

SKRIPSI

**DESAIN PENGENDALI *STEERING* PADA *AUTONOMOUS*
VEHICLE MENGGUNAKAN METODE *IMPROVED SWERVE*
DRIVE BERBASIS ALGORITMA PID**



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

Oleh:

ORIZ DJATI LAKSONO

03041282126043

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2025

LEMBAR PENGESAHAN
DESAIN PENGENDALI *STEERING* PADA *AUTONOMOUS*
VEHICLE* MENGGUNAKAN METODE *IMPROVED SWERVE
***DRIVE* BERBASIS ALGORITMA PID**



SKRIPSI

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

Oleh:

ORIZ DJATI LAKSONO

03041282126043

Palembang, 17 Juli 2025

Menyetujui,

Dosen Pembimbing

Ir. Rendyansyah, S.Kom., M.T., IPM.

NIP. 198809222022031002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

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

NIP. 197108141999031005

LEMBAR PERNYATAAN DOSEN

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

Tanda Tangan

: 

Pembimbing Utama : Ir. Rendyansyah, S.Kom., M.T., IPM.

Tanggal

: 17/Juli/2025

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

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

Nama : Oriz Djati Laksono
NIM : 03041282126043
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Sriwijaya
Jenis Karya : Skripsi

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

**DESAIN PENGENDALI *STEERING* PADA *AUTONOMOUS VEHICLE*
MENGUNAKAN METODE *IMPROVE SWERVE DRIVE*
BERBASIS ALGORITMA PID**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan), dengan Hak Bebas Royalti Non Eksklusif 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

Pada tanggal: 19 Juli 2025

Yang Menyatakan,



ORIZ DJATI LAKSONO
NIM. 03041282126043

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Oriz Djati Laksono

NIM : 03041282126043

Fakultas : Teknik

Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Universitas : Sriwijaya

Hasil Pengecekan Software *iThenticate/Turnitin*: 6 %

Menyatakan bahwa laporan hasil penelitian saya yang berjudul “Desain Pengendali Steering Pada Autonomous Vehicle Menggunakan Metode Improve Swerve Drive Berbasis Algoritma Pid merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari skripsi ini ditemukan unsur penjiplakan/plagiat, maka saya bersedia bertanggung jawab dan menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

Palembang, 19 Juli 2025



ORIZ DJATI LAKSONO
NIM. 03041282126043

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia- Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Desain Pengendali *Steering* pada *Autonomous Vehicle* menggunakan *Metode Improve Swerve Drive* Berbasis Algoritma PID”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ucapan terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada kedua orang tua penulis, Bapak Unggul Budi Laksono dan Ibu Evi Apriani, atas segala kasih sayang, doa, kesabaran, serta dukungan tanpa henti yang telah mengiringi setiap langkah penulis hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
2. Bapak Bapak Ir. Rendyansyah, S.Kom., M.T., IPM. selaku pembimbing utama tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingan dan memberikan ilmu selama proses penulisan skripsi serta memberikan arahan kepada penulis selama masa perkuliahan.
3. Lalu Bapak Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM, Ibu Dr. Ir. Eng. Suci Dwijayanti S.T., M.S., IPM, Ibu Hera Hikmarika, S.T., M.Eng., Bapak Ir. Zaenal Husin, M.Sc., Bapak Irmawan, S.Si., M.T. dan Bapak Baginda Oloan Siregar, S.T., M.T., sebagai dosen Teknik Kendali dan Robotika yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan serta selaku pencetus, pengembang ide, dan memberikan arahan pada tugas akhir ini.
4. Ibu Suci Dwijayanti, S.T., M.S., IPM. selaku sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Ir. Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU., APEC Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya sekaligus pembimbing akademik penulis yang membimbing dan mengawasi penulis selama menempuh perkuliahan di Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

6. Badar Alpian, M Reyhan Kharisma, Ahmad Dzaky Muzhafar sebagai teman satu tim dalam pengerjaan tugas akhir *Autonomous Electric Vehicle* ini.
7. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Khairunisa, sahabat terdekat yang dengan penuh kesabaran menemani sepanjang proses perkuliahan yang panjang ini. Dukungan semangat serta kepedulianya selalu memberikan kekuatan bagi penulis untuk tetap fokus dan menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Indralaya, 19 Juli 2025



Oriz Djati Laksono

ABSTRAK

DESAIN PENGENDALI STEERING PADA AUTONOMOUS VEHICLE MENGUNAKAN METODE IMPROVE SWERVE DRIVE BERBASIS ALGORITMA PID

(Oriz Djati Laksono, 03041282126043, 2025, 83 Halaman)

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pengendalian kemudi pada Autonomous Electric Vehicle (AEV) menggunakan metode Improved Swerve Drive berbasis algoritma PID dengan pendekatan kuantitatif melalui pengujian prototipe berskala kecil. Latar belakang penelitian mencakup permasalahan seperti keterbatasan manuver pada ruang sempit, kompleksitas sistem swerve drive, dan rendahnya presisi sudut kemudi. Dengan menerapkan algoritma PID melalui metode trial and error, pengujian dilakukan pada berbagai skenario seperti jalan lurus, belok 90°, parkir paralel, dan penghindaran halangan. Hasil menunjukkan efektivitas kombinasi konfigurasi PID yang berbeda, seperti PI dan P-only pada jalan lurus, serta PID penuh pada manuver parkir, dengan deviasi lintasan mencapai 3–6% dan presisi posisi hingga ± 0.5 step. Perbandingan dengan metode tuning seperti Ziegler-Nichols dan MATLAB PID Tuner mengungkapkan bahwa trial and error lebih fleksibel dan adaptif terhadap kondisi lapangan dinamis. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa algoritma PID mampu meningkatkan responsivitas, presisi sudut, dan stabilitas kendali kemudi AEV secara signifikan, serta dapat dijadikan dasar untuk implementasi pada kendaraan otonom berskala penuh.

Kata kunci: Autonomous Electric Vehicle, PID, Improved Swerve Drive, Steering Control, Trial and Error

ABSTRACT

DESIGN OF A STEERING CONTROLLER FOR AN AUTONOMOUS VEHICLE USING AN IMPROVED SWERVE DRIVE METHOD BASED ON THE PID ALGORITHM

(Oriz Djati Laksono, 03041282126043, 2025, 83 Pages)

This study aims to design a steering control system for an Autonomous Electric Vehicle (AEV) using the Improved Swerve Drive method based on the PID algorithm through a quantitative approach involving small-scale prototype testing. The research is motivated by issues such as limited maneuverability in narrow spaces, the complexity of the swerve drive system, and low steering angle precision. By applying the PID algorithm through a trial-and-error method, tests were conducted under various scenarios, including straight paths, 90° turns, parallel parking, and obstacle avoidance. The results demonstrated the effectiveness of different PID configurations, such as PI and P-only for straight-line movement, and full PID control for parking maneuvers, achieving path deviation of 3–6% and position accuracy of up to ± 0.5 steps. Comparisons with tuning methods such as Ziegler-Nichols and MATLAB PID Tuner revealed that the trial-and-error approach is more flexible and adaptive to dynamic real-world conditions. The findings conclude that the PID algorithm significantly enhances the responsiveness, steering precision, and control stability of the AEV and serves as a strong foundation for implementation in full-scale autonomous vehicle systems.

Keywords: *Autonomous Electric Vehicle, PID, Improved Swerve Drive, Steering Control, Trial and Error*

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Pembatasan Masalah.....	4
1.5 Keaslian Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 State of the Art.....	7
2.2 Autonomous vehicle	14
2.3 Swerve Drive	15
2.3.1 Four Wheel Swerve Drive Kinematics	16
2.3.2 Inverse Kinematics	17
2.3.3 Forward Kinematics.....	18
2.4 Sistem Kendali PID <i>Controller</i>	19
2.4.1 Kontrol <i>Proporsional</i>	19
2.4.2 Kontrol <i>Integral</i>	20
2.4.3 Kontrol <i>Derivatif</i>	20
BAB III METODE PENELITIAN	22
3.1 Studi Literatur	23
3.2 Perancangan Sistem	23
3.2.1 Perancangan Desain Prototipe Autonomous Electric Vehicle.....	23
3.2.2 Perancangan Desain Autonomous Electric Vehicle	25
3.2.3. Perancangan <i>Hardware</i>	27
3.3 Pengujian	34
3.3.1 Pengujian Performa Algoritma menggunakan Simulasi.....	34
3.3.2 Pengujian secara <i>Real Time</i> dilapangan	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 Hasil Perancangan AEV	38

4.1.1 Simulasi Beban Rangka	39
4.1.2 Simulasi Beban Roda.....	40
4.1.3 Prototipe AEV	42
4.2 Perancangan Sistem Kendali PID untuk Steering Autonomous Electric Vehicle.....	43
4.3 Pengujian Simulasi Tuning Parameter PID pada MATLAB.....	44
4.3.1 Pengujian Simulasi Kontrol Proporsional (Kp Saja) Metode Trial and Error pada MATLAB	45
4.3.2 Pengujian Simulasi Kontrol PI (Kp + Ki Saja) Metode Trial and Error pada MATLAB.....	46
4.3.3 Pengujian Simulasi Kontrol PID (Kp + Ki + Kd) Metode Trial and Error pada MATLAB	48
4.3.4 Pengujian Simulasi Kontrol PID (Kp + Ki + Kd) Metode PID Auto Tuner MATLAB.....	50
4.3.5 Pengujian Simulasi Kontrol PID Metode Zieglers Nichols Menggunakan MATLAB.....	51
4.3.6 Perbandingan Hasil Pengujian Simulasi Sistem Dengan dan Tanpa Pengendali PID pada MATLAB.....	54
4.4 Pengujian <i>Realtime</i> Menggunakan Prototipe AEV	57
4.4.1 Pengujian Jalan Lurus.....	57
4.4.2 Pengujian Berbelok.....	64
4.4.3 Pengujian Parkir Paralel	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	80
5.1 Kesimpulan	80
5.2 Saran	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mecanum Drive [36]	7
Gambar 2. 2 Karakterisasi Jarak Aman saat Bermanuver [42]	8
Gambar 2. 3 Plotted Trajectory Points [43]	9
Gambar 2. 4 Block Diagram of Steering System [43]	10
Gambar 2. 5 Block Diagram of Steering System [43]	10
Gambar 2. 6 Flowchart sistem [13].....	12
Gambar 2. 7 Blok Diagram dari Sistem Kontrol[40]	13
Gambar 2. 8 Mobil Autonomous Vehicle [9]	15
Gambar 2. 9 AV Sensing [35].....	15
Gambar 2. 10 4-Wheel Swerve Drive Concept [36]	16
Gambar 2. 11 4-Wheel Swerve Drive Kinematics [37]	17
Gambar 2. 12 Inverse Kinematics [1]	17
Gambar 2. 13 Diagram Blok Sistem Kontrol PID	19
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian.....	22
Gambar 3. 2 Desain Prototipe AEV	24
Gambar 3. 3 Desain Improved Swerve Drive pada Prototipe AEV	24
Gambar 3. 4 Desain Autonomous Electric Vehicle	26
Gambar 3. 5 Lenovo Ideapad Gaming 3	27
Gambar 3. 6 Arduino Mega 2560.....	28
Gambar 3. 7 STM32F4 Blackpill.....	28
Gambar 3. 8 Sensor MPU6050	29
Gambar 3. 9 Controller VOTOL EM-100.....	30
Gambar 3. 10 BLDC	31
Gambar 3. 11 Driver Motor BTS7960	31
Gambar 3. 12 GPS Ublox NeoM8N	32
Gambar 3. 13 Webcam Logitech C925	33
Gambar 3. 14 Sensor Ultrasonik	33
Gambar 3. 15 Stepper Motor Driver TB6600	34

Gambar 3. 16 Gambar 3.16 Berjalan Pada Jalan Lurus	35
Gambar 3. 17 Berjalan Menghindari Obstacle.....	35
Gambar 3. 18 Gambar 3.18 Persimpangan dan Belokan	36
Gambar 3. 19 Parkir Secara Pararel	36
Gambar 4. 1 Desain Kerangka Mobil AEV	39
Gambar 4. 2 Roda Improve Swerve Drive.....	39
Gambar 4. 3 Simulasi Beban Rangka Mobil AEV.....	40
Gambar 4. 4 Simulasi Beban Roda Mobil AEV	41
Gambar 4. 5 Dimensi Prototipe AEV.....	42
Gambar 4. 6 Koneksi Wiring pada Prototipe AEV	42
Gambar 4. 7 Diagram Blok Closed-Loop Kontrol PID	44
Gambar 4. 8 Diagram Blok Kontrol PID MATLAB Simulink	44
Gambar 4. 9 Trial and Error $K_p=1$	45
Gambar 4. 10 Trial and Error $K_p=0,5$	46
Gambar 4. 11 Trial and Error $K_p=0,5$ $K_i=1$	47
Gambar 4. 12 Trial and Error $K_p=0,5$ $K_i=0,1$	47
Gambar 4. 13 Trial and Error $K_p=0,5$ $K_i=0,1$ $K_d=1$	48
Gambar 4. 14 Trial and Error $K_p=0,5$ $K_i=0,1$ $K_d=0,5$	49
Gambar 4. 15 PID Auto Tuner MATLAB.....	50
Gambar 4. 16 Menentukan K_u dan P_u Metode Ziegler-Nichols	52
Gambar 4. 17 Perbandingan simulasi dengan dan tanpa pengendali PID.....	54
Gambar 4. 18 Perbandingan simulasi PID dengan FLC Tipe-1 & FLC Tipe-2...	55
Gambar 4. 19 Pengujian Jalan Lurus	57
Gambar 4. 20 Pengujian Jalan Lurus 1	58
Gambar 4. 21 Pengujian Jalan Lurus 2	59
Gambar 4. 22 Pengujian Jalan Lurus 3	60
Gambar 4. 23 Pengujian Jalan Lurus 4	61
Gambar 4.24 Pengujian Jalan Lurus 5	73
Gambar 4.25 Pengujian Berbelok	75

Gambar 4.26 Pengujian Berbelok 1	75
Gambar 4.28 Pengujian Berbelok 3	77
Gambar 4.27 Pengujian Berbelok 2	78
Gambar 4.28 Pengujian Berbelok 3	79
Gambar 4.29 Pengujian Berbelok 4	80
Gambar 4.30 Pengujian Parkir Paralel	80
Gambar 4.31 Pengujian Parkir Paralel 1	82
Gambar 4.32 Pengujian Parkir Paralel 2	82
Gambar 4.33 Pengujian Parkir Paralel 3	83
Gambar 4.34 Pengujian Menghindari <i>Obstacle</i>	84
Gambar 4.35 Pengujian Menghindari <i>Obstacle 1</i>	85
Gambar 4.36 Pengujian Menghindari <i>Obstacle 2</i>	86
Gambar 4.37 Pengujian Menghindari <i>Obstacle 3</i>	87
Gambar 4.38 Pengujian Menghindari <i>Obstacle 4</i>	88
Gambar 4.39 Pengujian Menghindari <i>Obstacle 5</i>	90

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Hasil Kedua Sistem Kontrol [20]	11
Tabel 2. 2 Perbandingan kesalahan dari metode optimasi yang dipilih. [40]	14
Tabel 4. 1 Parameter PID Auto Tuner MATLAB.....	60
Tabel 4. 2 Metode Ziegler-Nichol	61
Tabel 4. 3 Parameter Hasil Perbandingan simulasi PID dengan FLC Tipe-1 & FLC.	66
Tabel 4. 4 Pengujian Jalan Lurus 1	68
Tabel 4. 5 Pengujian Jalan Lurus 2	69
Tabel 4. 6 Pengujian Jalan Lurus 3	70
Tabel 4.7 Pengujian Jalan Lurus 4	71
Tabel 4.8 Pengujian Jalan Lurus 5	73
Tabel 4.9 Pengujian Berbelok 1	74
Tabel 4.10 Pengujian Berbelok 2	76
Tabel 4.11 Pengujian Berbelok 3	77
Tabel 4.12 Pengujian Berbelok 4	78
Tabel 4.13 Pengujian Parkir Paralel 1.....	80
Tabel 4.14 Pengujian Parkir Paralel 2.....	81
Tabel 4.15 Pengujian Parkir Paralel 3.....	82
Tabel 4.16 Pengujian Menghindari <i>Obstacle 1</i>	84
Tabel 4.17 Pengujian Menghindari <i>Obstacle 2</i>	85
Tabel 4.18 Pengujian Menghindari <i>Obstacle 3</i>	86
Tabel 4.19 Pengujian Menghindari <i>Obstacle 4</i>	97
Tabel 4.20 Pengujian Menghindari <i>Obstacle 5</i>	89

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi kendaraan otonom *Autonomous Vehicle* (AV) telah menjadi fokus penelitian strategis di era revolusi industri 4.0. Salah satu aspek kritis dalam pengembangan AV adalah perancangan sistem kendali kemudi yang mampu beroperasi secara optimal pada berbagai kondisi lingkungan dinamis. Dalam konteks ini, sistem *swerve drive* menawarkan solusi inovatif dengan menyediakan mekanisme penggerak multi-arah yang sangat fleksibel, terutama untuk aplikasi robotika mobile berbasis roda. Sistem ini memungkinkan manuver presisi melalui kontrol independen pada masing-masing roda, menjadikannya platform ideal untuk mengimplementasikan berbagai algoritma kendali canggih [1]. Selain itu, sistem pengendalian berbasis PID (*Proportional-Integral-Derivative*) telah terbukti efektif dalam meningkatkan stabilitas dan akurasi sudut kemudi kendaraan otonom [2]. Integrasi kedua metode ini memungkinkan peningkatan performa pengendalian kendaraan dalam berbagai situasi jalan dan medan [3].

Penggunaan algoritma PID dalam sistem kemudi kendaraan otonom telah menjadi fokus penelitian yang luas, terutama dalam mengoptimalkan respons sistem terhadap perubahan kondisi jalan. Salah satu studi menunjukkan bahwa PID *controller* dapat digunakan untuk mengontrol sudut kemudi dengan tingkat akurasi tinggi, yang berdampak langsung pada peningkatan kestabilan kendaraan [4]. Selain itu, pengembangan metode *swerve drive* berbasis komunikasi SPI telah memperlihatkan efisiensi dalam proses transmisi data, yang mendukung kinerja sistem pengendalian kendaraan [5]. Algoritma PID juga sering digunakan sebagai pendekatan alternatif dalam meningkatkan kontrol kendaraan dengan respons yang lebih adaptif terhadap perubahan lingkungan [6].

Penggunaan sistem modular yang saling terhubung dalam pengendalian kendaraan otonom membuat desain dan pengaturan kontrol lebih fleksibel. Dengan sistem modular untuk penggerak dan kemudi yang bekerja secara independen,

kendaraan bisa bergerak lebih presisi dan efisien, terutama saat bermanuver [7]. Dalam penelitian sebelumnya, implementasi *PID-based steering control* telah digunakan pada kendaraan skala kecil untuk menguji efektivitas metode ini dalam lingkungan simulasi dan eksperimen [8].

Pengendalian kendaraan otonom dengan sistem PID telah dikembangkan menggunakan perhitungan numerik untuk meningkatkan kinerjanya [10]. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa *intelligent PID controllers* dapat mengoptimalkan pengendalian kendaraan melalui adaptasi terhadap berbagai skenario berkendara [11]. Pengendalian kendaraan otonom berbasis nonlinear PID berperan penting. Algoritma ini membantu kendaraan menemukan jalur terbaik dengan mempertimbangkan efisiensi dan kestabilan, sehingga meningkatkan performa sistem dalam navigasi dan penghindaran rintangan [13].

Algoritma PID (Proportional-Integral-Derivative) menawarkan beberapa keunggulan utama dalam pengendalian sistem, antara lain kemampuannya menyederhanakan desain kontrol dengan struktur yang mudah diimplementasikan, respons yang cepat terhadap error melalui aksi proporsional (P), penghilangan error steady-state berkat aksi integral (I), serta peningkatan stabilitas sistem dengan meredam osilasi melalui aksi derivatif (D). Selain itu, algoritma ini fleksibel dan dapat diadaptasi untuk berbagai aplikasi, mulai dari sistem sederhana hingga kompleks seperti kendaraan otonom, dengan tuning parameter yang relatif mudah dilakukan baik secara manual (trial and error) maupun otomatis menggunakan tools seperti MATLAB PID Tuner. Kombinasi ketiga aksi kontrol ini menjadikan PID sebagai salah satu metode yang sesuai sebagai kendali utama dari sistem dinamis seperti kendaraan otonom [14]. Penggunaan sistem kendali dinamis juga menjadi fokus utama dalam meningkatkan performa kendaraan, baik dalam aspek stabilitas maupun respons waktu nyata terhadap kondisi jalan yang berubah-ubah [15].

Dengan mempertimbangkan berbagai studi dan perkembangan terbaru, penelitian ini bertujuan untuk merancang pengendali *steering pada autonomous vehicle* menggunakan metode *improve swerve drive* berbasis algoritma PID. Pendekatan ini diharapkan meningkatkan efisiensi dan stabilitas sistem secara

keseluruhan. Implementasi modular yang membagi suatu sistem menjadi beberapa bagian (modul) yang dapat berfungsi secara independen tetapi tetap bekerja sama pada papan kontroler *swerve drive* juga akan diintegrasikan dalam desain sistem untuk memastikan komunikasi dan kinerja yang optimal dalam berbagai kondisi operasional [16].

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan analisis sistem kontrol kemudi kendaraan otonom saat ini, terdapat beberapa permasalahan mendasar yang perlu diatasi: (1) Ketidakfleksibelan manuver kendaraan dalam kondisi ruang sempit seperti saat parkir akibat keterbatasan sistem kontrol yang ada, (2) Tingginya tingkat kompleksitas perakitan dan pengoperasian sistem improved swerve drive meskipun memiliki kemampuan omnidirectional yang unggul, (3) Belum optimalnya presisi sudut kemudi dan akurasi kontrol yang mempengaruhi stabilitas berkendara. Untuk mengatasi masalah-masalah tersebut, penelitian ini akan mengkaji implementasi algoritma PID dalam sistem kontrol improved swerve drive melalui prototipe skala kecil, dengan fokus pada: (a) Perancangan sistem kendali kemudi yang optimal untuk meningkatkan kemampuan manuver dan parkir, (b) Peningkatan stabilitas dan akurasi sudut kemudi guna menjamin keselamatan dan kenyamanan berkendara, serta (c) Validasi kinerja sistem sebelum diaplikasikan pada Autonomous Electric Vehicle (AEV) berukuran penuh. Penelitian ini bertujuan untuk menyediakan solusi komprehensif yang memadukan keunggulan sistem improved swerve drive dengan presisi kontrol PID dalam rangka mengoptimalkan performa kendaraan otonom.

1.3 Tujuan

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mengembangkan sistem pengendalian kemudi pada *Autonomous Electric Vehicle* yang menggunakan metode *improve swerve drive* berbasis algoritma PID dalam mengendalikan pengendalian mobil dengan menggunakan prototipe berskala lebih kecil sebagai percobaan pengendalian sementara sebelum implementasinya pada mobil berskala besar. Penelitian ini bertujuan untuk mengendalikan perbaikan sudut dengan

mengurangi *error steady state* saat berbelok serta mengatur kecepatan kendaraan dalam kemampuannya berkendara dan parkir secara otomatis yang dimana mobil dapat menggeser dirinya ke samping dengan mengontrol sudut dari keempat roda dengan implementasi dari metode *improve swerve drive*.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini dilakukan untuk memastikan penelitian tetap terarah dan sesuai dengan ruang lingkup yang telah ditentukan. Adapun pembatasan masalah yang diterapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya berfokus pada pengembangan dan implementasi sistem pengendalian kemudi *autonomous vehicle* menggunakan metode *improve swerve drive* berbasis algoritma PID dalam meminimalisir *steady state error* dari gerak mobil.
2. Simulasi dan pengujian dilakukan dalam lingkungan yang terkontrol untuk menganalisis performa sistem sebelum diterapkan dalam kondisi dunia nyata.
3. Pengujian studi ini hanya dilakukan pada jalan yang cenderung rata dan tidak terlalu ekstrem dengan objek penghalang.
4. Pengujian dilakukan menggunakan prototipe dengan skala ukuran yang lebih kecil untuk memvalidasi algoritma sebelum implementasinya pada kendaraan berukuran penuh.
5. Pada pengujian prototipe, desain pergerakan dari implementasi metode *improve swerve drive* menjadi fokus utama dengan tidak menghiraukan beban dari prototipe.
6. Pada beberapa pengujian, PID mungkin hanya akan melakukan pengendalian pada salah satu output saja. Misalnya, pada pengujian jalan lurus yang hanya mengatur sudut error dari Motor Stepper saja karena robot hanya akan berjalan pada kecepatan konstan.

1.5 Keaslian Penelitian

Penelitian ini mengembangkan metode *improve swerve drive* berbasis algoritma PID sebagai peningkatan dari penelitian sebelumnya yang berfokus pada sistem kendali kendaraan otonom. Dalam penelitian sebelumnya oleh Muhammad Firly Rafliansyah dkk, sistem kendali perilaku pada *steering angle* dan kecepatan kendaraan otonom berbasis telah dikembangkan, namun belum secara spesifik mengintegrasikan metode *improve swerve drive*. Dalam uji simulasi, di mana hasilnya menunjukkan bahwa memiliki *output* yang lebih stabil dan mampu merespons variasi kondisi jalan dengan lebih baik. Selain itu, pengujian secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata error sudut kemudi sebesar $12,1^{\circ}$ dan error kecepatan sebesar 0,185 km/jam. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan pendekatan baru dengan menggabungkan *swerve drive* yang telah diperbaiki dengan algoritma PID untuk meningkatkan presisi dan kestabilan pengendalian kemudi kendaraan [9].

Penelitian yang dilakukan oleh Wang Jiang Feng dkk membahas pengembangan sistem pengendalian kecepatan pada kendaraan otonom menggunakan pengontrol PID dengan penyetelan otomatis. Pendekatan ini mengintegrasikan kontrol PID untuk meningkatkan stabilitas serta akurasi sistem. Hasil simulasi eksperimen menunjukkan bahwa metode yang diterapkan mampu mengurangi overshoot sistem dan meningkatkan ketahanan terhadap gangguan. Meskipun terdapat sedikit perbedaan antara hasil simulasi dan implementasi pada sistem nyata, pengontrol yang diusulkan tetap mampu secara efektif mengikuti kecepatan yang diinginkan [19].

Penelitian yang dilakukan oleh Caroline dkk, membahas sistem kendali kecepatan pada kendaraan listrik otonom dengan memanfaatkan teknologi RFID sebagai *Input setpoint*. Dalam penelitian tersebut, digunakan sistem kendali PID untuk menjaga kecepatan kendaraan, dengan parameter gain yang ditentukan melalui metode trial and error. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem kontrol kecepatan telah berfungsi dengan cukup baik. Namun, dari segi lintasan,

penggunaan RFID masih tergolong kurang fleksibel untuk pengendalian kecepatan pada kendaraan otonom [17].

Penelitian yang dilakukan oleh Bustanul Arifin dkk. Membahas tentang metode kontrol kemudi untuk kendaraan otonom menggunakan kontrol logika kontrol PI. Penelitian membahas kontrol *primary* dan *secondary*. Hasil dari penelitian tersebut mengatakan kontrol PI. 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 [18].

Penelitian yang dilakukan Chen, S., & Chen, H yang telah diterapkan dalam kontrol kendaraan otonom adalah penggunaan *Model Predictive Control* (MPC). Penelitian ini mengusulkan metode *improve swerve drive* berbasis PID sebagai alternatif yang dapat memberikan keunggulan dalam hal kestabilan dan efisiensi pengendalian kendaraan [14].

Penelitian yang dilakukan oleh Abed dkk dari Nile University, Mesir, membahas pengendalian kemudi kendaraan menggunakan dua metode, yaitu kontrol PID dengan penyetelan manual serta kontrol berbasis *deep learning* menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN). Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun kedua metode memberikan performa yang cukup baik, sistem kontrol kemudi berbasis PID lebih stabil dan mengalami lebih sedikit osilasi dibandingkan dengan pendekatan *deep learning*. Namun, penelitian ini masih bergantung pada data yang dikumpulkan melalui simulasi, yang mungkin tidak sepenuhnya mencerminkan kondisi nyata [20].

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Y. Suprpto, S. Dwijayanti, and D. Amri, "Development of a Position Control System for Wheeled Humanoid Robot Movement Using the Swerve Drive Method Based on Fuzzy Logic Type-2," *Elektron. ir Elektrotehnika*, vol. 30, no. 1, pp. 4–13, 2024, doi: 10.5755/j02.eie.35912.
- [2] K. S. Ibrahim, M. A. Ibrahim, and M. H. Ibrahim, "PID controller for a bearing angle control in self-driving vehicles," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 5, no. 3, pp. 647-654, 2024, doi: [10.18196/jrc.v5i3.21612](https://doi.org/10.18196/jrc.v5i3.21612).
- [3] N. R. Prayogi, I. Siradjuddin, and D. Radianto, "Implementasi Modular Papan Kontroler Swerve Drive: Komunikasi SPI," *Metrotech (Journal of Mechanical and Electrical Technology)*, vol. 3, no. 3, pp. 116–124, Sep. 2024, doi: 10.70609/metrotech.v3i3.5028.
- [4] Z. K. Firmansyah, E. Puspita, and D. C. Happyanto, "Implementasi Sistem Pengendalian Sudut Kemudi Kendaraan Otonom Berbasis PID," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 45–52, 2023.
- [5] B. P. Amiruddin, R. E. A. Kadir, and A. Santoso, "Pengaturan Kemudi Kendaraan Otonom Four Wheel Steer dan Four Wheel Drive (4WS4WD) Menggunakan Model Predictive Control," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 10, no. 1, pp. E1–E6, Aug. 2021, doi: [10.12962/j23373539.v10i1.59574](https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i1.59574).
- [6] A. Santoso, "Pengaturan Kemudi Kendaraan Otonom Four Wheel Steer dan Four Wheel Drive (4WS4WD) Menggunakan Model Predictive Control," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 33–40, 2022.
- [7] Adinugraha, Brahmantya Bagus Irsa, Indrazno Siradjuddin, and Leonardo Kamajaya. "Desain dan Kontrol Modular Independent Drive Independent Steering Mobile Robot Aktuator." *Metrotech (Journal of Mechanical and Electrical Technology)* 2.3 (2023): 144-150, doi: <https://doi.org/10.33379/metrotech.v2i3.3349>.
- [8] Robila, Victor, et al. "Design and Implementation of PID-Based Steering Control for 1/10-Scale Autonomous Vehicle." *2021 IEEE 12th Annual*

Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON). IEEE, pp. 0758-0762, 2021.

- [9] Rafliansyah, Muhammad Firly. "Perancangan Sistem Kendali Perilaku (Behavior Control) Pada *Steering Angle* Dan Kecepatan *Autonomous Vehicle* Berbasis *Fuzzy Logic* Type-2." 2024
- [10] Batiha, Iqbal M., Osama Y. Ababneh, Abeer A. Al-Nana, Waseem G. Alshanti, Shameseddin Alshorm, and Shaher Momani. "A numerical implementation of fractional-order PID controllers for *autonomous vehicles*." *Axioms* 12, no. 3 (2023): 306.
- [11] Vartika, Vagisha, Swati Singh, Subhranil Das, Sudhansu Kumar Mishra, and Sitanshu Sekhar Sahu. "A review on intelligent PID controllers in *autonomous vehicle*." *Advances in Smart Grid Automation and Industry 4.0: Select Proceedings of ICETSGAI4. 0* (2021): 391-399.
- [12] Khan, I. A., Alghamdi, A. S., Juman, T. A., Alamgir, A., Awan, A. B., & Khidrani, A. (2019). Salp Swarm Optimization Algorithm-Based Fractional Order PID Controller for Dynamic Response and Stability Enhancement of an Automatic Voltage Regulator System. *Electronics*, 8(12), 1472. doi:10.3390/electronics8121472
- [13] Karami, M., Tavakolpour-Saleh, A. R., & Norouzi, A. (2020). Optimal Nonlinear PID Control of a Micro-Robot Equipped with Vibratory Actuator Using Ant Colony Algorithm: Simulation and Experiment. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 99(3-4), 773–796. doi:10.1007/s10846-020-01165-5
- [14] Chen, S., & Chen, H. (2020). MPC-based path tracking with PID speed control for *autonomous vehicles*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 892, 012034. doi:10.1088/1757-899x/892/1/012034
- [15] Azam, Shoaib, Farzeen Munir, and Moongu Jeon. "Dynamic Control System Design for *Autonomous Car*." In *VEHITS*, pp. 456-463. 2020.
- [16] Prayogi, Naufal Rizki, Indrazno Siradjuddin, and Donny Radianto. "Implementasi Modular Papan Kontroler *Swerve Drive*: Komunikasi

SPI." *Metrotech (Journal of Mechanical and Electrical Technology)* 3.3 (2024): 116-124.

- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] S. Cheng, L. Li, X. Chen, J. Wu, and H. Da Wang, "Model-PredictiveControl-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.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] F. Sana, N. L. Azad, and K. Raahemifar, “*Autonomous Vehicle* DecisionMaking and *Control* in Complex and Unconventional Scenarios—A Review,” Machines, vol. 11, no. 7, pp. 1–29, 2023, doi: 10.3390/machines11070676.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] 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.