SKRIPSI

KENDALI KECEPATAN PADA *AUTONOMOUS ELECTRIC VEHICLE* MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC* DENGAN INPUT BERBASIS *COMPUTER VISION*

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

OLEH

REGITA FORTUNA SINULINGGA
03041381924067

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2023

LEMBAR PENGESAHAN

KENDALI KECEPATAN PADA *AUTONOMOUS ELECTRIC VEHICLE* MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC* DENGAN INPUT BERBASIS *COMPUTER VISION*

SKRIPSI

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

OLEH

REGITA FORTUNA SINULINGGA
03041381924067

Palembang, 25 Juli 2023

Mengetahui,	**Menyetujui,**
Ketua Jurusan Teknik Elektro	**Dosen Pembimbing**
Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU	**Dr. Eng. Ir. Suci Dwijayanti, S.T., M.S., IPM**
NIP. 197108141999031005	**NIP. 198407302008122001**

ii

HALAMAN PERNYATAAN DOSEN

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

Tanda Tangan : _____

Pembimbing Pertama : Dr. Eng. Ir. Suci Dwijayanti, S.T., M.S., IPM

Tanggal : 25 Juli 2023

iii

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama	: Regita Fortuna Sinulingga
NIM	: 03041381924067
Fakultas	: Teknik
Jurusan/Prodi	: Teknik Elektro
Universitas	: Universitas Sriwijaya

Hasil Pengecekan *Software iThenticate/Turnitin* : 17%

Menyatakan bahwa laporan hasil penelitian saya yang berjudul "Kendali Kecepatan Pada *Autonomous Electric Vehicle* Menggunakan *Fuzzy Logic* Dengan Input Berbasis *Computer Vision*" 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, 25 Juli 2023

Regita Fortuna Sinulingga

NIM. 03041381924067

iv

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama	: Regita Fortuna Sinulingga
NIM	: 03041381924067
Jurusan	: Teknik Elektro
Fakultas	: Teknik
Jenis Karya	: Skripsi

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

KENDALI KECEPATAN PADA *AUTONOMOUS ELECTRIC VEHICLE* MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC* DENGAN INPUT BERBASIS *COMPUTER VISION*

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 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
Pada tanggal : 25 Juli 2023

Regita Fortuna Sinulingga
NIM. 03041381924067

v

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan yang Maha Esa. Atas Berkat dan Kasih dari Tuhan dan keluarga karena berkat rahmat dan karuniaNya penyusun dapat menyelesaikan skripsi "Kendali Kecepatan Pada *Autonomous Electric Vehicle* Menggunakan *Fuzzy Logic* Dengan Input Bebasis *Computer Vision".*

Pembuatan skripsi ini disusun untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan semangat dan memberi dukungan baik secara mental, fisik, maupun finansial.
2. Bapak Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprapto S.T., M.T., IPM dan Ibu Dr. Eng.Ir. Suci Dwijayanti, S.T., M.S., IPM selaku pencetus dan memberikan bimbingan tugas akhir ini serta pengembang ide.
3. Ibu Dr. Eng.Ir. Suci Dwijayanti, S.T., M.S., IPM selaku pembimbing pertama dan Bapak Ir. Zaenal Husin, M.Sc selaku pembimbing kedua tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingan dan ilmu selama proses penulisan skripsi.
4. Dosen pembimbing akademik, bapak Djulil Amri, S.T., M.T yang telah memberikan arahan serta bimbingan kepada penulis selama masa perkuliahan.
5. Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M. Eng., Ph.D., IPU selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya dan Ibu Dr. Eng.Ir. Suci Dwijayanti, S.T., M.S., IPM selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
6. Segenap dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan.
7. Terima kasih kepada pemilik NIM 03041381621087 yang telah membersamai penulis selama pengerjaan skripsi ini sampai selesai. Terima kasih telah menjadi rumah dan menemani dalam kondisi apapun.

8. Saudara Dimsyiar M Al Hafiz, Muhammad Rizki, Sandhika Novario Shoumy, Farhan Abie Ardandy, Gita Suryani, dan Javen Jonathan selaku rekan kerja yang selalu bersemangat dalam pembuatan tugas akhir ini.
9. Saudara Finandra Nusantara, Ishran Aprizal, Rosidi, Darryl Prasanna, Khoirul Amaly, Mahasti Namira, dan Muhammad Teranggono Rachmatullah dan teman-teman satu Angkatan konsentrasi Teknik Kendali dan Komputer yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini khususnya.
10. Kakak-kakak, teman-teman, dan adik-adik Klub Robotika Unsri yang selalu membantu, menyemangati, dan mengisi hari-hari menjadi menyenangkan.
11. Dan pihak-pihak yang sangat membantu di dalam penyusunan skripsi ini, yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu.

Di dalam penyusunan skripsi ini, masih terdapat kekurangan karena keterbatasan penyusun, oleh karena itu penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar dapat menjadi evaluasi dan berguna untuk penyusun dimasa yang akan datang.

Palembang, 25 Juli 2023

Regita Fortuna Sinulingga
NIM. 03041381924067

vii

ABSTRAK

KENDALI KECEPATAN PADA *AUTONOMOUS ELECTRIC VEHICLE* MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC* DENGAN INPUT BERBASIS *COMPUTER VISION*

(Regita Fortuna Sinulingga, 03041381924067, 2023, 56 halaman)

Pada sistem *autonomous electric vehicle* dibutuhkan suatu sistem kendali kecepatan untuk mengatur kecepatan mobil agar tujuan keamanan dapat terpenuhi karena kendaraan yang beroperasi secara otonom harus mampu menyesuaikan kecepatannya dengan lingkungan sekitar. Namun, metode yang ada umumnya hanya mempertimbangkan kondisi jalan ideal dan belum diimplementasikan secara *real time.* Sehingga pada penelitian ini, hasil deteksi objek dan jalan dengan menggunakan pendekatan *computer vision* digunakan untuk mengukur jarak mobil terhadap objek dan sudut *steering angle* sehingga *autonomous vehicle* dapat mengambil keputusan secara tepat apakah harus bergerak cepat, sedang, atau lambat tergantung jalan yang dilewati. A*utonomous vehicle* dapat mengatur kecepatan sesuai dengan kondisi lingkungan yang dilaluinya. Pengujian ini menggunakan *fuzzy logic* dengan metode Mamdani dan metode Sugeno untuk mengontrol kecepatan pada *autonomous electric vehicle* secara otomatis dan stabil dari lokasi awal hingga ke lokasi tujuan dengan mempertimbangkan kondisi jalan baik serong kiri, lurus, dan serong kanan baik ada dan tidak ada objek yang dilalui oleh *autonomous electric vehicle* secara *real time*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 5 *member* pada saat simulasi pada Matlab dan 3 *member* untuk kondisi *real time,* dengan input berupa jarak dan *steering angle.* Kecepatan sebagai output direpresentasikan dengan sudut servo pada range 0 hingga 180^0. Dari semua pengujian yang dilakukan untuk semua kondisi keluaran kecepatan yang direpresentasikan dengan servo menunjukkan bahwa output metode Mamdani lebih akurat dibandingkan metode Sugeno yang hanya menggunakan *output singleton* dan hasil yang didapatkan sesuai dengan *rules* yang telah dibuat.

Kata kunci : *fuzzy logic controller,* kendali kecepatan, *autonomous vehicle, steering angle, jarak*

ABSTRACT

SPEED CONTROL OF AN AUTONOMOUS ELECTRIC VEHICLE USING FUZZY LOGIC WITH COMPUTER VISION-BASED INPUT

(Regita Fortuna Sinulingga, 03041381924067, 2023, 56 pages)

In an autonomous electric vehicle system, a speed control system is needed to regulate the car's speed to ensure safety goals are met. As autonomous vehicles operate, they must be able to adjust their speed according to the surrounding environment. However, existing methods generally only consider ideal road conditions and have not been implemented in real-time. Therefore, in this research, object and road detection using a computer vision approach are utilized to measure the distance between the car and objects. This allows the autonomous vehicle to make accurate decisions on whether to move fast, moderately, or slowly based on the road it is traversing. Consequently, the autonomous vehicle can adjust its speed according to the environmental conditions it encounters. Fuzzy logic with Mamdani and Sugeno methods is employed in this study to automatically and stably control the speed of the autonomous electric vehicle from the starting location to the destination, considering various road conditions such as left sloping, straight, and right sloping, with or without objects encountered in real-time. The testing is conducted using 5 members during simulation and 3 members for real conditions, with inputs in the form of distance and steering angle. The speed, represented by the servo angle ranging from 0 to 180^0, serves as the output. Throughout all the tests performed for different speed output representations using the servo, it is demonstrated that the Mamdani method is more accurate compared to the Sugeno method, which utilizes only singleton output. The results obtained align with the predefined rules for the speed control system.

Keywords : fuzzy logic controller, speed control system, autonomous vehicle, steering angle, distance

DAFTAR ISI

SKRIPSI i
KATA PENGANTAR vi
ABSTRAK viii
ABSTRACT ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR TABEL xiv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 3
1.3 Tujuan 3
1.4 Batasan Masalah 4
1.5 Keaslian Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 *State of The Art* 7
2.2 Deteksi Jarak dan Objek 13
2.3 Kendali Kecepatan 14
2.4 Logika *Fuzzy* 14
2.4.1 Struktur Dasar Sistem Kendali *Fuzzy Logic* 16
2.4.2 Sistem Kendali *Fuzzy Logic* Metode Mamdani 18
2.4.3 Sistem Kendali *Fuzzy Logic* Metode Sugeno 19
BAB III METODE PENELITIAN 20
3.1 Studi Literatur 20
3.2 Desain *Autonomous Electric Vehicle* 21
3.2.1 Laptop 21
3.2.2 Kamera 22
3.2.3 Mikrokontroler 22
3.2.4 Servo 23
3.2.5 Potensiometer 23
3.2.6 *Speed Controller* 24
3.2.7 Motor Shunt 24
3.3 Perancangan Sistem 25

3.4 Pengujian Sistem 28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 30
4.1 Hasil Perancangan Alat 30
4.2 Fungsi Keanggotaan Sistem *Fuzzy Logic* 31
4.3 Fuzzifikasi 35
4.4 *Fuzzy Rules* 37
4.5 Defuzzifikasi 39
4.6 Pengujian Sistem *Fuzzy* Secara Simulasi Pada Matlab 40
4.7 Pengujian Sistem *Fuzzy* Secara *Real Time* pada *Autonomous Electric Vehicle* 42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 56
5.1 Kesimpulan 56
5.2 Saran 56
DAFTAR PUSTAKA 57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hasil pengukuran deteksi rambu stop 7
Gambar 2.2 Hasil pengukuran deteksi replika mobil..... 7
Gambar 2.3 Hasil pengukuran deteksi lampu lalu lintas 7
Gambar 2.4 Grafik nilai sudut maksimal dengan kecepatan linear 8
Gambar 2.5 Data pengujian keluaran defuzzifikasi untuk motor servo..... 9
Gambar 2.6 Simulasi robot pemotong rumput..... 10
Gambar 2.7 Hasil pengujian mode *approaching* pada *set point* 15 cm 10
Gambar 2.8 Hasil pengujian mode *approaching* pada *set point* 20 cm 11
Gambar 2.9 Hasil pengujian mode *follow* pada *set point* 15 cm..... 11
Gambar 2.10 Hasil pengujian mode *follow* pada *set point* 20 cm..... 11
Gambar 2.11 Hasil pengujian mode *braking* pada *set point* 15 cm 12
Gambar 2.12 Hasil pengujian mode *braking* pada *set point* 20 cm 12
Gambar 2.13 Hasil keseluruhan pengujian menggunakan *fuzzy logic* 13
Gambar 2.14 Hasil keseluruhan pengujian tanpa *fuzzy logic*..... 13
Gambar 2.15 Diagram blok *fuzzy logic*..... 15
Gambar 2.16 Blok diagram sistem kendali *fuzzy logic* 16
Gambar 2.17 Fungsi keanggotaan segitiga 17
Gambar 2.18 Fungsi keanggotaan bahu 17
Gambar 3.1 Flowchart penelitian..... 20
Gambar 3.2 Desain *autonomous electric vehicle* 21
Gambar 3.3 Webcam NYK Nemesis a90 22
Gambar 3.4 Arduino Mega 2560 22
Gambar 3.5 Servo Tower Pro MG995 23
Gambar 3.6 Potensiometer 10k..... 23
Gambar 3.7 *Speed Controller* Curtis 1266..... 24
Gambar 3.8 Motor Shunt 24
Gambar 3.9 *Flowchart* perancangan sistem..... 25
Gambar 3.10 Peta rute pengujian sistem kendali kecepatan..... 29
Gambar 4.1 *Autonomous electric vehicles* 30
Gambar 4.2 Kurva untuk variabel input jarak 5 *member*..... 31
Gambar 4.3 Kurva untuk variabel input jarak 3 *member*..... 32

Gambar 4.4 Kurva untuk variabel input *steering angle* 5 *member* 33
Gambar 4.5 Kurva untuk variabel input *steering angle* 3 *member* 35
Gambar 4.6 Hasil fuzzifikasi pada Arduino Mega 2560 metode Mamdani 36
Gambar 4.7 Hasil fuzzifikasi pada Arduino Mega 2560 metode Sugeno..... 36
Gambar 4.8Output menggunakan metode Mamdani 40
Gambar 4.9 Output menggunakan metode Sugeno..... 41
Gambar 4.10 Rute Pengujian 43
Gambar 4.11 Pengujian secara *real time*..... 43
Gambar 4.12 Ada objek mobil yang menghalangi..... 44
Gambar 4.13 Serong kiri ada objek menggunakan metode Mamdani 44
Gambar 4.14 Serong kiri ada objek menggunakan metode Sugeno 45
Gambar 4.15 Serong kiri tidak ada objek menggunakan metode Mamdani 46
Gambar 4.16 Serong kiri tidak ada objek menggunakan metode Sugeno 47
Gambar 4.17 Lurus ada objek menggunakan metode Mamdani..... 48
Gambar 4.18 Lurus ada objek menggunakan metode Sugeno 49
Gambar 4.19 Lurus tidak ada objek menggunakan metode Mamdani..... 50
Gambar 4.20 Lurus tidak ada objek menggunakan metode sugeno..... 51
Gambar 4.21 Serong kanan ada objek menggunakan metode Mamdani 52
Gambar 4.22 Serong kanan ada objek menggunakan metode Sugeno 53
Gambar 4.23 Serong kanan tidak ada objek menggunakan metode Mamdani 54
Gambar 4.24 Serong kanan tidak ada objek menggunakan metode Sugeno 55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil pengujian deteksi objek 8
Tabel 3.1 Spesifikasi laptop 21
Tabel 3.2 Input jarak 5 *member* 26
Tabel 3.3 Input *steering angle* 5 *member* 26
Tabel 3.4 Output servo 5 *member* 27
Tabel 3.5 Input jarak 3 *member* 27
Tabel 3.6 Input *steering angle* 3 *member* 28
Tabel 3.7 Output servo 3 *member* 28
Tabel 4.1 *Fuzzy rules* 5 *member* 37
Tabel 4.2 *Fuzzy rules* 3 *member* 38
Tabel 4.3 Hasil data *output fuzzy* dari simulasi pada Matlab 41

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Autonomous electric vehicle adalah kendaraan otonom yang digerakkan oleh listrik. Kendaraan ini dapat membuat keputusan, seperti berjalan, berhenti, berbelok ke kanan atau ke kiri. Kendaraan otonom dikhususkan untuk mengikuti lintasan yang diinginkan dan *power train* kendaraan ini dapat menghasilkan [1] tenaga yang tinggi, halus, dan respons dinamika yang cepat dibandingkan dengan kendaraan yang memakai mesin pembakaran. Sehingga, kendaraan listrik otonom memiliki peran penting dalam sistem transportasi cerdas modern.

Kelebihan dari kendaraan listrik otonom adalah tidak menimbulkan polusi dan emisi sehingga ramah lingkungan. Selain itu, kendaraan listrik otonom dapat meningkatkan pemanfaatan jalan, keamanan kendaraan, dan mengurangi biaya mobilitas [2] serta memiliki potensi untuk mengurangi kecelakaan dan mengurangi konsumsi energi [3]. Dalam melakukan semua fungsi tersebut, pada sistem *autonomous electric vehicle* dibutuhkan suatu sistem kendali kecepatan untuk mengatur kecepatan mobil agar tujuan keamanan dapat terpenuhi.

Kecepatan merupakan faktor penting dalam pengoperasian *autonomous electric vehicle* karena kendaraan yang beroperasi secara otonom harus mampu menyesuaikan kecepatannya dengan lingkungan sekitar. Sehingga, kendali kecepatan pada *autonomous* tetap menjadi topik dalam pengembangan mobil tersebut. Pada penelitian sebelumnya telah dirancang sistem kendali kecepatan berbasis *remote control* [4]. Pada penelitian tersebut, kecepatan mobil listrik dikendalikan dari jarak jauh menggunakan *remote control* dengan data yang telah diolah oleh mikrokontroler menggunakan metode *Proportional Integral Derivative* (PID) untuk mengatur pergerakkan motor linear. Kendali kecepatan menggunakan kendali PID dapat mempercepat nilai *rise time* untuk menuju titik *set point*. Namun, *error* data masih terjadi untuk data simulasi dan data eksperimen. Hal tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, seperti *fit estimate* pada sistem tidak mencapai 100% dan pengaruh sistem mekanik pada mobil listrik belum cukup baik. Kemudian, [5] menggunakan PID sebagai sistem kendali kecepatan *autonomous*

car. Penelitian tersebut menggunakan *remote* untuk mengendalikan dari jarak jauh disertai dengan *monitoring* melalui sistem berbasis *Internet of Things* (IoT). Namun, jangkauan jarak paling jauh yang dapat diterima hanya 1300 cm dengan nilai *delay* sebesar 1000 ms.

Selain PID, pendekatan lain yang dapat dilakukan untuk mengendalikan kecepatan pada *autonomous vehicle* adalah dengan memanfaatkan *computer vision* yang banyak digunakan oleh *autonomous vehicle* untuk pengenalan objek berupa jalur dan halangan yang berada di jalan. Sang Made Sedana Yoga, Porman Pangaribuan, dan Azam Zamhuri Fuadi memanfaatkan *computer vision* pada *self driving car* dengan metode *fuzzy logic* [5]. Pada penelitian tersebut dirancang robot beroda empat yang dapat berjalan secara otomatis berdasarkan deteksi objek dengan mengenali objek berupa garis layaknya garis marka pada jalan beraspal, rambu lalu lintas, dan lampu lalu lintas. Penelitian ini menggunakan *image processing* sebagai input untuk mengendalikan mobil agar dapat melaju secara otomatis dengan *fuzzy logic* metode mamdani.

Pendekatan lain untuk kendali kecepatan adalah menggunakan *fuzzy logic*, seperti pada *Car Like Mobile Robot* (CLMR) yang merupakan sebuah *prototipe self driving* [6]. Pengujian pada penelitian tersebut dilakukan pada lintasan dengan bentuk lintasan berupa garis lurus, berbelok, dan zig-zag dalam satu lintasan putar. Hal tersebut bertujuan untuk menguji performa kendali *fuzzy logic* pada sistem CLMR dalam mengikuti lintasan garis. Hasil pengujian menunjukkan kendali *fuzzy logic* mampu membuat pergerakan CLMR sukses mengikuti lintasan uji lebih baik dari pada kendali PID.

Pada penelitian-penelitian sebelumnya, kendali kecepatan *autonomous vehicle* hanya diimplementasikan pada jalan yang memiliki garis pemisah dan metode tersebut masih dalam bentuk simulasi [5][6]. Padahal, jalan di Indonesia umumnya tidak memiliki pembatas. Selain itu, sistem kendali kecepatan hanya mempertimbangkan jalan tanpa memperhatikan faktor objek yang akan mungkin dilewati oleh mobil [5], dan menggunakan pengendali PID [4][7]. Pengontrol PID *self tuning fuzzy* baru diusulkan untuk respon kontrol kecepatan kendaraan tak berawak. Dengan menambahkan *fuzzy logic* pengontrol pada metode PID konvensional, *controller* dapat mengatur PID untuk meningkatkan stabilitas dan

akurasi kecepatan sistem kontrol. Eksperimen simulasi membuktikan metode yang diusulkan dapat mengurangi *overshoot* sistem dan meningkatkan kemampuan anti interferensi sistem dengan tingkat ketahanan tertentu [7]. Untuk mengatasi permasalahan-permasalahan tersebut maka pada penelitian ini dikembangkan sistem kendali kecepatan *autonomous vehicle* menggunakan *fuzzy logic* dengan input dari hasil deteksi objek dan jalan. *Fuzzy logic* telah menunjukkan performa yang baik pada penelitian sebelumnya [8][9][10]. Kemudian, jalan yang dilalui *autonomous vehicle* pada penelitian ini adalah jalan yang tidak memiliki garis sehingga mewakili jalan yang ada di Indonesia. Hasil deteksi objek dan jalan dengan menggunakan pendekatan *computer vision* kemudian digunakan untuk mengukur jarak mobil terhadap objek sehingga *autonomous vehicle* dapat mengambil keputusan secara tepat apakah harus bergerak cepat, sedang, atau lambat tergantung jalan yang dilewati. Sehingga, *autonomous vehicle* dapat mengatur kecepatan sesuai dengan kondisi lingkungan yang dilaluinya.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, *autonomous electric vehicle* harus dapat mengontrol kecepatan secara otomatis dan stabil dari lokasi awal hingga ke lokasi tujuan. Akan tetapi, metode yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan masih belum efektif dan optimal karena hanya mempertimbangkan kondisi jalan ideal, dimana jalan memiliki tanda jalan dan tidak ada hambatan, jalan ini umumnya terstruktur dan belum mempertimbangkan objek yang mungkin dilalui oleh *autonomous electric vehicle*. Selain itu, metode tersebut belum diimplementasikan secara *real time* pada *autonomous electric vehicle*.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengembangkan sistem kendali kecepatan menggunakan *fuzzy logic* dengan menggunakan input hasil jarak posisi objek dan sudut *steering angle* terbaca dari deteksi objek dan jalan berbasis *computer vision*. Selain itu, penelitian juga menguji kinerja dari *fuzzy logic* untuk mengendalikan kecepatan secara *real time*.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Pengujian dilakukan di Universitas Sriwijaya kampus Indralaya
2. Menggunakan *fuzzy logic* dengan metode Mamdani dan Sugeno
3. Menggunakan mikrokontroler Arduino
4. Menggunakan motor *Shunt*
5. Inputan yang digunakan dalam *membership function* pada *fuzzy logic* berasal dari hasil deteksi objek dan jarak menggunakan *deep learning*.

1.5 Keaslian Penelitian

Beberapa penelitian telah dilakukan pada sistem kontrol otomatis kendaraan listrik. [5] merancang *prototype* mobil *self driving*. Pada penelitian ini dirancang sistem berupa robot beroda empat yang dapat beroperasi secara otonom, mirip dengan mobil *self driving*. Robot beroda ini memungkinkan untuk mengenali objek berupa garis seperti garis pada jalan berbatu dan mampu mengendalikan mobil *self driving* menggunakan *fuzzy logic*. Robot juga dapat mendeteksi rambu lalu lintas dan lampu lalu lintas menggunakan *haar like classifier* dengan akurasi rata-rata 92,7%. Jika ada halangan maka robot akan berbelok ke kanan untuk menuju jalur kanan, kemudian melewati halangan tersebut dan kembali ke jalur kiri. Saat terdeteksi tanda berhenti, robot akan berhenti selama 5 detik. Kemudian ketika robot mendeteksi lampu merah maka robot akan berhenti sampai lampu berubah menjadi hijau. Pada sistem kendali berbasis *fuzzy logic*, robot dapat mengikuti jalurnya dengan tepat hingga mencapai akurasi rata-rata 91,94%.

Studi lain dilakukan oleh [6]. Pada penelitian ini dirancang sistem kendali berbasis *fuzzy logic* untuk mengatur kecepatan dan arah sudut kemudi pada *Car Like Mobile Robot* (CLMR) menggunakan metode kemudi Ackermann. Jejak garis CLMR dirancang menggunakan 16 fotodioda dan memiliki 7 anggota dari kesalahan baca dan kesalahan akhir hingga 49 aturan yang akan dibentuk. Untuk mengecek kinerja kontrol *fuzzy logic* pada sistem CLMR sesuai dengan jalurnya maka dilakukan pengujian berupa garis lurus, tikungan dan zig-zag sesuai dengan lintasan putaran. Proses perubahan nilai keanggotaan fuzzifikasi input dan defuzzifikasi output dilakukan sebanyak lima kali. Hasil pengujian menunjukkan

bahwa kendali *fuzzy logic* yang diterapkan pada sistem mampu melakukan gerakan CLMR mendekati lintasan uji dalam waktu 9,38 detik atau 0,53 detik lebih baik dibandingkan dengan kendali PID.

Penelitian lain yang juga menggunakan *fuzzy logic* untuk kontrol kecepatan telah dilakukan oleh [8]. Penelitian ini telah merancang kendaraan robot pemotong rumput otomatis yang dapat menjelajahi suatu daerah. Robot menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi batas lateral area yang diletakkan di depan dan sensor warna seperti putaran motor DC *on/off* yang diletakkan di bagian bawah dan sensor ini dihubungkan dengan pusat kendali yaitu mikrokontroler ATmega2560 agar robot dapat bergerak sesuai dengan fungsi yang diberikan. Cara kerja robot adalah bergerak sesuai dengan perintah yang ditentukan pada program arduino dan seluruh motor akan berhenti ketika terdeteksi warna merah. Metode *fuzzy logic* yang digunakan pada *mobile robot* ini bertujuan untuk mengatur kecepatan motor saat menerima input dari sensor ultrasonik, agar pergerakan robot saat berubah arah menjadi lebih halus. Hasil dari penelitian ini adalah *mobile robot* yang dapat bergerak secara mandiri untuk menjelajahi area pemotongan yang telah ditentukan.

Prototipe sistem kontrol kecepatan mobil menggunakan metode inferensi *fuzzy* Tsukamoto dibuat oleh [9]. Pada penelitian ini, pengaturan kecepatan mobil secara otomatis dirancang berdasarkan jarak aman yang ditentukan oleh mobil di depannya. Sistem ini menggunakan Arduino sebagai pengontrol *fuzzy logic*. Pengukuran jarak mobil menggunakan sensor proximity HC-SR04 dan *Speed Wide Modulation* (PWM) dari motor DC digunakan untuk mengatur kecepatan mobil. Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua mobil di lintasan uji sepanjang 2 meter. Mobil alpha adalah mobil referensi dan mobil beta adalah kendaraan otomatis. Sistem pengatur kecepatan mobil diuji dalam empat simulasi yang menggambarkan kondisi umum lalu lintas, yaitu pendekatan, ikuti, rem dan kombinasi. Hasil menunjukkan mobil beta dapat melacak kendaraan alpha dengan *error* jarak 0 cm sampai -4 cm. Untuk mengatur jarak ke mobil alpha berdasarkan *set point*, mobil beta menyesuaikan kecepatannya, antara lain menambah kecepatan saat mobil alpha bergerak lebih cepat, melambat saat mobil alpha bergerak lebih lambat, dan berhenti saat mobil alpha berhenti.

Penelitian [10] juga menggunakan *fuzzy logic* sebagai pengatur kecepatan pada *mobile robot*. Pada robot beroda, pengendalian perintah robot untuk menggerakkan robot maju, mundur, belok kiri dan belok kanan dapat dilakukan berdasarkan kemiringan yang terdapat pada accelerometer bawaan *smartphone*. Akselerometer memiliki 3 sumbu X, Y dan Z. Ketiga sumbu ini dapat digunakan untuk mengontrol robot yang menghubungkan dua platform berbeda dengan mendukung komunikasi *bluetooth*. Kecepatan motor DC dikendalikan oleh *fuzzy logic* untuk menentukan kecepatan sesuai dengan situasi agar robot tidak menabrak halangan. Kecepatan motor DC digunakan sebagai input pada metode *Pulse Width Modulation* (PWM) sebagai penggerak motor. Input jarak ke mobil robot diambil dari sensor ultrasonik dan akan diproses oleh mikrokontroler. Keluarannya berupa kecepatan putar motor DC yang berubah secara adaptif berdasarkan informasi jarak yang dikirimkan dari sensor ultrasonik. Penggunaan metode ini membuat pergerakan robot menjadi lebih halus dan akurat saat berhenti ketika menemui rintangan. Dalam skenario pengujian, beberapa kecepatan dan jarak digunakan dalam suatu ruangan dengan tujuan untuk mengetahui performa pergerakan robot saat dikendalikan. Kecepatan yang digunakan adalah 160, 200 dan 240 PWM. Jarak pemakaian 20, 30, 40, 50, 60 dan 70 cm. Menghasilkan nilai *error* terkecil pada jarak 50 cm dengan kecepatan 200 PWM. Robot berhenti secara otomatis dengan nilai kesalahan melebihi jarak yang ditentukan dengan rata-rata 1,45 cm setelah sepuluh percobaan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tingkat akurasi kontrol dengan menggunakan *fuzzy logic* memberikan hasil yang lebih baik dalam akurasi kontrol. Namun metode pengendalian ini memiliki kelemahan yaitu kecepatan robot yang konstan saat bergerak sehingga kemungkinan robot menabrak rintangan di depan sangat tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Y. Zhang, Z. Ai, J. Chen, T. You, C. Du, and L. Deng, "Energy-Saving Optimization and Control of Autonomous Electric Vehicles With Considering Multiconstraints," *IEEE Trans. Cybern.*, vol. 52, no. 10, pp. 10869–10881, 2022, doi: 10.1109/TCYB.2021.3069674.

[2] J. Guo, Y. Luo, and K. Li, "An adaptive hierarchical trajectory following control approach of autonomous four-wheel independent drive electric vehicles," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 19, no. 8, pp. 2482–2492, 2018, doi: 10.1109/TITS.2017.2749416.

[3] D. Phan, A. Bab-Hadiashar, M. Fayyazi, R. Hoseinnezhad, R. N. Jazar, and H. Khayyam, "Interval Type 2 Fuzzy Logic Control for Energy Management of Hybrid Electric Autonomous Vehicles," *IEEE Trans. Intell. Veh.*, vol. 6, no. 2, pp. 210–220, 2021, doi: 10.1109/TIV.2020.3011954.

[4] A. Ramadan, A. Rusdinar, and ..., "Perancangan Kendali Kecepatan Mobil Listrik Dengan Metode Pid Berbasis Remot Kontrol," *eProceedings …*, vol. 9, no. 2, pp. 152–161, 2022, [Online]. Available: https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/17711%0Ahttps://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/17711/17455

[5] S. M. S. Yoga, P. Pangaribuan, and A. Z. Fuadi, "Kendali Robot Beroda sebagai Self Driving Car Berbasis Image Processing dengan Metode Fuzzy Logic," *J. Ilmu Komput. dan Inform.*, vol. 2, no. 2, pp. 77–92, 2022, doi: 10.54082/jiki.25.

[6] F. FAHMIZAL, B. B. MURTI, D. B. PRATAMA, and A. MAYUB, "Kendali Logika Fuzzy pada Car Like Mobile Robot (CLMR) Penjejak Garis," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 6, no. 3, p. 451, 2018, doi: 10.26760/elkomika.v6i3.451.

[7] 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.

[8] M. Firdaus *et al.*, “Pengendalian Robot Mobil Otonom Pemotong Rumput Menggunakan Metode Logika Fuzzy,” *Kitektro*, vol. 2, no. 2, pp. 36–43, 2017.

[9] P. Studi, “Purwarupa Sistem Kendali Kecepatan Mobil Berdasarkan Jarak dengan Sistem Inferensi Fuzzy Tsukamoto,” *IJEIS - Indones. J. Electron. Instrum. Syst.*, vol. 3, no. 2, pp. 117–126, 2013.

[10] P. Magister, B. Keahlian, K. Cerdas, D. A. N. Visualisasi, J. T. Informatika, and F. T. Informasi, “Remote Control Komunikasi Robot Berbasis Pergerakan Tangan Pada,” 2016.

[11] T. Urip, K. Adi, D. Catur, and E. Widodo, “Pengukuran jarak objek pejalan kaki terhadap kamera menggunakan kamera stereo terkalibrasi dengan segmentasi objek histogram of oriented gradient,” *Youngster Phys. J.*, vol. 6, no. 3, pp. 249–262, 2017.

[12] T. Suhendra, A. Uperiati, D. A. Purnamasari, and A. H. Yunianto, “Kendali Kecepatan Motor DC dengan Metode Pulse Width Modulation menggunakan N-channel Mosfet,” *J. Sustain. J. Has. Penelit. dan Ind. Terap.*, vol. 7, no. 2, pp. 78–85, 2018, doi: 10.31629/sustainable.v7i2.701.

[13] R. Biasrori, I. W. A. Arimbawa, and I. W. Wedashwara W., “Sistem Pendukung Keputusan Konsumsi Listrik Dengan Implementasi Iot Dan Fuzzy Rule Mining,” *J. Inform. dan Rekayasa Elektron.*, vol. 2, no. 1, p. 60, 2019, doi: 10.36595/jire.v2i1.91.

[14] N. Febriany, “Metode Fuzzy Mamdani,” *J. Math.*, pp. 29–49, 2019.

[15] P. Sukamto, “Bab II Landasan Teori,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.