy <i>Logic Metode Sugeno</i>	20
2.4.2 Fungsi Keanggotaan Interval <i>Fuzzy type-2</i>	20
2.4.3 Aturan Fuzzy <i>type-2</i>	22
2.4.4 Inferensi sistem kendali <i>Fuzzy type-2</i>	22
2.4.5 Reduksi Tipe	24

2.4.6	Defuzzifikasi.....	25
BAB III	26
3.1	Studi Literatur.....	27
3.2	Perancangan Sistem.....	27
3.2.1	Desain <i>Autonomous Vehicle</i>	30
3.2.2	Perancangan <i>Software System</i>	30
3.2.3	Perancangan <i>Hardware</i>	33
3.3	Pengambilan Data.....	40
3.4	Pengujian Sistem.....	40
3.4.1	Pengujian Simulatif.....	41
3.4.2	Pengujian <i>Real-time</i>	41
3.5	Analisa dan Kesimpulan.....	42
BAB IV	44
4.1	Perancangan Alat.....	44
4.2	Pengujian FLC <i>Type-2</i> Pada MATLAB.....	45
4.2.1	Fungsi Keanggotaan FLC <i>Type-2</i>	45
4.2.2	Fuzzifikasi.....	49
4.2.3	Fuzzy <i>Rules</i>	50
4.2.4	Reduksi dan Defuzzifikasi.....	52
4.2.5	Pengujian Simulasi FLC <i>type-2</i> pada MATLAB.....	52
4.3	Pengujian Realtime FLC <i>type-2</i> pada <i>Autonomous</i>	54
4.3.1	<i>Steering Angle</i>	54
4.3.2	Pengujian Konfigurasi Member FLC <i>Type-2</i>	55
4.3.3	Pengujian Penghindaran <i>Obstacle</i>	58
4.3.4	Pengujian Pergerakan <i>Steering Autonomous</i> Rute Penuh.....	62
BAB V	67
5.1	Kesimpulan.....	67
5.2	Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Kontroler AGV	8
Gambar 2. 2 Kurva performa, (a) Performa Fuzzy untuk kecepatan dan sudut.....	9
Gambar 2. 3 Kurva performa, (a) Performa PID untuk kecepatan dan sudut setir,	10
Gambar 2. 4 Skenario Lintasan Bundaran	10
Gambar 2. 5 Fungsi keanggotaan untuk kontrol roda kemudi	11
Gambar 2. 6 Hasil lintasan kendaraan otonom pada bundaran	11
Gambar 2. 7 Blok diagram sistem	12
Gambar 2. 8 Keluaran Sistem, (a) FLC <i>type-1</i> dan kontrol PI,.....	13
Gambar 2. 9 Tahapan manuver menyalip.....	14
Gambar 2. 10 Arsitektur kontrol roda kemudi dalam operasi menyalip	14
Gambar 2. 11 Hasil eksperimen menyalip otomatis	15
Gambar 2. 12 Modul Fuzzy Kemudi Sasaran dan Kemudi Penghindaran Tabrakan	16
Gambar 2. 13 Hasil Penggunaan Usulan Pengontrol di <i>Maze Tracking</i>	17
Gambar 2. 14 <i>Electric Power Steering</i> (EPS).....	18
Gambar 2. 15 Kendaraan Lateral	18
Gambar 2. 16 Struktur Fuzzy <i>logic type 2</i>	19
Gambar 2. 17 Fungsi Keanggotaan Fuzzy <i>type-2</i>	21
Gambar 2. 18 UMF Dan LMF Pada Sistem Inferensi	23
Gambar 2. 19 Proses Inferensi Fuzzy <i>Type-2</i>	23
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian.....	26
Gambar 3. 2 Diagram Alir Perancangan Sistem.....	28
Gambar 3. 3 Diagram Alir Algoritma	29
Gambar 3. 4 Perancangan Desain <i>Autonomous Vehicle</i>	30
Gambar 3. 5 Diagram Perancangan <i>Software</i>	31
Gambar 3. 6 <i>Membership Function FLC Type-2 Input</i>	32
Gambar 3. 7 Variabel Output Fuzzy <i>Logic Control Type-2</i>	32
Gambar 3. 8 Block Diagram Sistem Kendali	33
Gambar 3. 9 Diagram Perancangan <i>Hardware</i>	33
Gambar 3. 10 Mikrokontroler <i>Slave</i> Arduino Mega	35
Gambar 3. 11 Mikrokontroler <i>Master STM32 Black Pill</i>	35

Gambar 3. 12 Sensor MPU6050	36
Gambar 3. 13 Sensor <i>Ultrasonic</i>	36
Gambar 3. 14 <i>Rotary Encoder</i> Omron E6B2.....	37
Gambar 3. 15 <i>Motor Shunt</i>	37
Gambar 3. 16 <i>Driver Motor</i> BTS7960	38
Gambar 3. 17 <i>Controller</i> VOTOL EM-100.....	38
Gambar 3. 18 Servo MG995.....	39
Gambar 3. 19 Potensiometer.....	39
Gambar 3.20 <i>Motor Steering</i>	40
Gambar 3. 21 Rute Pengujian	42
Gambar 4. 1 Desain Mobil.....	45
Gambar 4. 2 <i>Membership Function Error</i> dan <i>Delta Error</i>	46
Gambar 4. 3 Hasil Fuzzifikasi FLC <i>Type-2</i> pada program C++	50
Gambar 4. 4 Model Simulink FLC <i>type-2</i> dan PID	52
Gambar 4. 5 Hasil Simulasi FLC <i>type-2</i> dan PID <i>Control</i> Pada MATLAB.....	53
Gambar 4. 6 Program Perhitungan Nilai <i>Steering Angle</i> pada Arduino.....	55
Gambar 4. 7 Rute Pengujian Perbandingan Konfigurasi FLC <i>Type-2</i>	56
Gambar 4. 8 Hasil pengujian konfigurasi FLC <i>Type-2</i> (a) 7 member (b) 5 member	57
Gambar 4. 9 Rute Pengujian Penghindaran <i>Obstacle</i>	59
Gambar 4. 10 Rute Pengujian Performa FLC <i>Type-2</i> dan PID Control	63
Gambar 4. 11 Hasil Performa Kontroller pada Rute Pertama (a) FLC <i>Type-2</i>	64
Gambar 4. 12 Hasil Performa Kontroller pada Rute Kedua (a) FLC <i>Type-2</i>	65

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi Laptop Yang Digunakan.....	34
Tabel 4. 1 <i>Membership Function</i> Error dan delta <i>Error Steering Angle</i>	48
Tabel 4. 2 <i>Rulebase</i> FLC Type-2	50
Tabel 4. 3 Hasil Simulasi MATLAB	53
Tabel 4. 4 Penghindaran <i>Obstacle</i>	59

DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1 Aturan Fuzzy	20
Rumus 2.2 Fungsi keanggotaan <i>lower</i>	22
Rumus 2.3 Fungsi keanggotaan <i>upper</i>	22
Rumus 2.4 Nilai keanggotaan <i>upper</i>	24
Rumus 2.5 Nilai keanggotaan <i>lower</i>	24
Rumus 2.6 Metode <i>Center of Set</i> (COS)	24
Rumus 2.7 Batas bawah pada Y_{cos}	25
Rumus 2.8 Batas atas pada Y_{cos}	25
Rumus 2.9 Nilai <i>crisp</i> Metode COS	25

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Autonomous vehicle merupakan sebuah mobil yang dapat beroperasi secara otomatis [1]. Otomatisasi pada sebuah mobil memiliki arti bahwa mobil tersebut dapat beroperasi tanpa adanya pengemudi yang mengendalikannya [2]. Kendaraan otonom memiliki kemampuan untuk mengambil keputusan sendiri seperti berjalan, berhenti, dan berbelok sesuai arah yang diinginkan [3]. Dalam industri otomotif, kemajuan teknologi kendaraan otonom telah mencapai titik kritis dimana mobil tidak lagi sekedar alat transportasi, namun kini memiliki kapasitas untuk berpikir sendiri dan mengambil keputusan [4] [5]. Untuk beroperasi secara mandiri tanpa campur tangan manusia, kendaraan otonom harus memiliki kemampuan untuk mendeteksi kondisi lingkungan, memprediksi gerakan objek di sekitarnya, dan menentukan rute menuju tujuannya sambil menghindari hambatan baik yang diam maupun yang bergerak [6].

Kendaraan otonom memiliki potensi untuk meningkatkan faktor keselamatan, mengurangi kemacetan lalu lintas, meningkatkan efisiensi, mengurangi masalah parkir, meningkatkan kenyamanan perjalanan, dan banyak manfaat lainnya [7] [8]. Kemudahan bagi pengguna dari *Autonomous vehicle* diperoleh melalui implementasi fitur otomatisasi pada kendaraan tersebut [9]. Terdapat enam tingkatan kelas otomatisasi pada kendaraan otonom, mulai dari tidak ada otomatisasi hingga otomatisasi secara penuh [10]. Pada tingkatan terendah, yaitu tanpa otomatisasi, pengemudi bertanggung jawab atas semua tugas pengendalian. Pada tingkatan pertama, dikenal sebagai bantuan pengemudi, sistem mulai membantu dalam pengendalian roda kemudi dan percepatan/perlambatan. Pada tingkatan kedua, otomatisasi sebagian, sistem mengambil alih pengendalian roda kemudi dan percepatan/perlambatan tersebut

sepenuhnya, tetapi pengemudi masih bertanggung jawab atas pengenalan lingkungan sekitar. Pada tingkatan ketiga, otomatisasi bersyarat, fungsi kemudi, percepatan/perlambatan, dan pengenalan lingkungan dijalankan sepenuhnya oleh sistem, tetapi pengemudi tetap diperlukan untuk berjaga-jaga jika terjadi kegagalan pada sistem *self-drive* [11].

Dalam mencapai otomatisasi tingkatan ketiga pada *Autonomous vehicle*, diperlukannya sebuah sistem kendali pada *Autonomous vehicle* [12]. Sistem kontrol ini terdiri dari dua bagian, yaitu pengontrol longitudinal dan *lateral*. Pengontrol longitudinal bertanggung jawab atas pengaturan kecepatan perjalanan kendaraan, sementara pengontrol *lateral* mengarahkan kemudi untuk menjaga kendaraan pada jalur yang benar [13]. Sistem pengontrol *lateral* atau kendali *steering* adalah salah satu komponen yang sangat penting untuk memastikan bahwa mobil dapat melakukan manuver seperti berjalan lurus, belok kiri, belok kanan, serta menghindari tabrakan dengan kendaraan dan objek lain di sekitar mobil [14]. Pada *Autonomous vehicle*, metode sistem kendali pada *steering* sangat dibutuhkan karena *Autonomous vehicle* tidak memiliki pengemudi yang dapat mengontrol pergerakannya secara langsung [15]. Adapun beberapa metode sistem *control* untuk kendali *steering* yang digunakan oleh peneliti terdahulu seperti, *Model Predictive Control* (MPC) [16], *Adaptive Control* [17], *Linear Quadratic Regulator* (LQR) [18], *Fuzzy Logic* [19], *Proportional-Integral-Derivative* (PID) [20], dan *Convolutional Neural Network* (CNN) [21]. Namun, berdasarkan informasi yang didapatkan dari peneliti tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode *MPC* [16], *Adaptive Control* [17], dan *LQR* [18] memerlukan model matematika yang akurat dan kompleks untuk memprediksi respon sistem yang akan datang sehingga sangat sulit untuk digunakan pada sebuah desain sistem yang rumit. Kemudian *CNN* [21] sendiri juga memiliki tingkat kerumitannya sendiri karena *CNN* memerlukan data yang besar dan berkualitas tinggi untuk melatih modelnya sehingga memerlukan waktu yang cukup lama untuk pemrosesan data dibandingkan dengan pengendali lainnya. Namun, penting untuk diingat bahwa tidak ada satu metode kontrol yang mutlak lebih baik dari yang lain dalam semua konteks. *Fuzzy Logic Control* (FLC) dan *PID Controller* tergolong lebih unggul

dan banyak digunakan oleh banyak orang dikarenakan kesederhanaan dan keandalannya dalam mengontrol berbagai sistem. *Fuzzy Logic* dan *PID Control* mempunyai kemampuan untuk mengatasi perubahan kondisi jalan atau kendaraan lain di sekitarnya secara adaptif [22], kemudian sistem *control Fuzzy* dan *PID* juga mampu menghasilkan kontrol yang stabil dan responsif pada sistem yang linier membuat metode tersebut sangat tangguh untuk diimplementasikan pada sistem kendali *steering Autonomous vehicle* [23]. Pada penelitian sebelumnya, *Fuzzy type-1* [19] dan *PID Control* [20] telah terbukti memiliki hasil yang kurang baik dalam menangani sebuah sistem *non-linier* atau karakteristik dinamis yang kompleks.

Dalam penelitian ini, *Autonomous vehicle* didesain menggunakan dua tingkatan *control*, yaitu *primary controller* yang bertanggung jawab untuk membentuk perilaku *Autonomous vehicle* dan mampu membuat keputusan cerdas layaknya manusia yang mengendarainya. Sementara pada *secondary controller* bertugas sebagai penggerak langsung pada motor *steering* di *Autonomous vehicle*. Sehingga pada penelitian ini akan digunakan *Fuzzy Logic Type-2* baik untuk *primary* maupun *secondary controller*. *Fuzzy Logic* memiliki 2 *type* dimana pada *Fuzzy type-2* merupakan pengembangan dari *Fuzzy type-1* [24] yang memiliki keunggulan lebih baik dari versi sebelumnya. *Fuzzy Type-2* adalah perluasan dari *Fuzzy Type-1* yang memungkinkan tingkat ketidakpastian yang lebih tinggi dan kompleksitas dalam pemodelan dan pengendalian sistem [25]. Pada penelitian tentang *Fuzzy Type-2* [26] membahas mengenai keandalan metode ini yang mampu mengatasi ketidakpastian dalam parameter yang tidak tepat, seperti ketidakpastian dalam data sensor, ketidakpastian dalam lingkungan yang berubah, ketidakpastian dalam model sistem *non-linear*, dan dapat mempresentasikan ketidakpastian, ketidaktepatan serta ketidakjelasan. Penggunaan *FLC type-2* dilakukan pada *primary control* dengan input parameter berupa posisi mobil dan kondisi jalan yang didapatkan dari pendeteksian jalan dengan menggunakan algoritma *you only look once* (YOLO). *Primary control* akan memberikan keluaran berupa *steering angle* yang kemudian akan dijadikan sebagai input di *secondary controller*. Selanjutnya encoder akan digunakan untuk memberikan

umpan balik pada sistem kendali motor *steering*. Penelitian ini akan membandingkan kegunaan FLC *type-2* dan pengontrol PID untuk mengetahui efektivitas dan stabilisasi pada sistem kendali motor *steering* di *Autonomous vehicle*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, *Autonomous vehicle* harus dapat mengontrol sudut setir pada *Electric Power Steering* (EPS) secara halus dan stabil, seperti layaknya manusia yang mengendarainya. Akan tetapi, metode yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan dan *steering* masih belum efektif dan optimal karena hanya mempertimbangkan kondisi jalan yang ideal, dimana jalan memiliki tanda jalan dan tidak ada hambatan, jalan ini umumnya terstruktur dan belum mempertimbangkan objek yang mungkin dilalui oleh *Autonomous vehicle*. Selain itu, metode yang digunakan pada penelitian sebelumnya belum diimplementasikan secara *real-time* pada *Autonomous vehicle*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai penulis pada penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Mengembangkan sistem kendali sudut setir pada *Electric Power Steering*.
2. Mengimplementasikan Fuzzy *Type-2* dan PID *Control* pada *steering Autonomous vehicle*.
3. Membandingkan efektivitas dan stabilitas dari Fuzzy *Type-2* dan PID *Control*.
4. Menguji sistem Fuzzy *Type-2* dan PID *Control* untuk mengendalikan kemudi kendaraan otonom di lingkungan Universitas Sriwijaya kampus Indralaya.

1.4 Batasan Masalah

Sebagai upaya untuk menghindari pembahasan yang menyimpang, maka penelitian tugas akhir ini mempunyai batasan masalah sebagai berikut:

1. Pengujian dilakukan di Universitas Sriwijaya kampus Indralaya.
2. Menggunakan FLC *Type-2* dengan Metode Sugeno
3. Menggunakan mikrokontroler STM32 sebagai *Master* & Arduino Mega sebagai *Slave*
4. Menggunakan *Electric Power Steering* (EPS) merk Avanza
5. Inputan yang digunakan dalam *secondary controller* berasal dari keluaran *primary controller* berupa nilai *steering angle*.

1.5 Keaslian Penelitian

Terdapat beberapa penelitian yang telah membahas tentang kontrol *steering* dan pengimplementasian Fuzzy logic pada *Autonomous vehicle*. Penelitian yang dilakukan oleh K.R.S Kodagoda dkk. dari School of Electrical and Electronic Engineering, Nanyang Technological University, Singapore. Penelitian ini membahas mengenai pengembangan dan implementasi pada kontroler Fuzzy PD-PI untuk kendali kemudi dan kecepatan *Autonomous Guided Vehicle* (AGV). Adapun tujuan pada penelitian ini adalah untuk merancang pengontrol yang stabil, kuat, dan cocok untuk aplikasi *real-time*. Kinerja kontroler Fuzzy dibandingkan dengan kontroler PID konvensional. Kontroler Fuzzy menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam hal akurasi pelacakan, kesalahan keadaan mantap, dan ketahanan. Selain itu, penelitian ini juga mengusulkan struktur kontrol untuk kontrol longitudinal dan *lateral* pada AGV [27].

Penelitian berikutnya yang dilakukan oleh J.P. Rastelli dkk. dari Department of Electromechanical Engineering, Polytechnic University of Valencia, Spain. Penelitian ini bertujuan untuk mengusulkan dan menguji sistem logika Fuzzy untuk pengendalian kemudi kendaraan otonom di dalam bundaran. Penulis fokus pada pembuatan lintasan dan pengendalian kemudi kendaraan. Mereka menggunakan kurva Bezier dan persamaan parametrik untuk menghasilkan lintasan, dengan mempertimbangkan geometri bundaran.

Pengontrol logika Fuzzy digunakan untuk kontrol kemudi, dengan masukan seperti kesalahan *lateral* dan kesalahan sudut [28].

Penelitian berikutnya dilakukan oleh B. Arifin dkk. dari Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya, Palembang. Penelitian ini membahas mengenai penggunaan kontrol logika Fuzzy *type-2* dan kontrol PI dalam mengendalikan kemudi kendaraan otonom. Metode kontrol primer menggunakan kontrol logika Fuzzy *type-2* dengan tiga input (jarak, navigasi, dan kecepatan) dan akan menghasilkan output berupa nilai sudut kemudi. Output ini kemudian digunakan sebagai input untuk kontrol sekunder, yaitu kontrol PI, yang menyesuaikan posisi motor untuk merealisasikan sudut kemudi [29].

Penelitian berikutnya yang dilakukan oleh J. E. Naranjo dkk. dari Instituto de Automatica Industrial, Spanish National Research Council, Madrid, Spain. Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem kendali Fuzzy pergantian jalur pada kendaraan otonom untuk melakukan manuver menyalip. Sistem ini menggunakan pengontrol Fuzzy yang meniru perilaku dan reaksi manusia saat melakukan manuver menyalip. Ini menggabungkan GPS presisi tinggi dan informasi jaringan nirkabel untuk melacak rute dan menghitung penyimpangan dari peta referensi. Sistem memeriksa berbagai kondisi sebelum memulai manuver menyalip, seperti kecepatan kendaraan, ketersediaan jalur kiri, dan jarak yang diperlukan untuk melakukan manuver. Kemudian melakukan pergantian jalur dan melacak kendaraan yang disusul hingga dapat kembali dengan aman ke jalur kanan. Sistem ini menggunakan pengontrol logika Fuzzy dan panduan GPS untuk mengontrol kemudi kendaraan [30].

Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Mohamed B. Trabia dkk. dari University of Nevada, Las Vegas. Penelitian ini berfokus pada pengembangan pengontrol logika Fuzzy untuk kendaraan beroda otonom. Pengontrol ini dirancang untuk menangani berbagai tugas navigasi, termasuk mencapai target, melacak target bergerak, menjaga kecepatan stabil, mengikuti jalur atau dinding, dan menghindari tabrakan dengan rintangan. Pengontrol terdiri dari modul terpisah untuk kemudi dan kontrol kecepatan, masing-masing menggunakan logika Fuzzy untuk menggabungkan pengetahuan dan pengalaman manusia.

Kinerja pengontrol ditunjukkan melalui simulasi dan dibandingkan dengan pekerjaan sebelumnya. Penelitian ini juga membahas mengenai perancangan dan implementasi pengontrol, meliputi modul untuk pengendalian penghindaran tabrakan, modifikasi bug *steering*, orientasi akhir, dan pengendalian kecepatan [31].

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. J. Fagnant and K. Kockelman, "Preparing a nation for *Autonomous* vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations," *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 77, pp. 167–181, 2015, doi: 10.1016/j.tra.2015.04.003.
- [2] R. Hussain and S. Zeadally, "*Autonomous* Cars: Research Results, Issues, and Future Challenges," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 21, no. 2, pp. 1275–1313, 2019, doi: 10.1109/COMST.2018.2869360.
- [3] M. Daily, H. R. L. Laboratories, and S. Medasani, "Self-Driving Cars".
- [4] D. Parekh *et al.*, "A Review on *Autonomous* Vehicles: Progress, Methods and Challenges," *Electron.*, vol. 11, no. 14, pp. 1–18, 2022, doi: 10.3390/electronics11142162.
- [5] I. Yaqoob, L. U. Khan, S. M. A. Kazmi, M. Imran, N. Guizani, and C. S. Hong, "*Autonomous* Driving Cars in Smart Cities: Recent Advances, Requirements, and Challenges," *IEEE Netw.*, vol. 34, no. 1, pp. 174–181, 2020, doi: 10.1109/MNET.2019.1900120.
- [6] S. Kuutti, S. Fallah, K. Katsaros, M. Dianati, F. Mccullough, and A. Mouzakitis, "A Survey of the State-of-the-Art Localization Techniques and Their Potentials for *Autonomous* Vehicle Applications," *IEEE Internet Things J.*, vol. 5, no. 2, pp. 829–846, 2018, doi: 10.1109/JIOT.2018.2812300.
- [7] C. Sudjoko, N. A. Sasongko, I. Utami, and A. Maghfuri, "Utilization of electric vehicles as an energy alternative to reduce carbon emissions," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 926, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/926/1/012094.
- [8] A. Shahzad, A. Gherbi, and K. Zhang, "Enabling Fog–Blockchain Computing for *Autonomous*-Vehicle-Parking System: A Solution to Reinforce IoT–Cloud Platform for Future Smart Parking," *Sensors*, vol. 22,

no. 13, 2022, doi: 10.3390/s22134849.

- [9] 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.
- [10] K. Othman, *Public acceptance and perception of Autonomous vehicles: a comprehensive review*, vol. 1, no. 3. Springer International Publishing, 2021. doi: 10.1007/s43681-021-00041-8.
- [11] J. Wang, H. Huang, K. Li, and J. Li, "Towards the Unified Principles for Level 5 *Autonomous Vehicles*," *Engineering*, vol. 7, no. 9, pp. 1313–1325, 2021, doi: 10.1016/j.eng.2020.10.018.
- [12] T. Hossain, H. Habibullah, and R. Islam, "*Steering and Speed Control System Design for Autonomous Vehicles by Developing an Optimal Hybrid Controller to Track Reference Trajectory*," *Machines*, vol. 10, no. 6, 2022, doi: 10.3390/machines10060420.
- [13] Y. Kebbati, N. Ait-Oufroukh, D. Ichalal, and V. Vigneron, "*Lateral control for Autonomous wheeled vehicles: A technical review*," *Asian J. Control*, vol. 25, no. 4, pp. 2539–2563, 2023, doi: 10.1002/asjc.2980.
- [14] C. M. Filho, D. F. Wolf, V. Grassi, and F. S. Osorio, "*Longitudinal and lateral control for Autonomous ground vehicles*," *IEEE Intell. Veh. Symp. Proc.*, no. June, pp. 588–593, 2014, doi: 10.1109/IVS.2014.6856431.
- [15] A. Chebly, R. Talj, and A. Charara, "*Coupled Longitudinal and Lateral Control for an Autonomous Vehicle Dynamics Modeled Using a Robotics Formalism*," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, no. 1, pp. 12526–12532, 2017, doi: 10.1016/j.ifacol.2017.08.2190.
- [16] J. Hasmitha, M. Shivani, M. Manasa, and A. Chavan, "*Steering Control for Autonomous Vehicle using Model Predictive Controller*," *2020 IEEE Int. Conf. Innov. Technol. INOCON 2020*, pp. 1–5, 2020, doi: 10.1109/INOCON50539.2020.9298205.
- [17] C. Jung, H. Kim, Y. Son, K. Lee, and K. Yi, "*Parameter adaptive steering control for Autonomous driving*," *2014 17th IEEE Int. Conf. Intell. Transp. Syst. ITSC 2014*, pp. 1462–1467, 2014, doi: 10.1109/ITSC.2014.6957892.

- [18] T. Yuan and R. Zhao, "LQR-MPC-Based Trajectory-Tracking *Controller of Autonomous Vehicle Subject to Coupling Effects and Driving State Uncertainties*," *Sensors*, vol. 22, no. 15, 2022, doi: 10.3390/s22155556.
- [19] X. Wang, M. Fu, H. Ma, and Y. Yang, "Lateral control of Autonomous vehicles based on Fuzzy logic," *Control Eng. Pract.*, vol. 34, pp. 1–17, 2015, doi: 10.1016/j.conengprac.2014.09.015.
- [20] M. T. Emirler, I. M. C. Uygan, B. Aksun Güvenç, and L. Güvenç, "Robust PID steering control in parameter space for highly automated driving," *Int. J. Veh. Technol.*, vol. 2014, 2014, doi: 10.1155/2014/259465.
- [21] 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.
- [22] U. Sutisna, W. D. Siregar, and S. Nurhadiyono, "Techno , ISSN 1410 - 8607 Untuk meningkatkan performa navigasi robot application of hybrid Fuzzy logic - PID Control To Improve Navigation Performance of Wall Follower Wheeled Robot Utis Sutisna , Wahyu Diputra Siregar , Siswanto Nurhadiyono," *PID Control untuk Meningkatkan. performa Navig. Robot*, vol. 17, no. 2, pp. 79–87, 2016.
- [23] S. Bhosinak, D. Maneetham, and T. Rabgyal, "Hybrid Fuzzy PID Controller for Intelligent Tractor Steering Control," *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 70, no. 12, pp. 359–369, 2022, doi: 10.14445/22315381/IJETT-V70I12P235.
- [24] Q. Liang and J. M. Mendel, "Interval type-2 Fuzzy logic systems: Theory and design," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 8, no. 5, pp. 535–550, 2000, doi: 10.1109/91.873577.
- [25] H. Carreon-Ortiz, F. Valdez, and O. Castillo, "Comparative Study of Type-1 and Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems in Parameter Adaptation for the Fuzzy Discrete Mycorrhiza Optimization Algorithm," *Mathematics*, vol. 11, no. 11, 2023, doi: 10.3390/math11112501.
- [26] C. W. de Silva, "Applications of Fuzzy logic in the control of robotic

- manipulators,” *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 70, no. 2–3, pp. 223–234, 1995, doi: 10.1016/0165-0114(94)00219-W.
- [27] K. R. S. Kodagoda, W. S. Wijesoma, and E. K. Teoh, “Fuzzy speed and steering control of an AGV,” *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 10, no. 1, pp. 112–120, 2002, doi: 10.1109/87.974344.
- [28] J. P. Rastelli and M. S. Peñas, “Fuzzy logic steering control of Autonomous vehicles inside roundabouts,” *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 35, pp. 662–669, 2015, doi: 10.1016/j.asoc.2015.06.030.
- [29] 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.
- [30] J. E. Naranjo, C. González, R. García, and T. De Pedro, “Lane-change Fuzzy control in Autonomous vehicles for the overtaking maneuver,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 9, no. 3, pp. 438–450, 2008, doi: 10.1109/TITS.2008.922880.
- [31] M. B., L. Z., and N. E., “A Fuzzy Logic Controller for Autonomous Wheeled Vehicles,” *Mob. Robot. Mov. Intell.*, 2006, doi: 10.5772/4721.
- [32] H. Chen, Y. Yang, and R. Zhang, “Study on Electric Power Steering system based on ADAMS,” *Procedia Eng.*, vol. 15, pp. 474–478, 2011, doi: 10.1016/j.proeng.2011.08.090.
- [33] J. Jiang and A. Astolfi, “Lateral Control of an Autonomous Vehicle,” *IEEE Trans. Intell. Veh.*, vol. 3, no. 2, pp. 228–237, 2018, doi: 10.1109/TIV.2018.2804173.
- [34] M. F. Saifuddin, “Implementasi algoritma Fuzzy type-2 untuk menentukan perilaku NPC dalam game Virtual Reality Survival Shooter,” pp. 1–100, 2018, [Online]. Available: <http://etheses.uin-malang.ac.id/id/eprint/11023>
- [35] 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.
- [36] S. L. Sitio, “Penerapan Fuzzy Inference Sistem Sugeno untuk Penentuan

Jumlah Pembelian Obat,” *J. Infor Univ. Pamulang*, vol. 3, no. 2, p. 104, 2018.

- [37] I. M. Ginarsa, A. B. Muljono, I. M. A. Nrartha, and O. Zebua, “Desain Power System Stabilizer Berbasis Fuzzy Tipe-2 untuk Perbaikan Stabilitas Mesin Tunggal,” *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–8, 2018, doi: 10.17529/jre.v14i1.8464.
- [38] R. Sistem, “Performansi Navigasi Robot Leader-Follower menggunakan Algoritma,” vol. 1, no. 10, pp. 1–6, 2021.