

SKRIPSI
PERANCANGAN SISTEM KENDALI PERILAKU
(*BEHAVIOR CONTROL*) PADA *STEERING ANGLE* DAN
KECEPATAN *AUTONOMOUS VEHICLE* BERBASIS *FUZZY*
LOGIC TYPE-2



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

Oleh:
MUHAMMAD FIRLY RAFLIANSYAH
(03041182025010)

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN SISTEM KENDALI PERILAKU (*BEHAVIOR CONTROL*) PADA *STEERING ANGLE* DAN KECEPATAN *AUTONOMOUS VEHICLE* BERBASIS *FUZZY LOGIC TYPE-2*



SKRIPSI

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

Oleh:

MUHAMMAD FIRLY RAFLIANSYAH
03041182025010

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

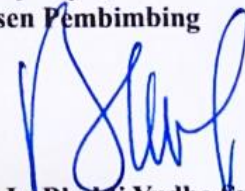


Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU
NIP. 197108141999031005



Palembang, 15 Juli 2024

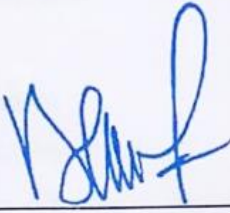
Menyetujui,
Dosen Pembimbing



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

HALAMAN PERNYATAAN DOSEN

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

Tanda Tangan : 

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

Tanggal : 13/Juli/2024

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Firly Rafliansyah

NIM : 03041182025010

Fakultas : Teknik

Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

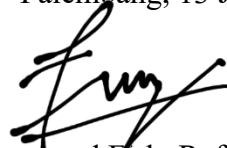
Universitas : Universtias Sriwijaya

Hasil Pengecekan Software *iThenticate/Turnitin*: 2%

Menyatakan bahwa laporan hasil penelitian saya yang berjudul “Perancangan Sistem Kendali Perilaku (*Behavior Control*) pada *Steering Angle* dan Kecepatan *Autonomous Vehicle* Berbasis *Fuzzy Logic type-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.

Palembang, 13 Juli 2023



Muhammad Firly Rafliansyah
NIM.03041182025010

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

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Firly Rafliansyah

NIM : 03041182025010

Fakultas : Teknik

Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Universitas : Sriwijaya

Jenis Karya : Skripsi

Demi pembangunan 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 KENDALI PERILAKU
(*BEHAVIOR CONTROL*) PADA *STEERING ANGLE* DAN KECEPATAN
AUTONOMOUS VEHICLE BERBASIS *FUZZY LOGIC TYPE-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 tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Palembang
Tanggal: 15 Juli 2024



Muhammad Firly Rafliansyah
Muhammad Firly Rafliansyah

NIM. 03041182025010

KATA PENGANTAR

Puji syukur bagi Allah SWT, yang telah memberikan Ridha dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “PERANCANGAN SISTEM KENDALI PERILAKU (*BEHAVIOR CONTROL*) PADA *STEERING ANGLE* DAN KECEPATAN *AUTONOMOUS VEHICLE* BERBASIS *FUZZY LOGIC TYPE-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. Muhammad Abu bakar sidik, S.T., M.eng., Ph.D., IPU. 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. Putri Wulandari yang telah memberikan dukungan, semangat dan kasih sayang selama pengerjaan skripsi.
6. Teman teman seperjuangan Autonomous Electric Vehicle Gatot, Furqon, Irvin, dan Jordy yang telah berkontribusi baik tenaga, waktu, dan pikiran dalam menyelesaikan penelitian ini.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah dengan tulus ikhlas memberikan doa dan motivasi sehingga dapat terselesaikannya skripsi 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, 10 Juli 2024



Muhammad Firly Rafliansyah

ABSTRAK

PERANCANGAN SISTEM KENDALI PERILAKU (*BEHAVIOR CONTROL*) PADA *STEERING ANGLE* DAN KECEPATAN *AUTONOMOUS VEHICLE* BERBASIS *FUZZY LOGIC TYPE-2*

(Muhammad Firly Rafliansyah, 03041182025010, 2024, 75 Halaman)

Pesatnya peningkatan jumlah kendaraan dan populasi, menjadi tantangan yang signifikan bagi *autonomous vehicles*, karena membutuhkan keandalan berkendara yaitu *steering angle* dan kecepatan yang baik untuk menjaga keselamatan pengguna jalan. Sistem kendali merupakan kunci utama dalam bidang *autonomous vehicle* dalam membentuk perilaku berkendara. Sistem kendali yang mengatur *steering angle* dan kecepatan sekaligus merupakan hal yang kompleks. Penelitian ini, dilakukan perancangan sistem kendali perilaku pada *steering angle* dan kecepatan berbasis *fuzzy logic type-2*. Pada pengujian simulasi dilakukan perbandingan antara *fuzzy type-1* dan *fuzzy type-2* yang dapat menghasilkan *fuzzy type-2* menghasilkan output yang lebih stabil dan bervariasi dibandingkan *fuzzy type-1*. Pengujian secara realtime dilakukan dengan menggunakan 3 dan 5 membership function yang membuktikan bahwa *fuzzy type-2* dapat menghasilkan *steering angle* dan kecepatan yang sesuai dengan kondisi lingkungan jalan dengan mempertimbangkan 4 input sekaligus. Pengujian performa dilakukan dengan membandingkan nilai respon *steering angle* dan kecepatan dari masing-masing membership function dengan hasil kemudi oleh manusia. *Fuzzy type-2* dengan 5 membership function memiliki performa lebih baik dalam mereplikasi perilaku berkendara manusia dengan hasil rata-rata error *steering angle* sebesar $12,1^\circ$ dan rata-rata error kecepatan sebesar 0.185 km/jam.

Kata kunci: Sistem kendali, *Fuzzy logic type-2*, *Autonomous Electric Vehicle*, Kendali Perilaku, *Steering Angle*, Kecepatan, *Behavior*

ABSTRACT

DESIGN OF BEHAVIOR CONTROL SYSTEM ON STEERING ANGLE AND SPEED OF AUTONOMOUS VEHICLE BASED ON TYPE-2 FUZZY LOGIC

(Muhammad Firly Rafliansyah, 03041182025010, 2024, 75 Pages)

The rapid increase in vehicles and population is a big challenge for autonomous vehicles, as they need reliable steering and speed to ensure road safety. Control systems are crucial in shaping the driving behavior of autonomous vehicles. Designing a control system that manages both the steering angle and speed is complex. This study designs a behavior control system for steering angle and speed using type-2 fuzzy logic. Simulations compare type-1 and type-2 fuzzy logic, showing that type-2 produces more stable and varied outputs. Real-time tests using 3 and 5 membership functions show that type-2 fuzzy logic can adjust steering and speed based on road conditions with 4 inputs. Performance tests compare the steering and speed responses of each membership function with human driving. Type-2 fuzzy logic with 5 membership functions better replicates human driving behavior, with an average steering angle error of 12.1° and an average speed error of 0.185 km/h.

Keywords: Control system, Type-2 fuzzy logic, Autonomous Electric Vehicle, Behavior Control, Steering Angle, Speed, Behavior

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN DOSEN	ii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I.....	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Pembatasan Masalah	4
1.5 Keaslian Penelitian	4
BAB II.....	7
2.1 <i>State of the Art</i>	7
2.2 <i>Autonomous vehicle</i>	13
2.3 Kontrol perilaku (<i>behavior control</i>)	13
2.3.1 Kendali kecepatan dan Steering angle.....	14
2.4 Sistem Kendali <i>Fuzzy Logic type 2</i>	15
2.4.1 Fungsi Keanggotaan <i>Upper</i> dan <i>Lower</i>	16
2.4.2 Aturan <i>fuzzy type-2</i>	17
2.4.3 Inferensi sistem kendali <i>fuzzy type-2</i>	17
2.4.4 Reduksi Tipe dan Defuzzifikasi <i>fuzzy type2</i>	18
2.5 <i>Fuzzy Logic</i> Metode Sugeno	19
2.6 Konsep Arctan	20
BAB III	22
3.1 Studi Literatur	22

3.2 Perancangan Sistem.....	23
3.3 Pengujian Sistem	38
3.3.1 Pengujian sistem kendali <i>fuzzy</i> logic type-2 sebagai sistem kendali	39
3.3.2 Pengujian akurasi mengereplika sistem kendali perilaku pengemudi ..	39
3.4 Analisa dan Kesimpulan.....	40
BAB IV	41
4.1 Hasil Perancangan Alat	41
4.2 Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy Logic type-2</i>	42
4.3 Fuzzifikasi	51
4.4 Fuzzy Rules	53
4.5 Reduksi dan Defuzzifikasi	53
4.6 Pengujian Sistem Menggunakan Fuzzy Logic secara Simulasi	53
4.7 Pengujian Sistem <i>Fuzzy logic Type-2</i> secara <i>Real Time</i> pada <i>Autonomous Vehicle</i>	56
4.7.1 Pengujian dengan 3 membership function	57
4.7.2 Pengujian dengan 5 <i>membership function</i>	62
4.8 Pengujian Akurasi replika Sistem Kendali Perilaku	69
BAB V.....	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mobil Buggy [19].....	7
Gambar 2. 2 Arsitektur Pengontrol <i>Fuzzy</i> [19]	8
Gambar 2. 3 Diagram Blok sistem [13]	9
Gambar 2. 4 membership function dari (a) kecepatan (b) navigasi	10
Gambar 2. 5 Diagram blok sistem [26].....	11
Gambar 2. 6 Diagram blok sistem pengendali [24]	11
Gambar 2. 7 kurva respon kecepatan [15]	13
Gambar 2. 8 <i>Autonomous Vehicle</i> [27].....	13
Gambar 2. 9 bagian penting pada kendali kecepatan.....	15
Gambar 2. 10 Struktur <i>Fuzzy logic type 2</i> [30]	15
Gambar 2. 11 Fungsi Keanggotaan Segitiga <i>fuzzy type 2</i> [31].....	16
Gambar 2. 12 Tahap Inferensi <i>Fuzzy tipe-2</i> [30].....	18
Gambar 2. 13 Contoh Node-node Sim pang	20
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	22
Gambar 3. 2 Perancangan Desain Autonomous Vehicle	23
Gambar 3. 3 Arduino Mega 2560.....	24
Gambar 3. 4 STM32F4 Blackpill.....	25
Gambar 3. 5 GPS Ublox NeoM8N	25
Gambar 3. 6 Webcam Logitech C925	26
Gambar 3. 7 Sensor MPU6050	26
Gambar 3. 8 Sensor Ultrasonic	27
Gambar 3. 9 Controller VOTOL EM-100.....	27
Gambar 3. 10 Brushless DC Motor.....	27
Gambar 3. 11 Driver Motor BTS7960	28
Gambar 3. 12 Motor Steering.....	28
Gambar 3. 13 Tower Pro MG995	29
Gambar 3. 14 Potensiometer	29
Gambar 3. 15 Diagram Alir Perancangan Sistem	31
Gambar 3. 16 Diagram Perancangan Software	32
Gambar 3. 17 Diagram Alir Perancangan Sistem	33
Gambar 3. 18 Proses Segmentasi jalan, Jarak dan posisi Obstacle.....	38

Gambar 3. 19 Nilai Input Error Angle	38
Gambar 3. 20 Rute Pengujian	40
Gambar 4. 1 (a) Hasil Perancangan <i>Autonomous vehicle</i> (b) servo potensiometer (c) encoder	41
Gambar 4. 2 Kurva Variabel Posisi Mobil 3 Member	42
Gambar 4. 3 Kurva Variabel Posisi Mobil 5 Member	43
Gambar 4. 4 Kurva Variabel Sudut Jalan 3 member	44
Gambar 4. 5 Kurva Variabel Sudut Jalan 5 Member	45
Gambar 4. 6 Kurva Variabel Jarak <i>Obstacle</i> 3 Member	47
Gambar 4. 7 Kurva Variabel Jarak <i>Obstacle</i> 5 Member	48
Gambar 4. 8 Kurva Variabel Posisi <i>Obstacle</i> 3 Member	49
Gambar 4. 9 Kurva Variabel Posisi <i>Obstacle</i> 5 Member	50
Gambar 4. 10 Hasil fuzzifikasi pada program C++ (a) 3 member, (b) 5 member	52
Gambar 4. 11 Grafik Hasil Output Menggunakan <i>Fuzzy type-1</i>	54
Gambar 4. 12 Grafik Hasil Output Menggunakan <i>Fuzzy type-2</i>	54
Gambar 4. 13 Pengujian Sistem secara <i>Real Time</i>	56
Gambar 4. 14 Pengujian pada jalan lurus dengan 3 member (a) Rute Pengujian (b) Kondisi Jalan berdasarkan <i>computer vision</i>	57
Gambar 4. 15 Grafik pengujian jalan lurus dengan 3 member (a) Steering angle (b) kecepatan	58
Gambar 4. 16 Pengujian pada jalan serong kiri dengan 3 member (a) Rute Pengujian (b) Kondisi Jalan berdasarkan computer vision	58
Gambar 4. 17 Grafik output pada jalan serong kiri dengan 3 member (a) Steering angle (b) kecepatan	59
Gambar 4. 18 Pengujian pada simpang belok kanan (a) Rute Pengujian (b) Kondisi Jalan berdasarkan computer vision	59
Gambar 4. 19 Grafik Output pada jalan belok kanan (a) Steering angle dan (b) kecepatan	60
Gambar 4. 20 Pengujian <i>Obstacle</i> dengan 3 member (a) kiri dan kanan (b) depan (c) Lokasi rute	61
Gambar 4. 21 Grafik pengujian dengan 3 member dari (a) steering angle (b) kecepatan	62

Gambar 4. 22 Pengujian jalan lurus dengan 5 member (a) Rute Pengujian (b) Kondisi Jalan berdasarkan computer vision.....	63
Gambar 4. 23 Grafik pengujian jalan lurus dengan 5 member (a) <i>steering angle</i> (b) kecepatan.....	63
Gambar 4. 24 Pengujian pada jalan serong kiri dengan 5 member (a) Rute Pengujian (b) Kondisi Jalan berdasarkan computer vision	64
Gambar 4. 25 Grafik pengujian jalan serong kiri dengan 5 member (a) <i>steering angle</i> (b) kecepatan	65
Gambar 4. 26 Pengujian pada simpang belok kanan dengan 5 member (a) Rute Pengujian (b) Kondisi Jalan berdasarkan computer vision	66
Gambar 4. 27 Grafik Pengujian belok kanan dengan 5 member dari (a) <i>Steering angle</i> (b) kecepatan	67
Gambar 4. 28 Pengujian Obstacle dengan 5 member (a) kiri dan kanan (b) depan (c) Lokasi rute	67
Gambar 4. 29 Grafik pengujian Obstacle dengan 5 member dari (a) <i>steering angle</i> (b) kecepatan	68
Gambar 4. 30 Rute full pengujian replikasi	69
Gambar 4. 31 Grafik perbandingan steering angle fuzzy type-2 dan manusia	70
Gambar 4. 32 Grafik perbandingan Kecepatan fuzzy type-2 dan manusia.....	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan hasil kedua sistem kontrol [17]	8
Tabel 2. 2 Perancangan Rule base [24]	12
Tabel 3. 1 Spesifikasi Laptop	24
Tabel 3. 2 Fungsi Keanggotaan input Jarak Obstacle	35
Tabel 3. 3 Fungsi Keanggotaan input Posisi Obstacle	35
Tabel 3. 4 Fungsi Keanggotaan input posisi mobil terhadap jalan	36
Tabel 3. 5 Fungsi Keanggotaan input sudut jalan	36
Tabel 3. 6 Fungsi Keanggotaan output steering angle	37
Tabel 3. 7 Fungsi Keanggotaan output sudut servo	37
Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian Simulasi	55
Tabel 4. 2 <i>Steering angle Fuzzy type-2</i> masing-masing <i>membership function</i> dan <i>setpoint</i>	71
Tabel 4. 3 Kecepatan Fuzzy type-2 masing-masing <i>membership function</i> dan <i>setpoint</i>	73

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Autonomous Vehicle merupakan kendaraan yang dapat beroperasi tanpa bantuan manusia atau otomatis [1]. *Autonomous vehicle* menggunakan teknologi canggih untuk memahami lingkungan sekitar, mengidentifikasi rute, mendeteksi objek di sekitarnya, dan membuat keputusan yang diperlukan untuk mengemudi dengan aman [2] [3]. Pengembangan teknologi *autonomous vehicle* telah mencapai titik penting dalam industri otomotif, di mana kendaraan tidak lagi hanya menjadi alat transportasi, tetapi juga menjadi entitas cerdas yang mampu mengambil keputusan sendiri [4] [5].

Seiring dengan pesatnya peningkatan jumlah kendaraan dan populasi, muncul tantangan yang signifikan bagi *autonomous vehicles*. Pada tahun 2018, terjadi kecelakaan *autonomous vehicle* yang sedang melakukan uji coba teknologi, sehingga menabrak pejalan kaki hingga tewas [6] dan terjadi juga kecelakaan *autonomous vehicle* yang menabrak truk sampai mengakibatkan kematian [6]. Salah satu tantangan utama yang dihadapi adalah keandalan berkendara yang sangat diperlukan untuk menjaga keselamatan, keamanan dan kenyamanan pengguna jalan raya [7]. Sistem kendali *autonomous vehicle* merupakan kunci utama dalam menciptakan kendaraan yang lebih aman dan efisien dalam mobilitas dengan memperhatikan kondisi lingkungan jalan yang dilalui [8]. Oleh karena itu keandalan sistem kendali *autonomous vehicle* menjadi elemen kritis dalam merancang kendaraan otomatis yang dapat beroperasi dengan baik [9].

Salah satu keandalan yang dibutuhkan pada kendaraan otomatis yaitu kecepatan. Kecepatan berkendara merupakan salah satu perilaku utama yang mempengaruhi keselamatan dan kenyamanan dalam berkendara [10]. Kecepatan yang tidak sesuai dengan kondisi lingkungan sekitar dapat menyebabkan risiko kecelakaan yang tinggi [11]. Ketika pengemudi mengambil keputusan tentang kecepatan berkendara, mereka harus memperhatikan berbagai faktor, termasuk kondisi jalan, kepadatan lalu lintas, serta keberadaan pejalan kaki dan pengendara lainnya [12]. Penelitian mengenai kendali kecepatan pada *autonomous vehicle* telah dilakukan oleh sejumlah peneliti dengan berbagai metode, seperti menggunakan

metode pengendali *Proportional Integral Derivative* (PID) dengan masukan menggunakan RFID [13], kendali kecepatan untuk perilaku mengikuti mobil dengan *reinforcement learning* [14] dan kecepatan menggunakan *fuzzy* sebagai *self-tuning* PID [15]. Selain kecepatan berkendara, sudut kemudi adalah faktor lain yang tidak kalah penting dalam kendali pada *autonomous vehicle*. Sudut kemudi mempengaruhi arah perjalanan kendaraan dan keberhasilan manuver terutama dalam situasi kompleks seperti tikungan tajam, persimpangan, atau pergantian jalur [16]. Penelitian mengenai kendali sudut kemudi telah banyak dilakukan dengan beberapa metode, seperti menggunakan *Proportional Integral Derivative* (PID) untuk menstabilkan sudut kemudi [17], estimasi sudut kemudi dengan *Convolution Neural Network* (CNN) [18], dan simulasi desain sudut kemudi dengan kendali *Fuzzy* untuk mobil buggy [19].

Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [13] [14] [15] [17] [18] [19], sistem kendali yang digunakan sudah menunjukkan hasil yang baik. Namun sistem kendali yang dilakukan hanya berfokus pada otomatisasi spesifik fungsi dan tugas tertentu. Sebagian besar desain yang dilakukan tidak memperhatikan parameter lain yang dapat mempengaruhi masing-masing tugas, seperti sudut kemudi dan kecepatan dipengaruhi oleh kondisi jalan, posisi *obstacle*, jarak *obstacle* dan persimpangan. Sehingga pada penelitian ini, dikembangkan sistem kendali yang dapat menentukan sudut kemudi kendaraan dan kecepatan berkendara yang baik. Dengan mengintegrasikan tugas-tugas tersebut dapat menciptakan kendali *autonomous vehicle* yang lebih baik dan membentuk perilaku berkendara yang cerdas.

Berdasarkan aspek yang harus diperhatikan, membentuk perilaku kendaraan otomatis terhadap kecepatan dan sudut kemudi merupakan hal kompleks. Oleh karena itu, membutuhkan pendekatan yang dapat mengatasi kompleksitas ini. Dalam penelitian ini, akan digunakan algoritma logika *fuzzy* sebagai alat untuk memperhitungkan semua faktor dalam mengendalikan *autonomous vehicle*. Logika *fuzzy* memungkinkan membuat keputusan secara *real-time* dari sensor-sensor yang mendeteksi lingkungan dan arah jalan dari *autonomous vehicle* [20]. Selain itu metode logika *fuzzy* dapat menangani sistem nonlinear, *flexible* dalam penggunaan, dan dapat mempresentasikan ketidakjelasan tertentu [21] [22]. Dibandingkan tipe-

1, logika *fuzzy* tipe-2 dapat digunakan untuk sistem yang lebih terperinci dan kompleks. Pada *fuzzy* tipe-1, batas-batas fungsi keanggotaan dirancang pasti. Sebaliknya, dalam *fuzzy* tipe-2, keanggotaan dirancang dengan ketidakpastian. Hal ini memiliki potensi untuk mengurangi jumlah keseluruhan aturan dalam basis aturan tipe-2 [23]. Penelitian yang dilakukan oleh [24] pada robot *line follower* menggunakan logika *fuzzy* tipe-2 sebagai pengendali, menghasilkan pergerakan yang lebih stabil, nilai integral error yang lebih kecil dan posisi sudut robot yang lebih optimal jika dibandingkan dengan pengendalian menggunakan logika *fuzzy* tipe-1. Pada penelitian [25] pada mobile robot membuktikan bahwa kendali logika *fuzzy* tipe-2 lebih efektif untuk kendali karena menghasilkan gerakan yang lebih mulus.

Kendali Logika *Fuzzy* tipe-2 ini mengendalikan sudut kemudi dan kecepatan *autonomous vehicle*. Kecepatan dan sudut kemudi sendiri berdasarkan kondisi jalan, jarak dan posisi *obstacle*, segmentasi jalan dari *computer vision* dan *error angle* terhadap jalan dari GPS. Output yang dihasilkan dari kedua sistem kendali tersebut berupa kecepatan dalam bentuk pwm dan nilai sudut kemudi dalam bentuk derajat. Sistem ini diharapkan dapat membentuk perilaku berkendara selayaknya dikemudi oleh manusia sehingga meningkatkan keamanan dan kenyamanan pengguna jalan.

1.2 Perumusan Masalah

Autonomous vehicle adalah kendaraan yang dapat beroperasi tanpa bantuan manusia atau otomatis. Berkendara secara otomatis membutuhkan sistem kendali yang mampu mendukung *autonomous vehicle* untuk menjalankan tugasnya. Biasanya, sistem kendali pada *autonomous vehicle* hanya berfokus pada pengotomatisan spesifik tugas tertentu seperti sistem kendali kecepatan atau sudut kemudi saja secara terpisah. Namun sistem kendali tersebut juga membutuhkan pendekatan yang memungkinkan pembentukan sistem kendali yang menggambarkan perilaku berkendara yang realistis, menciptakan kecerdasan dalam mengemudi, sehingga meningkatkan kenyamanan, keselamatan, dan keamanan para pengguna jalan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang sistem kendali yang berfungsi berdasarkan perilaku, berupa sistem kendali kecepatan dan *steering angle*.
2. Menguji performansi sistem kendali logika *fuzzy* tipe-2 untuk mengendalikan kecepatan dan *steering angle* secara *real time*.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem kendali *autonomous vehicle* yaitu kendali kecepatan dan kendali sudut kemudi.
2. Sistem kendali *autonomous vehicle* adalah sistem kendali utama (*primary control*) yang menggunakan *fuzzy logic type 2* metode sugeno.
3. *Autonomous vehicle* beroperasi di Universitas Sriwijaya kampus Indralaya.
4. Terdapat 4 Input *fuzzy logic* pada kendali kecepatan dan sudut kemudi, yaitu deteksi jarak, posisi objek dan segmentasi jalan menggunakan *deep learning*, serta *error angle* menggunakan GPS.
5. Jumlah maksimal penumpang mobil 4 orang.

1.5 Keaslian Penelitian

Terdapat beberapa penelitian yang telah membahas tentang kontrol kecepatan dan sudut kemudi pada *autonomous vehicle*. Penelitian yang dilakukan oleh Hafiz Halin dkk. dari Advanced Intelligent Computing and Sustainable Research Group (AICoS) di Universiti Malaysia Perlis (UniMAP). Penelitian ini membahas mengenai desain simulasi pengontrol roda kemudi *Fuzzy* untuk mobil buggy. Penelitian ini memiliki keterbatasan dalam pengujian dikarenakan menggunakan simulasi untuk menguji pengontrol *Fuzzy* yang telah dikembangkan. Penelitian ini tidak memiliki kontrol khusus untuk kecepatan kendaraan dalam pengujian atau konstan [19].

Penelitian yang dilakukan oleh Abed dkk. Dari Nile University, Mesir. Penelitian ini, membahas tentang kontrol kemudi menggunakan dua metode untuk kontrol kemudi yaitu kontrol PID dengan penyetelan manual dan kontrol dengan *deep learning* menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN). Penelitian ini

membahas perbandingan antara kedua metode tersebut. Hasil dari kedua metode tersebut sudah cukup baik, Namun, sistem kontrol kemudi PID menunjukkan hasil yang lebih stabil dan lebih sedikit mengalami osilasi dibandingkan dengan sistem kontrol kemudi *deep learning*. Ketergantungan dalam simulasi yang mana data dikumpulkan dari simulasi yang mungkin tidak sepenuhnya mempresentasikan kondisi nyata [17].

Penelitian yang dilakukan oleh Caroline dkk. membahas tentang sistem kendali kecepatan pada *autonomous electric vehicle* menggunakan teknologi RFID sebagai *input setpoint*. Penelitian tersebut menggunakan sistem kendali PID untuk mempertahankan kecepatan. Parameter *gain* PID menggunakan metode *trial and error*. Sistem kontrol kecepatan sudah memberikan hasil yang cukup baik. Namun dari segi lintasan menggunakan RFID tergolong tidak *flexible* untuk kendali kecepatan pada *autonomous vehicle* [13].

Penelitian yang dilakukan oleh Bustanul Arifin dkk. Membahas tentang metode kontrol kemudi untuk kendaraan otonom menggunakan kontrol logika *fuzzy* tipe-2 dan kontrol PI. Penelitian membahas kontrol *primary* dan *secondary*. Hasil dari penelitian tersebut mengatakan kontrol *fuzzy* tipe-2 dan PI lebih baik dari pada kontrol *fuzzy* tipe-1 dan PI. Kombinasi *fuzzy* tipe-2 dan PI memberikan output yang lebih halus. Pengujian dilakukan secara simulasi menggunakan *platform Laboratory Virtual Electronics Workbench 2016*. Hal tersebut mengakibatkan hasil yang diperoleh mungkin tidak sepenuhnya mencerminkan kondisi dan respons yang sebenarnya dari sistem yang sedang diuji [26].

Penelitian yang dilakukan oleh Wang Jiang Feng dkk. Membahas tentang sistem pengendalian kecepatan *autonomous vehicle* telah dikembangkan menggunakan pengontrol PID dengan penyetelan otomatis *fuzzy*. Pendekatan ini menggabungkan kontrol *fuzzy* dan kontrol PID untuk meningkatkan stabilitas dan akurasi sistem. Hasil simulasi eksperimen menunjukkan bahwa metode yang diusulkan berhasil mengurangi *overshoot* sistem dan meningkatkan kemampuan sistem untuk mengatasi interferensi. Meskipun terdapat beberapa kesalahan antara hasil simulasi dengan sistem sebenarnya, pengontrol yang diusulkan mampu secara efektif melacak kecepatan yang diinginkan [15].

Penelitian yang dilakukan oleh Dzulfikar, D.A dkk. Membahas tentang perrancangan sistem kontrol *fuzzy* tipe 2 interval untuk robot pengikut garis dan membandingkannya dengan sistem kontrol *fuzzy* tipe 1. Melalui simulasi menggunakan Matlab/Simulink, dibuat model robot dan pengendali untuk menguji namun tidak secara *real time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kendali *fuzzy* tipe 2 interval menghasilkan pergerakan robot yang lebih stabil, posisi sudut robot yang lebih baik dan memiliki nilai integral *error* yang lebih kecil dibandingkan dengan sistem kendali *fuzzy* tipe 1 [24].

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] R. Langari, "Autonomous vehicles: A tutorial on research and development issues," *Proc. Am. Control Conf.*, pp. 4018–4022, 2017, doi: 10.23919/ACC.2017.7963571.
- [3] M. Ranjith Rochan, K. Aarthi Alagammai, and J. Sujatha, "Computer vision based novel steering angle calculation for autonomous vehicles," *Proc. - 2nd IEEE Int. Conf. Robot. Comput. IRC 2018*, vol. 2018-Janua, pp. 143–146, 2018, doi: 10.1109/IRC.2018.00029.
- [4] T. Nguyen and M. Yoo, "Fusing LIDAR sensor and RGB camera for object detection in autonomous vehicle with *fuzzy* logic approach," *Int. Conf. Inf. Netw.*, vol. 2021-Janua, pp. 788–791, 2021, doi: 10.1109/ICOIN50884.2021.9334015.
- [5] C. S. Raveena, R. S. Sravya, R. V. Kumar, and A. Chavan, "Sensor Fusion Module Using IMU and GPS Sensors for Autonomous Car," *2020 IEEE Int. Conf. Innov. Technol. INOCON 2020*, pp. 1–6, 2020, doi: 10.1109/INOCON50539.2020.9298316.
- [6] R. N. Ardi, "KENDARAAN DI INDONESIA DENGAN JERMAN DAN KOREA SELATAN Rama Novtian Ardi Indri Fogar Susilowati," *J. Hukum, 161-170.*, pp. 1–13, 2022.
- [7] S. H. Lee and C. C. Chung, "Autonomous-Driving Vehicle Control with Composite Velocity Profile Planning," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 29, no. 5, pp. 2079–2091, 2021, doi: 10.1109/TCST.2020.3029713.
- [8] S. Cheng, L. Li, X. Chen, J. Wu, and H. Da Wang, "Model-Predictive-Control-Based Path Tracking Controller of Autonomous Vehicle Considering Parametric Uncertainties and Velocity-Varying," *IEEE Trans.*

- Ind. Electron.*, vol. 68, no. 9, pp. 8698–8707, 2021, doi: 10.1109/TIE.2020.3009585.
- [9] N. Fouladinejad, J. M. Taib, and M. K. Abd Jalil, “Development of a realistic driving behavior by means of *fuzzy* inference system,” *J. Teknol.*, vol. 74, no. 10, pp. 69–77, 2015, doi: 10.11113/jt.v74.4836.
- [10] 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,” *IET Intell. Transp. Syst.*, vol. 12, no. 6, pp. 485–494, 2018, doi: 10.1049/iet-its.2016.0293.
- [11] A. S. Sumantri, “Studi Ketrampilan Berkendara Terhadap Perilaku Aman Berkendara Pada Taruna Stimart ‘Amni’ Semarang,” *J. Sains Dan Teknol. Marit.*, vol. XVII, no. 2, pp. 100–109, 2018, doi: 10.33556/jstm.v0i2.180.
- [12] M. Zhu, Y. Wang, Z. Pu, J. Hu, X. Wang, and R. Ke, “Safe, efficient, and comfortable velocity control based on reinforcement learning for autonomous driving,” *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 117, no. March 2019, p. 102662, 2020, doi: 10.1016/j.trc.2020.102662.
- [13] Z. H. Caroline, M. Zaid Haritsyah, M. Fauzan , Sariman, Hermawati, Suci Dwijayanti, Bhakti Yudho Suprpto, “Sistem Kendali Kecepatan Pada Autonomous Electric Vehicle Dengan Menggunakan Pengendali Pid,” ... *Eng. ...*, pp. 27–28, 2020, [Online]. Available: https://repository.unsri.ac.id/58760/%0Ahttps://repository.unsri.ac.id/58760/4/RAMA_20201_03041281722043_0014025604_01_front_ref.pdf.
- [14] Z. Wang, H. Huang, J. Tang, X. Meng, and L. Hu, “Velocity control in car-following behavior with autonomous vehicles using reinforcement learning,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 174, no. November 2021, p. 106729, 2022, doi: 10.1016/j.aap.2022.106729.
- [15] J. F. Wang and H. Zhao, “Speed control of tracked vehicle autonomous driving system using *fuzzy* self-tuning PID,” *Proc. - 2019 4th Int. Conf. Mech. Control Comput. Eng. ICMCCE 2019*, pp. 305–308, 2019, doi: 10.1109/ICMCCE48743.2019.00075.

- [16] B. P. Amiruddin, R. E. Abdul Kadir, and A. Santoso, "Pengaturan Kemudi Kendaraan Otonom Four Wheel Steer dan Four Wheel Drive (4WS4WD) Menggunakan Model Predictive Control," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 1, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i1.59574.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] A. T. Nguyen, S. W. Ryu, A. U. Rehman, H. H. Choi, and J. W. Jung, "Improved Continuous Control Set Model Predictive Control for Three-Phase CVCF Inverters: *Fuzzy* Logic Approach," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 75158–75168, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3081718.
- [21] 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.
- [22] I. Baturone, F. J. Moreno-Velo, S. Sánchez-Solano, and A. Ollero, "Automatic design of *fuzzy* controllers for car-like autonomous robots," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 12, no. 4, pp. 447–465, 2004, doi: 10.1109/TFUZZ.2004.832532.
- [23] I. Hussain, S. A. Murtza, M. Y. Qadri, M. Fleury, and N. N. Qadri, "Scalable, energy-aware system modeling and application-specific reconfiguration of MPSocs with a type-2 *fuzzy* logic system," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 74, pp. 292–304, 2019, doi: 10.1016/j.compeleceng.2019.01.015.

- [24] D. A. Dzulfikar, K. Wijayanto, and ..., "Perancangan Kendali *Fuzzy* Tipe 2 pada Model Robot Line Follower," ... *Teknol. dan Ris.* ..., pp. 92–96, 2021, [Online]. Available: <https://semnastera.polteksmi.ac.id/index.php/semnastera/article/view/234%0Ahttps://semnastera.polteksmi.ac.id/index.php/semnastera/article/download/234/106>.
- [25] L. Cherroun, M. Nadour, and A. Kouzou, "Type-1 and Type-2 *Fuzzy* Logic Controllers for Autonomous Robotic Motion," *Proc. - 2019 3rd Int. Conf. Appl. Autom. Ind. Diagnostics, ICAAID 2019*, vol. 1, no. September, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/ICAAID.2019.8934997.
- [26] 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.
- [27] R. F. Sinulingga, "Kendali Kecepatan pada Autonomous Electric Vehicle Menggunakan *Fuzzy* Logic dengan Input berbasis Computer Vision," 2023.
- [28] F. Sana, N. L. Azad, and K. Raahemifar, "Autonomous Vehicle Decision-Making and Control in Complex and Unconventional Scenarios—A Review," *Machines*, vol. 11, no. 7, pp. 1–29, 2023, doi: 10.3390/machines11070676.
- [29] F. Wahab, A. Sumardiono, A. R. Al Tahtawi, and A. F. A. Mulayari, "Desain dan Purwarupa *Fuzzy* Logic Control untuk Pengendalian Suhu Ruangan," *J. Teknol. Rekayasa*, vol. 2, no. 1, p. 1, 2017, doi: 10.31544/jtera.v2.i1.2017.1-8.
- [30] M. F. Saifuddin, *Implementasi algoritma Fuzzy type-2 untuk menentukan perilaku NPC dalam game Virtual Reality Survival Shooter*. 2018.
- [31] 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.

- [32] S. L. Sitio, "Penerapan *Fuzzy Inference* Sistem Sugeno untuk Penentuan Jumlah Pembelian Obat," *J. Infor Univ. Pamulang*, vol. 3, no. 2, p. 104, 2018.