

**METODE *FUZZY LOGIC* UNTUK SIMULATOR *ANTILOCK BRAKING*
SYSTEM (ABS) PADA *DUMP TRUCK***

(Skripsi)

Oleh :

WILDHAN WAHYUDI

NPM. 2115031001



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2025

ABSTRAK

METODE *FUZZY LOGIC* UNTUK SIMULATOR *ANTILOCK BRAKING SYSTEM* (ABS) PADA *DUMP TRUK*

Oleh

Wildhan Wahyudi

Keselamatan berkendara pada *dump truck* di industri konstruksi dan pertambangan menjadi prioritas utama. Sistem pengereman konvensional yang tidak memadai sering kali menyebabkan roda terkunci (*wheel lock-up*) dan hilangnya kendali saat pengereman mendadak. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan simulator *Antilock Braking System* (ABS) menggunakan metode *Fuzzy Logic* untuk meningkatkan keamanan serta efektivitas pengereman. Metodologi penelitian meliputi perancangan sistem *fuzzy* dengan masukan berupa *slip* roda, kecepatan kendaraan, dan jarak objek, yang menghasilkan keluaran tekanan rem. Sistem logika dikembangkan menggunakan *Python* dan diintegrasikan dengan simulator pada platform *Unity* melalui komunikasi TCP/IP untuk pertukaran data *real-time*.

Dalam penelitian ini pengujian dilakukan dalam berbagai skenario, termasuk perbandingan performa dengan dan tanpa ABS, variasi kecepatan awal (15-40 km/jam), dan variasi beban muatan (0 kg hingga 11.000 kg). Hasil penelitian menunjukkan sistem ABS berbasis *Fuzzy Logic* berhasil mencegah roda terkunci secara efektif di semua kondisi, menjaga stabilitas dan kendali truk. Terbukti, tanpa ABS roda terkunci total saat kendaraan masih melaju 24.038 km/jam, sedangkan dengan ABS kecepatan roda termodulasi hingga berhenti sepenuhnya. Analisis performa menunjukkan hubungan linier antara peningkatan kecepatan dan beban dengan waktu pengereman. Pada skenario spesifik, sistem ABS mampu mengurangi jarak henti menjadi 5.388 meter (dibanding 5.873 meter non-ABS) dan waktu berhenti menjadi 3.253 detik (dibanding 5.561 detik). Simulasi ini membuktikan implementasi *Fuzzy Logic* pada ABS tidak hanya meningkatkan keselamatan dengan mempertahankan kendali, tetapi juga terukur mampu mengurangi jarak dan waktu pengereman.

Kata Kunci: *Antilock Braking System* (ABS), *Dump Truck*, *Fuzzy Logic*, Keselamatan Berkendara, Simulator.

ABSTRACT

FUZZY LOGIC METHOD FOR AN ANTILOCK BRAKING SYSTEM (ABS) SIMULATOR ON A DUMP TRUCK

By

Wildhan Wahyudi

Driving safety for dump trucks in the construction and mining industries is a top priority. Inadequate conventional braking systems often lead to wheel lock-up and loss of control during sudden braking. This research aims to design and implement an Antilock Braking System (ABS) simulator using the Fuzzy Logic method to enhance safety and braking effectiveness. The research methodology includes designing a fuzzy system with inputs of wheel slip, vehicle speed, and object distance, which produces an output of brake pressure. The logic system was developed using Python and integrated with a simulator on the Unity platform via TCP/IP communication for real-time data exchange.

In this study, testing was conducted under various scenarios, including a performance comparison with and without ABS, variations in initial speed (15-40 km/h), and variations in payload (0 kg to 11,000 kg). The results show that the Fuzzy Logic-based ABS successfully prevented wheel lock-up effectively in all conditions, maintaining the truck's stability and control. It was proven that without ABS, the wheels locked completely while the vehicle was still moving at 24.038 km/h, whereas with ABS, the wheel speed was modulated until the vehicle came to a complete stop. Performance analysis revealed a linear relationship between increases in speed and load with braking time. In a specific scenario, the ABS was able to reduce the stopping distance to 5.388 meters (compared to 5.873 meters without ABS) and the stopping time to 3.253 seconds (compared to 5.561 seconds). This simulation demonstrates that the implementation of Fuzzy Logic in ABS not only improves safety by maintaining control but also measurably reduces stopping distance and time.

Keywords: Antilock Braking System (ABS), Dump Truck, Fuzzy Logic, Driving Safety, Simulator.

**METODE *FUZZY LOGIC* UNTUK SIMULATOR *ANTILOCK BRAKING*
SYSTEM (ABS) PADA *DUMP TRUK***

Oleh

Wildhan Wahyudi

2115031001

(Skripsi)

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik
Pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung**



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2025

Judul Skripsi : **METODE FUZZY LOGIC UNTUK
SIMULATOR ANTILOCK BRAKING SYSTEM
(ABS) PADA DUMP TRUK**

Nama Mahasiswa : WILDHAN WAHYUDI

No. Pokok Mahasiswa : 2115031001

Program Studi : Teknik Elektro

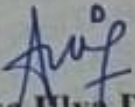
Fakultas : Teknik

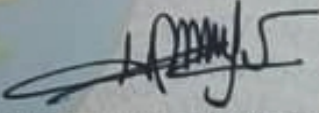
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing Utama

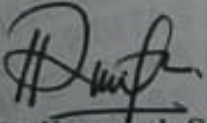
Pembimbing Pendamping


Ir. Anisa Ulya Darajat, S.T., M.T.
NIP. 199106102019032024

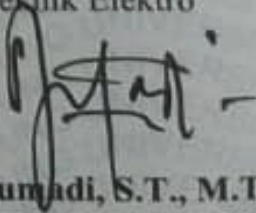

Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 197310041998032001

2. Mengetahui

Ketua Jurusan
Teknik Elektro


Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 197103141999032001

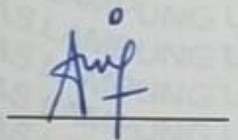
Ketua Program Studi
Teknik Elektro


Sumadi, S.T., M.T.
NIP. 197311042000031001

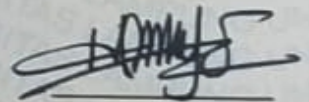
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Ir. Anisa Ulya Darajat, S.T., M.T.

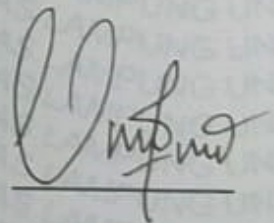


Sekretaris : Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T., Ph.D

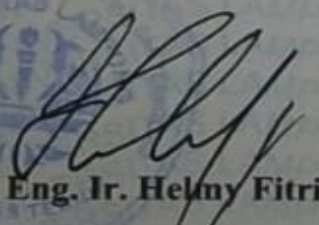


Penguji Bukan

Pembimbing : Umi Murdika, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T, M.Sc. 1

NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 30 Juli 2025

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar Pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Juli 2025



Wildhan Wahyudi

NPM. 2115031001

RIWAYAT HIDUP



Wildhan Wahyudi lahir di Seputih Banyak pada tanggal 12 September 2002. Penulis lahir dari pasangan Ayah Indra Wahyudi dan Ibu Eny Dyah Puspa sebagai anak kedua dari dua bersaudara dengan kakak Andreyan Wahyudi. Penulis mempunyai riwayat pendidikan di TK Srilungguh, SD Negeri 3 Siraman, SMP Negeri 4 Metro, dan SMA Negeri 4 Metro hingga lulus pada tahun

2021. Penulis menjadi mahasiswa baru di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2021 diterima melalui jalur SNMPTN.

Selama perkuliahan penulis aktif dalam kegiatan akademik dan non akademik. Penulis aktif dalam organisasi intra kampus, yaitu HIMATRO UNILA sebagai anggota departemen sosial, serta penulis juga aktif menjadi asisten Laboratorium Teknik Elektronika dari Tahun 2023-2025. Penulis telah melaksanakan kerja praktik di PT.PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Way Halim pada tahun 2024 dengan judul laporan “Analisa Hubungan Antara Susut Energi (*Losses*) Dan Jarak Rumah Ke Gardu Wh1130 Penyulang Bmw (Ntr17) Menggunakan Plot *Matlab*”.

PERSEMBAHAN

Dengan Ridho Allah SWT

Teriring shalawat kepada Nabi Muhammad SAW

Karya Tulis ini ku persembahkan untuk:

Ayah dan Ibu tercinta

Indra Wahyudi dan Eny Dyah P

Serta Kakakku tersayang

Andreyan Wahyudi

Untuk setiap pengorbanan, nasihat, dan doa yang tak pernah surut, terima kasih dari lubuk hatiku. Kehadiran kalian adalah anugerah terindah dalam hidupku, dan aku akan selamanya bersyukur dipeluk hangatnya keluarga ini.

MOTTO

"Sesungguhnya Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya."

(QS. Al-Baqarah: 286)

"The only thing that is impossible is impossibility"

(Phineas)

"Don't ever stop. Always keep going, no matter what happens and is taken from you. Even when life is so unfair, don't give up."

(Ezio Auditore da Firenze)

"Tujuan tanpa tindakan hanyalah impian"

SANWACANA

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa berkat Rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Proposal Usul yang berjudul “Metode *Fuzzy Logic* Untuk Simulator *Anti-lock Braking System* (ABS) pada *Dump Truck*”. Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan atas bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M. Selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Herlinawati, S.T.,M.T. Sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung yang telah memberikan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan studi.
4. Bapak Sumadi, S.T., M.T. Sebagai Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung yang telah memberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan studi.
5. Ibu Ir. Anisa Ulya Darajat, S.T., M.T. sebagai Pembimbing Utama, terima kasih atas ilmu, keikhlasan, kesabaran, dan motivasinya selama penyusunan skripsi ini. Terima kasih ibu, atas dukungan dan bantuannya yang telah diberikan pada penulis yang selalu diberikan selama perkuliahan dan proses penyusunan skripsi ini.

6. Ibu Dr. Sri Purwiyanti, S.T.,M.T. sebagai Dosen Pembimbing Pendamping tugas akhir, yang telah membantu, membimbing, dan memberi dukungan kepada penulis. Terima kasih ibu, atas arahan dan nasihat yang selalu diberikan selama perkuliahan dan proses penyusunan skripsi ini.
7. Ibu Umi Murdika, S.T., M.T. sebagai Kepala Laboratorium Teknik Kendali dan sebagai Dosen Penguji bagi penulis yang selalu membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini. Terima kasih ibu, atas arahan dan saran yang selalu diberikan selama proses penyusunan skripsi ini.
8. Bapak Dr. Eng. FX. Arinto Setyawan, S.T.,M.T. selaku dosen Pembimbing Akademik, yang telah banyak membimbing dan membantu penulis selama menjalani kuliah.
9. Bapak Syaiful Alam, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Elektronika. Penulis mengucapkan terima kasih atas kesempatan dan fasilitas yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini di laboratorium tersebut.
10. Kak Yudi Eka Putra, S.T., M.T. selaku PLP Laboratorium Elektronika. Terima kasih atas ilmu dan diberikannya tempat untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Seluruh Dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, berkat ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama penulis menjalani masa studi di perkuliahan.
12. Orang tua penulis, Ayah dan Ibu tercinta dan juga seluruh keluarga tersayang yang telah memberikan dukungan kepada penulis baik itu berupa materi dan juga doanya yang tidak pernah putus selama penulis mengerjakan tugas akhir ini.
13. Kakak Andre dan Mbak Asita yang selalu membantu dan memberikan dukungan penulis setiap hari dalam menjalankan perkuliahan dari awal hingga akhir.

14. Kepada pemilik npm 2115031109, yang selalu mendukung dan selalu menjadi tempat dalam berbagi suka dan duka, mendengarkan dengan sabar, dan juga selalu menemani penulis.
15. M. Reza Pahlevi dan Hud Rofiq, selaku rekan seperjuangan dalam mengerjakan skripsi yang menemani dan juga membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
16. Keluarga El Pance, yang telah memberikan banyak motivasi, saran, dan hiburan dikala lelah maupun kalah dalam PES.
17. Keluarga rekan-rekan di Laboratorium Teknik Elektronika yang selalu memberikan dukungan, pertolongan, canda tawa, dalam setiap proses selama menjadi asisten laboratorium teknik elektronika.
18. Keluarga besar Angkatan 2021, yang telah memberikan banyak motivasi, nilai-nilai sosial, dan bantuan dalam berbagai hal.
19. Keluarga besar HIMATRO UNILA, yang telah menjadi tempat penulis belajar dan berkembang dalam berorganisasi.
20. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan dari segi penyusunan maupun pemilihan kata. Oleh karena itu penulis memohon saran dan kritik membangun sebagai evaluasi laporan tugas akhir ini. Terima kasih.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terkait	5
2.2 <i>Antilock Braking System</i>	9
2.3 <i>Slip</i> Kendaraan	10
2.4 <i>Fuzzy Logic</i>	12
2.4.1 Himpunan <i>Fuzzy</i>	12
2.4.2 Fungsi Keanggotaan.....	12
2.4.3 Tahapan Sistem <i>Fuzzy Logic</i>	17
2.5 <i>Unity</i>	17
2.6 <i>C-Sharp</i>	18
2.7 VS Code	18
III. METODELOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	19
3.2 Alat dan Bahan.....	19

3.3	Metode Penelitian.....	19
3.3.1	Studi Literatur	20
3.3.2	Studi Bimbingan	21
3.3.3	Perancangan Sistem	21
3.4	Perancangan <i>Fuzzy Logic</i>	24
3.4.1	<i>Fuzzyfikasi</i>	25
3.4.1	Aplikasi Fungsi Implikasi (Inferensi)	31
3.4.2	<i>Defuzzyfikasi</i>	36
3.5	Integrasi <i>Fuzzy</i> dan Simulator	36
3.6	Pemodelan Truk dan Lingkungan Uji	37
3.7	Pengujian Sistem.....	39
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1	Implementasi Perancangan dan Prinsip Kerja.....	42
4.1.1	<i>Simulink</i> dan Grafik Respons Sistem	42
4.1.2	Pemodelan dan Kontrol Truk	43
4.1.3	Lingkungan Uji Coba.....	44
4.1.4	<i>User Interface</i>	44
4.2	Data Hasil Percobaan	45
4.2.1	Pengujian Sistem <i>Fuzzy Logic</i> pada Simulator	45
4.2.1.1	Pengujian Sistem <i>Fuzzy</i> pada <i>Matlab</i>	45
4.2.1.2	Pengujian Sistem <i>Fuzzy</i> Pada Simulator	47
4.2.1.3	Identifikasi Perhitungan Pada Sistem <i>Fuzzy</i>	52
4.2.2	Pengujian Pengereman dengan Menggunakan ABS dan Tidak Menggunakan ABS	65
4.2.3	Pengujian Pengereman pada Kecepatan Kendaraan yang Variatif	68
4.2.2.1	Pengujian pada Kecepatan 15 km/jam	68
4.2.2.2	Pengujian pada Kecepatan 20 km/jam	70
4.2.2.3	Pengujian pada Kecepatan 25 km/jam	71
4.2.2.4	Pengujian pada Kecepatan 30 km/jam	73

4.2.2.5	Pengujian pada Kecepatan 35 km/jam	74
4.2.2.6	Pengujian pada Kecepatan 40 km/jam	76
4.2.2.7	Pengujian pada Kecepatan 50 km/jam	78
4.2.2.8	Pengujian pada Kecepatan 60 km/jam	79
4.2.2.9	Perbandingan Waktu Berhenti pada Tiap Kecepatan.....	81
4.2.4	Pengujian Performa Sistem dalam Kondisi Beban Variatif	82
4.2.3.1	Pengujian Pengereman saat Tidak Ada Beban.....	83
4.2.3.2	Pengujian Pengereman saat Beban Ringan (1000 kg)	84
4.2.3.3	Pengujian Pengereman saat Beban Sedang (5000 kg)	86
4.2.3.4	Pengujian Pengereman saat Beban Berat (11000 kg)	87
4.2.3.5	Perbandingan Waktu Berhenti pada Tiap Beban	89
4.2.5	Pengujian <i>Stopping Distance</i> saat Menggunakan ABS dan juga saat Tidak Menggunakan ABS	90
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	93
5. 1.	Kesimpulan	93
5. 2.	Saran.....	94
	DAFTAR PUSTAKA	95
	LAMPIRAN.....	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem Pengereman Hidrolik.....	10
Gambar 2. 2 Linear Turun.....	13
Gambar 2. 3 Linear Naik.....	14
Gambar 2. 4 Fungsi Keanggotaan Segitiga.....	15
Gambar 2. 5 Fungsi Keanggotaan Trapesium.....	15
Gambar 3. 1 Diagram Alir Prosedur Penelitian	20
Gambar 3. 2 Blok Diagram Keseluruhan Sistem	22
Gambar 3. 3 Diagram <i>Kontrol Fuzzy</i>	23
Gambar 3. 4 Blok Diagram Sistem <i>Fuzzy</i>	23
Gambar 3. 5 Gambar <i>Membership Function</i> dari <i>Input Slip</i>	26
Gambar 3. 6 Gambar <i>Membership Function</i> dari <i>Input Kecepatan</i>	27
Gambar 3. 7 Gambar <i>Membership Function</i> dari <i>Input Jarak</i>	28
Gambar 3. 8 Gambar <i>Membership Function</i> dari <i>Output Logika Fuzzy Berupa Tekanan Rem</i>	30
Gambar 3. 9 Gambar (a) Truk Tampak Keseluruhan, (b) Truk Tampak Samping, (c) Truk Tampak Depan.....	37
Gambar 3. 10 (a) Kondisi Lingkungan Uji, (b) Pemodelan Lingkungan Uji	38
Gambar 4. 1 <i>Simulink</i>	43
Gambar 4. 2 Respons <i>Plant</i> Terhadap Kontrol <i>Fuzzy Logic</i>	43
Gambar 4. 3 Model Truk di Simulator.....	44
Gambar 4. 4 <i>User Interface</i> pada Simulator	44
Gambar 4. 5 Pengujian Awal Sistem Menggunakan Matlab	45
Gambar 4. 6 Pengujian Sistem Pada Simulator	48
Gambar 4. 7 Mencari Nilai t_1 dan t_2	60
Gambar 4. 8 Mencari Nilai <i>Centeroid</i>	61

Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Pengereman Menggunakan ABS dan Tanpa Menggunakan ABS	67
Gambar 4. 10 Grafik Kecepatan Kendaraan saat Kecepatan 15 km/jam	69
Gambar 4. 11 Grafik Kecepatan Kendaraan saat Kecepatan 20 km/jam	71
Gambar 4. 12 Grafik Kecepatan Kendaraan saat Kecepatan 25 km/jam	72
Gambar 4. 13 Grafik Kecepatan Kendaraan saat Kecepatan 30 km/jam	74
Gambar 4. 14 Grafik Kecepatan Kendaraan saat Kecepatan 35 km/jam	76
Gambar 4. 15 Grafik Kecepatan Kendaraan saat Kecepatan 40 km/jam	77
Gambar 4. 16 Grafik Kecepatan Kendaraan saat Kecepatan 50 km/jam	79
Gambar 4. 17 Grafik Kecepatan Kendaraan saat Kecepatan 60km/jam	80
Gambar 4. 18 Grafik Hubungan Kecepatan dan Waktu Pengereman.....	82
Gambar 4. 19 Grafik Kecepatan Kendaraan saat Tanpa Beban	84
Gambar 4. 20 Grafik Kecepatan Kendaraan saat Beban Ringan	85
Gambar 4. 21 Grafik Kecepatan Kendaraan saat Beban Sedang	87
Gambar 4. 22 Grafik Kecepatan Kendaraan saat Beban Berat	88
Gambar 4. 23 Grafik Hubungan Beban dan Waktu Pengereman	89
Gambar 4. 24 Grafik Perbandingan Jarak Berhenti ABS dan Non-ABS.....	91

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait	5
Tabel 3. 1 Alat dan Bahan.....	19
Tabel 3. 2 <i>Membership Function</i>	24
Tabel 3. 3 Aturan <i>Fuzzy Logic</i>	31
Tabel 3. 4 Parameter <i>Dump Truck</i>	37
Tabel 3. 5 Pengujian Sistem.....	39
Tabel 4. 1 Pengujian Pada <i>Matlab</i>	46
Tabel 4. 2 Pengujian Pada Simulator	48
Tabel 4. 3 Perbandingan Pengujian <i>Matlab</i> dan Simulator	50
Tabel 4. 4 <i>Rule Base</i>	54
Tabel 4. 5 Data Hasil Pengereman Saat Menggunakan ABS	65
Tabel 4. 6 Data Hasil Pengereman Saat Tidak Menggunakan ABS	66
Tabel 4. 7 Data Hasil pada Kecepatan 15 km/jam	68
Tabel 4. 8 Data Hasil pada Kecepatan 20km/jam	70
Tabel 4. 9 Data Hasil pada Kecepatan 25km/jam	71
Tabel 4. 10 Data Hasil pada Kecepatan 30km/jam	73
Tabel 4. 11 Data Hasil pada Kecepatan 35km/jam	75
Tabel 4. 12 Data Hasil pada Kecepatan 40km/jam	76
Tabel 4. 13 Data Hasil pada Kecepatan 50 km/jam	78
Tabel 4. 14 Data Hasil pada Kecepatan 60 km/jam	79
Tabel 4. 15 Perbandingan Waktu Berhenti pada Tiap Kecepatan	81
Tabel 4. 16 Data Hasil saat Tidak Ada Beban	83
Tabel 4. 17 Data Hasil saat Beban Ringan.....	84
Tabel 4. 18 Data Hasil saat Beban Sedang	86
Tabel 4. 19 Data Hasil saat Beban Berat.....	87
Tabel 4. 20 Perbandingan Waktu Berhenti pada Tiap Beban	89

Tabel 4. 21 Data Hasil saat Menggunakan ABS.....	90
Tabel 4. 22 Data Hasil saat Tanpa Menggunakan ABS.....	91

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era modern saat ini, keselamatan dalam berkendara menjadi prioritas utama. Sistem pengereman merupakan komponen vital dalam kendaraan untuk memastikan keselamatan pengemudi. Salah satu teknologi pengereman modern adalah *Antilock Braking System* (ABS) yang dirancang untuk mencegah roda terkunci selama pengereman mendadak, sehingga kendaraan tetap stabil dan dapat dikendalikan [1]. Dengan meningkatnya jumlah kendaraan, kebutuhan akan teknologi pengereman yang lebih canggih seperti ABS menjadi semakin mendesak dan dibutuhkan.

Pada sistem pengereman konvensional, roda kendaraan dapat terkunci selama pengereman keras, terutama pada permukaan jalan yang licin. Kondisi ini menyebabkan kendaraan kehilangan traksi, mengurangi kemampuan pengemudi untuk mengarahkan kendaraan, dan meningkatkan risiko kecelakaan [2]. ABS hadir sebagai solusi dengan mengatur tekanan rem secara otomatis untuk mencegah roda terkunci, sehingga traksi tetap terjaga.

Namun, efektivitas ABS bergantung pada berbagai faktor, seperti kondisi jalan, kecepatan kendaraan, dan respons sistem dalam menghadapi perubahan parameter secara *real-time*. Dalam hal ini, pendekatan kontrol berbasis *Fuzzy Logic* menjadi salah satu solusi yang menjanjikan. Metode *Fuzzy Logic* memungkinkan sistem untuk menangani ketidakpastian dan variasi kondisi lingkungan secara lebih adaptif dibandingkan metode konvensional [3]. Penggunaan *Fuzzy Logic* dalam sistem ABS memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan sistem kontrol lain seperti penggunaan PID (*Proportional-Integral-Derivative*), terutama dalam hal kompleksitas kontrol dan kemampuan adaptasi terhadap kondisi yang berubah-ubah [4].

Metode *Fuzzy Logic* menawarkan pendekatan yang inovatif untuk mengatasi masalah ini. *Fuzzy Logic* dikenal sebagai salah satu metode pengendalian cerdas yang mampu meniru cara manusia membuat keputusan. *Fuzzy Logic* dapat menangani ketidakpastian dan variabilitas dalam data input, seperti kecepatan kendaraan, jarak ke objek di depan, dan kondisi jalan [4]. Dengan menggunakan *fuzzy logic*, sistem ABS dapat lebih responsif dan adaptif terhadap perubahan kondisi yang dinamis, sehingga meningkatkan efektivitas pengereman.

Penerapan *Fuzzy Logic* pada simulasi ABS memberikan peluang untuk menganalisis dan mengoptimalkan performa pengereman dengan mempertimbangkan berbagai skenario. Hal ini juga dapat menjadi dasar pengembangan teknologi ABS yang lebih efisien dan responsif. Oleh karena itu, diperlukan perancangan dan simulasi yang komprehensif untuk menguji keefektifan metode ini dalam meningkatkan keselamatan berkendara [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan simulasi sistem *Anti-lock Braking System* (ABS) menggunakan metode *Fuzzy Logic* yang dirancang untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi pengereman pada kendaraan *dump truck*. Dengan memanfaatkan fleksibilitas dan kemampuan adaptasi metode *Fuzzy Logic*, simulasi ini dirancang untuk menyesuaikan respons pengereman berdasarkan kondisi jalan dan kecepatan kendaraan secara *real-time*. Sistem ini diharapkan mampu memberikan solusi yang lebih andal dan efektif, terutama dalam mengurangi risiko tergelincir saat pengereman mendadak mengurangi tingkat kecelakaan. Melalui penelitian ini, diharapkan teknologi simulasi berbasis *Fuzzy Logic* dapat menjadi landasan inovasi di bidang otomotif dan memberikan dampak positif pada masyarakat modern yang semakin mengutamakan keselamatan berkendara.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah kurangnya sebuah sistem dalam melakukan perhitungan pengereman yang ideal pada sebuah kendaraan. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan dalam sistem pengereman konvensional agar dapat melakukan

pengereman secara ideal dan juga dapat beradaptasi dengan kondisi dan situasi sekitar dalam pengambilan keputusan dalam pengereman sehingga mengurangi persentase *slip* yang menyebabkan kecelakaan dalam berkendara.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk merancang sebuah simulasi sistem *Anti-lock Braking System* (ABS) dengan metode *fuzzy logic* guna meningkatkan kemampuan sistem yang mampu merepresentasikan kondisi pengereman dan membantu dalam proses pengereman.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dihasilkan dari penelitian ini sangat signifikan dalam pengembangan sistem *Anti-lock Braking System* (ABS) yang lebih canggih dan adaptif. Penelitian ini dapat memberikan dasar yang kuat bagi pengembangan ABS yang lebih responsif terhadap berbagai kondisi jalan dan karakteristik kendaraan, sehingga meningkatkan efektivitas sistem pengereman. Selain itu, penelitian ini juga mendukung inovasi dalam sistem keselamatan kendaraan dengan mengintegrasikan teknologi berbasis kecerdasan buatan, khususnya metode *Fuzzy Logic*, yang dapat meningkatkan kinerja sistem dalam situasi yang dinamis sehingga berpotensi meningkatkan keselamatan pengendara dengan menawarkan solusi yang lebih efektif dalam mencegah roda terkunci selama pengereman. Teknologi pengereman yang lebih canggih dan adaptif ini diharapkan dapat menghadirkan sistem keselamatan yang lebih handal, memberikan perlindungan yang lebih baik bagi pengendara dan pengguna jalan lainnya.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya akan membahas dan merancang simulasi sistem *Anti-lock Braking System* (ABS), tidak mencakup pengembangan model matematis dan implementasi dalam lingkungan simulasi komputer.

2. Penelitian ini hanya akan menghasilkan sistem pengereman untuk membantu pengereman manual dan tidak menghasilkan sistem pengambilan keputusan pada kendaraan.
3. Penelitian hanya mensimulasikan kendaraan pada kondisi area sekitar konstruksi/pertambangan.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang masalah, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian serta sistematika penulisan pada penelitian ini.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan mengenai penelitian sebelumnya dan juga teori pendukung yang menjadi pengantar pemahaman dan berkaitan dengan materi penelitian yang didapat dari berbagai sumber ilmiah.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metodologi penelitian berupa waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, serta metode dan alur penelitian yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang proses pengambilan data, hasil yang didapatkan data penelitian dan analisis data dari hasil penelitian.

BAB V. PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan kesimpulan dan saran yang didasarkan pada hasil data dan pembahasan.

DAFTAR PUSTAKA

Bab ini berisi referensi yang digunakan dalam penulisan dan pelaksanaan penelitian.

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Selama beberapa tahun terakhir, sejumlah penelitian telah membahas *Antilock Braking System* dan penggunaan *fuzzy logic* pada sistem, terutama dalam periode tahun 2017 hingga 2025. Beberapa artikel yang tercantum dalam Tabel 2.1 digunakan sebagai referensi dalam penelitian ini.

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait

No	Judul	Nama Penulis	Hasil
1.	<i>Antilock Braking System on Industrial Heavy Vehicle Using PID Based Bang-Bang Control</i> [6].	Anisa Ulya Darajat, Umi Murdika, Yetti Yuniati, Swadexi Istiqphara, dan Mohammad Farhan Ferdous. 2024.	<ul style="list-style-type: none">• Kontrol Derivatif (D) terbukti penting untuk menghilangkan osilasi pada sistem ABS.• Metode <i>Proportional Derivative</i> (PD) Based Bang-bang control menghasilkan waktu berhenti tercepat yaitu 4,57 detik dengan jarak pengereman terpendek 98,6 meter, tanpa osilasi dan tanpa <i>slip</i>.

No	Judul	Nama Penulis	Hasil
2.	Pemodelan <i>Anti Lock Breaking System</i> (ABS) dengan Memperhatikan Jarak dan Waktu Pengereman dengan Variasi Penambahan Massa pada Kendaraan [7].	Mahardhika Widyan Pratama Adiluhung dan Desmas Arifianto Patriawan 2023.	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu pengereman <i>Antilock Braking System</i> (ABS) lebih cepat sebesar 1.4 detik dibandingkan <i>Lock Braking System</i> (LBS). • Penelitian ini hanya mempertimbangkan pengereman pada jalan dengan koefisien gesek tetap ($\mu = 0.8$) • Penelitian hanya memvariasikan massa kendaraan dengan tambahan penumpang. • Sistem ABS berhasil mencegah roda terkunci. Kecepatan roda dan kecepatan kendaraan menurun secara bersamaan hingga berhenti, meskipun grafik kecepatan roda menunjukkan fluktuasi saat ABS bekerja. • Saat pengereman LBS, terjadi penguncian roda (<i>wheel lock</i>) yang berbahaya. Roda berhenti berputar hanya dalam waktu.

No	Judul	Nama Penulis	Hasil
2.	<i>Pneumatic ABS Modeling and Failure Mode Analysis of Electromagnetic and Control Valves for Commercial Vehicles</i> [8].	Xiaohan Li, Leilei Zhao, Changcheng Zhou, Xue Li and Hongyan Li 2020.	<ul style="list-style-type: none"> • Penelitian menunjukkan bahwa logika <i>fuzzy</i> menawarkan respons yang lebih adaptif terhadap variasi kondisi jalan dibandingkan dengan PID • Model yang digunakan memiliki penyederhanaan yang signifikan, seperti tidak mencakup beberapa parameter penting dari suspensi dan roda. • Sistem <i>fuzzy</i> ABS mampu meningkatkan stabilitas kendaraan dengan mengurangi penguncian roda pada permukaan dengan daya cengkram rendah.

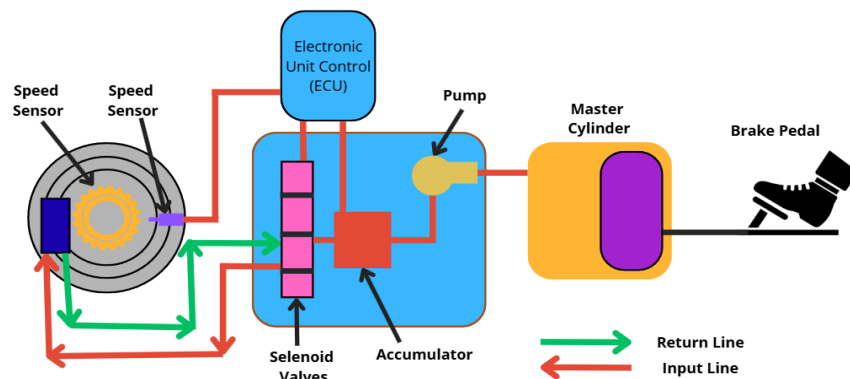
No	Judul	Nama Penulis	Hasil
3.	<i>Modeling and Performance Testing of Anti-Lock Braking System (ABS) with Variation of Road Friction Coefficient to Braking Distance</i> [9].	Miftahul Ulum , Desmas Arifianto Patriawan, Mochamad Nizar 2022.	<ul style="list-style-type: none"> • Deteksi keretakan akurat secara <i>real-time</i>. • Integrasi <i>vision feedback</i> dengan kontrol PID. • Terbatas pada lingkungan dalam ruangan. • Dataset kecil membatasi generalisasi.
4.	<i>Fuzzy Genetic Algorithm Based Antilock Braking System</i> [10].	Srinivasa Rao Gampa, Kiran Jasthi, Sireesha Alapati, Satish Kumar Gudey, Valentina E. Balas 2023.	<ul style="list-style-type: none"> • Mengusulkan sistem ABS berbasis algoritma genetika-fuzzy (Fuzzy-GA) untuk menghasilkan torsi pengereman yang optimal • Simulasi menunjukkan bahwa metode Fuzzy-GA menghasilkan jarak berhenti yang lebih pendek

No	Judul	Nama Penulis	Hasil
5.	<i>Interval Type-2 Fuzzy Logic Anti-Lock Braking Control for Electric Vehicles under Complex Road Conditions</i> [11].	Linfeng Lv, Juncheng Wang, Jiangqi Long 2021.	<ul style="list-style-type: none"> • Membuat kontroler yang dirancang untuk mengatasi ketidakpastian dan kondisi jalan yang kompleks dengan lebih baik dibandingkan logika <i>fuzzy</i> konvensional

Pada penelitian ini memiliki perbedaan dibandingkan penelitian terdahulu yaitu pada objek penelitian yang berupa *dump truck* dan juga metode yang digunakan dalam *Antilock-Braking System* berupa *fuzzy logic* dikarenakan sifatnya yang lebih fleksibel terhadap banyak kondisi.

2.2 *Antilock Braking System*

Antilock Braking System (ABS), atau yang biasa disebut juga dengan *anti-lock system*, merupakan suatu sistem yang dirancang untuk mencegah roda kendaraan terkunci akibat terjadinya pengereman laju roda pada kecepatan tertentu. Kinerja sistem pengereman ABS sangat bergantung pada kemampuan sistem untuk mengidentifikasi jenis permukaan jalan. Saat ini, belum tersedia sensor yang dapat secara akurat mendeteksi karakteristik permukaan jalan dan memberikan informasi tersebut kepada pengontrol ABS. Namun, kondisi dan jenis permukaan jalan dapat diestimasi melalui analisis perbandingan tingkat perlambatan kendaraan, pengukuran *slip* roda, serta tekanan pengereman. Berikut merupakan gambar sistem dari pengereman hidrolik.



Gambar 2. 1 Sistem Pengereman Hidrolik

Salah satu tujuan utama ABS adalah mengontrol roda agar tetap berada dalam kondisi *slip* yang optimal, sehingga koefisien cengkeraman antara ban dan jalan dapat dimaksimalkan. Dengan strategi ini, jarak pengereman kendaraan dapat diminimalkan. Namun, rentang *slip* yang ideal sangat bergantung pada jenis permukaan jalan. Ketika roda terkunci sepenuhnya, kekuatan pengereman justru menurun karena ban kehilangan kemampuan untuk mempertahankan kontak optimal dengan permukaan jalan. Kondisi ini tidak hanya mengurangi efektivitas pengereman, tetapi juga memengaruhi stabilitas kendaraan karena roda yang terkunci kehilangan kemampuan untuk menopang gaya lateral.

2.3 *Slip* Kendaraan

Slip kendaraan adalah perbedaan antara kecepatan aktual roda kendaraan dengan kecepatan linier kendaraan itu sendiri, yang biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase. *Slip* terjadi ketika roda kehilangan traksi optimal, baik akibat akselerasi yang terlalu cepat, pengereman mendadak, atau saat kendaraan melintasi permukaan jalan yang licin, seperti saat hujan, berlumpur, atau bersalju. Pada roda yang berputar lebih cepat dari pergerakan kendaraan (*slip* positif), biasanya terjadi pada saat akselerasi berlebihan, sedangkan roda yang bergerak lebih lambat dari pergerakan kendaraan (*slip* negatif) biasanya terjadi saat pengereman. Fenomena *slip* dapat mengurangi stabilitas dan kendali kendaraan, sehingga penting untuk meminimalkan *slip* melalui teknologi seperti sistem pengereman *anti-lock* (ABS). Rumus umum dalam mencari *slip* seperti pada Persamaan 2.1 berikut [12]

$$Slip = \frac{v_{kendaraan} - v_{roda}}{v_{kendaraan}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan :

$v_{kendaraan}$ = kecepatan kendaraan (m/s)

v_{roda} = kecepatan roda (m/s)

Dimana dalam menentukan kecepatan roda menggunakan Persamaan 2.2 berikut:

$$v_{roda} = \omega \cdot r \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan :

ω = kecepatan sudut roda (rad/s)

r = jari-jari roda (m)

Slip pada kendaraan dibagi menjadi beberapa jenis yaitu :

1. *Slip* Positif

Slip positif pada kendaraan adalah *slip* yang terjadi ketika kecepatan pada roda kendaraan jauh lebih kecil daripada kecepatan kendaraan. Pada *slip* ini biasa terjadi pada kondisi pengereman pada kendaraan. Rumus yang digunakan dalam mencari *slip* positif dapat dilihat pada Persamaan 2.3 berikut:

$$S(\%) = \left(\frac{v_{kendaraan} - v_{roda}}{v_{kendaraan}} \right) \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

2. *Slip* Negatif

Slip negatif pada kendaraan terjadi ketika kendaraan berakselerasi. Pada *slip* ini kecepatan roda kendaraan bernilai lebih besar dari pada kecepatan kendaraan itu sendiri. Rumus yang digunakan dalam mencari *slip* positif dapat dilihat pada Persamaan 2.4 berikut:

$$S = \left(\frac{v_{roda} - v_{kendaraan}}{v_{roda}} \right) \times 100\% \dots \dots \dots (2.4)$$

2.4 *Fuzzy Logic*

Fuzzy adalah cabang dari logika yang menerapkan derajat keanggotaan dalam suatu himpunan sehingga keanggotaan tidak hanya bersifat *true/false*. *Fuzzy* secara bahasa artinya kabur, tidak jelas, tidak pasti [13]. Secara istilah, merupakan bentuk representasi pengetahuan yang cocok untuk kondisi yang bersifat humanis yang tidak dapat diselesaikan secara eksak, akan tetapi disesuaikan dengan konteksnya. Logika *fuzzy* merupakan logika samar yang berhadapan langsung dengan konsep kebenaran sebagian, bahwa logika klasik dalam segala hal dapat diekspresikan dengan 0 atau 1 sementara logika *fuzzy* dimungkinkan adanya nilai antara 0 sampai dengan 1 [14].

2.4.1 Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* merupakan perkembangan dari himpunan tegas. Himpunan tegas merupakan himpunan dengan elemen pada nilai keanggotaan hanya mempunyai dua kemungkinan derajat keanggotaan sebagai berikut :

$$\mu_A x = \begin{cases} 1 & \text{jika } x \in A \\ 0 & \text{jika } x \notin A \end{cases}$$

μ_A merupakan fungsi karakteristik dari himpunan A . Pada himpunan *fuzzy* derajat keanggotaan setiap elemennya terletak dalam interval $[0,1]$.

2.4.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data ke dalam nilai keanggotaannya yang memiliki nilai antara 0 sampai 1 [15]. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah melalui pendekatan fungsi.

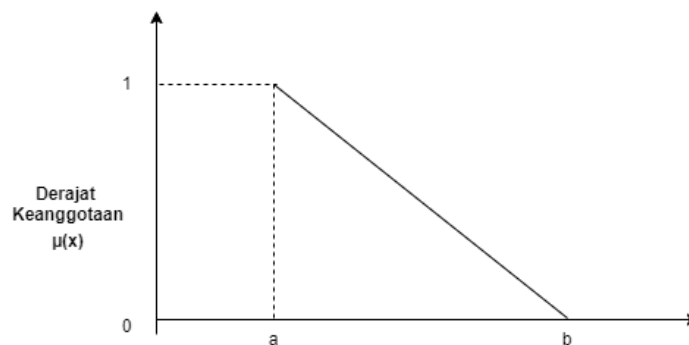
Terdapat beberapa jenis fungsi keanggotaan yang terkenal dari himpunan *fuzzy* tersebut, yaitu dapat dirumuskan dalam berbagai bentuk fungsi segitiga (*Triangle*) fungsi trapesium (*Trapezoidal*), dan lain sebagainya. Salah satu contoh bentuk fungsi keanggotaan dari masing-masing bentuk di atas adalah sebagai berikut :

a. Representasi Linier

Representasi ini merupakan pemetaan *input* ke derajat keanggotaan dan digambarkan sebagai suatu garis lurus [16]. Bentuk ini paling sederhana dan baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas. Terdapat dua keadaan himpunan linear, antara lain :

- Representasi Linier Turun

Dikatakan turun saat mengalami penurunan dari derajat keanggotaan satu dan bergerak ke kanan menuju keanggotaan yang lebih rendah (menuju nol). Berikut merupakan gambar dari grafik derajat keanggotaan dari fungsi keanggotaan representasi linear turun.



Gambar 2. 2 Linear Turun

Fungsi Keanggotaan dari linear turun ditunjukkan pada Persamaan 2.5 berikut :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{b-x}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq a \end{cases} \dots\dots\dots (2.5)$$

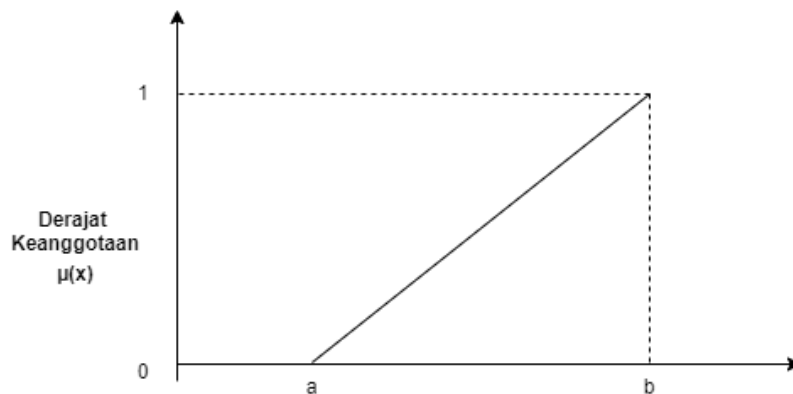
dengan :

a = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkeci

b = derajat keanggotaan terbesar dalam domain

- Representasi Linier Naik

Dikatakan naik yaitu saat mengalami kenaikan dari derajat keanggotaan nol dan bergerak ke kanan menuju keanggotaan yang lebih tinggi (menuju satu). Berikut merupakan gambar dari grafik derajat keanggotaan dari fungsi keanggotaan representasi linear naik.



Gambar 2. 3 Linear Naik

Fungsi keanggotaan dari linear naik ditunjukkan pada Persamaan 2.6 berikut :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0; & x \leq \alpha \\ \frac{x-\alpha}{b-\alpha}; & \alpha \leq x \leq b \\ 1; & x = b \end{cases} \dots\dots\dots (2.6)$$

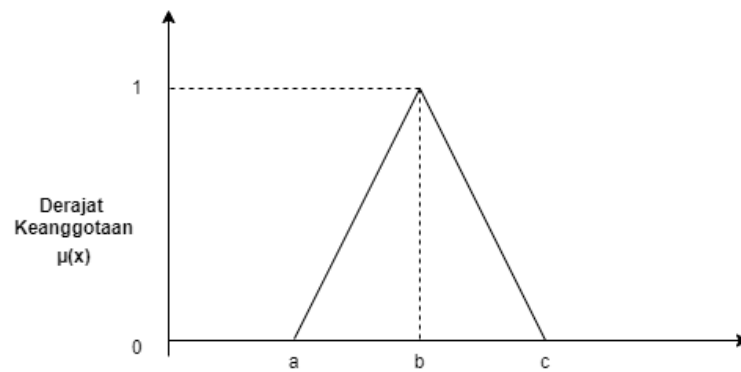
dengan :

α = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkeci

b = derajat keanggotaan terbesar dalam domain

b. Fungsi keanggotaan segitiga

Berikut merupakan gambar dari grafik derajat keanggotaan dari fungsi keanggotaan segitiga.



Gambar 2. 4 Fungsi Keanggotaan Segitiga.

Fungsi keanggotaan dari keanggotaan segitiga ditunjukkan pada Persamaan 2.7 berikut :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b < x < c \end{cases} \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan :

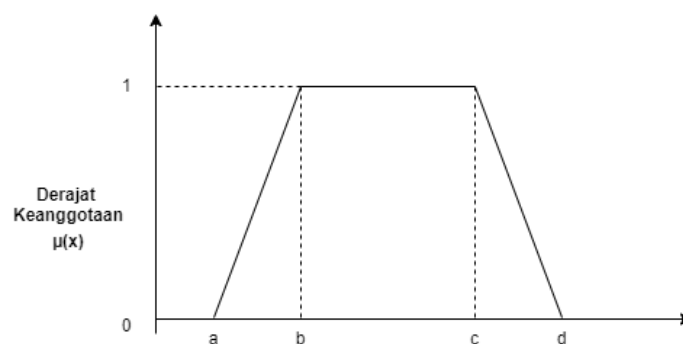
a = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkecil

b = derajat keanggotaan terbesar dalam domain

c = nilai domain terbesar saat derajat keanggotaan terkecil

c. Fungsi keanggotaan trapesium

Berikut merupakan gambar dari grafik derajat keanggotaan dari fungsi keanggotaan segitiga.



Gambar 2. 5 Fungsi Keanggotaan Trapesium.

Fungsi keanggotaan dari keanggotaan trapesium ditunjukkan pada Persamaan 2.8 berikut :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}; a < x \leq b \\ 1; b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}; c < x < d \end{cases} \dots\dots\dots(2.8)$$

Fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium adalah dua jenis fungsi keanggotaan yang paling umum digunakan dalam sistem *fuzzy*. Mereka memiliki beberapa kelebihan yang membuatnya banyak digunakan dalam berbagai aplikasi *fuzzy*. Berikut adalah beberapa alasan mengapa fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium sering dipilih:

1. Fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium dapat merepresentasikan kisaran nilai yang berbeda dengan fleksibilitas. Misalnya, fungsi keanggotaan segitiga cocok untuk mewakili konsep seperti "rendah," "sedang," dan "tinggi," sementara fungsi keanggotaan trapesium dapat digunakan untuk menggambarkan rentang nilai yang lebih luas seperti "sangat rendah" dan "sangat tinggi."
2. Fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium mudah diinterpretasikan karena mewakili himpunan linguistik dengan batas yang jelas dan sederhana. Ini membuatnya lebih mudah bagi pengguna untuk memahami dan menerapkan konsep *fuzzy* dalam sistem inferensi.
3. Fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium memiliki sifat matematika yang sederhana, yang memudahkan dalam perhitungan dan implementasi dalam perangkat lunak atau perangkat keras.

Fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium memungkinkan pengguna untuk mengontrol aturan *fuzzy* dengan mudah.

2.4.3 Tahapan Sistem *Fuzzy Logic*

1. *Fuzzyfikasi*

Fuzzifikasi adalah proses awal yang mengubah input menjadi himpunan *fuzzy*. Proses ini dilakukan dengan menentukan derajat keanggotaan (*degree of match*) input terhadap fungsi keanggotaan yang telah ditetapkan, seperti fungsi segitiga, trapezoid, atau sigmoid. Hal ini memungkinkan data yang bersifat ambigu atau tidak pasti dapat diolah dalam sistem *fuzzy* [17].

2. *Fuzzy Rules / Inferensi*

Aturan *fuzzy* (*fuzzy rules*) adalah inti dari logika *fuzzy* yang berupa sekumpulan aturan berbentuk “IF-THEN.” Aturan ini mendefinisikan hubungan logis antara variabel input dan output. Proposisi *fuzzy* dibedakan menjadi dua, proposisi *fuzzy atomic* dan proposisi *fuzzy compound*. Proposisi *fuzzy atomic* adalah pernyataan *single* dimana sebagai variabel linguistik dan adalah himpunan *fuzzy* dari proposisi *fuzzy compound* adalah gabungan dari proposisi *fuzzy atomic* yang dihubungkan dengan operator “or”, “and”, dan “not” [18].

3. *Defuzzifikasi*

Defuzzifikasi adalah tahap akhir dalam sistem *fuzzy* yang mengubah output *fuzzy* (berupa himpunan *fuzzy*) menjadi nilai yang dapat digunakan. Teknik *defuzzifikasi* yang umum digunakan meliputi metode *centroid*, *bisektor*, atau rata-rata maksimum. Proses ini penting untuk menghasilkan *output* yang dapat diterapkan dalam dunia nyata [19].

2.5 *Unity*

Unity adalah sebuah platform pengembangan perangkat lunak yang digunakan untuk membuat aplikasi interaktif dan *real-time*, seperti *game*, simulasi, dan aplikasi *augmented reality* (AR) atau *virtual reality* (VR) [20]. Dikembangkan oleh *Unity Technologies*, *Unity* menawarkan antarmuka yang intuitif dan mendukung berbagai perangkat, termasuk komputer, konsol, perangkat seluler, hingga perangkat AR/VR. Dengan menggunakan bahasa pemrograman seperti C#,

Unity memungkinkan pengembang untuk mengimplementasikan logika kompleks, animasi, dan interaksi pengguna. Selain itu, *Unity* memiliki ekosistem yang kuat, seperti *Asset Store*, yang menyediakan berbagai aset siap pakai, seperti model 3D, tekstur, hingga skrip, yang mempercepat proses pengembangan. Fleksibilitas dan kompatibilitasnya menjadikan *Unity* salah satu pilihan utama bagi pengembang profesional maupun pemula dalam industri kreatif.

2.6 C-Sharp

C-Sharp (C#) adalah bahasa pemrograman modern, berorientasi objek, dan berbasis komponen yang dikembangkan oleh Microsoft sebagai bagian dari platform .NET. Bahasa ini dirancang untuk memberikan keseimbangan antara kemudahan penggunaan, fleksibilitas, dan kinerja, sehingga cocok untuk berbagai jenis aplikasi, mulai dari aplikasi desktop, web, hingga *game*. C# memiliki sintaks yang mirip dengan bahasa pemrograman seperti C++ dan Java, sehingga mudah dipahami bagi pengembang yang sudah memiliki pengalaman dengan bahasa tersebut [21]. Dengan dukungan yang kuat untuk pengembangan berbasis *framework* .NET, C# memungkinkan integrasi yang mulus dengan berbagai layanan Microsoft, seperti Azure dan SQL Server, serta mendukung pengembangan lintas platform melalui .NET Core dan Xamarin. Bahasa ini sering digunakan untuk membangun aplikasi perusahaan, *game* dengan *Unity*, serta aplikasi berbasis *cloud* dan *IoT*.

2.7 VS Code

Visual Studio Code, atau yang lebih dikenal sebagai VS Code, adalah sebuah editor kode sumber (*source-code editor*) yang dikembangkan oleh Microsoft untuk platform Windows, Linux, dan macOS. VS Code bersifat gratis, ringan, dan sangat populer di kalangan pengembang karena fleksibilitasnya. Fitur utamanya mencakup *syntax highlighting* (penyorotan sintaks), *IntelliSense* (pelengkapan kode cerdas), kemampuan *debugging* (penelusuran galat) yang terintegrasi, serta kontrol Git yang tertanam langsung di dalam editor [22]. Keunggulan terbesar dari VS Code adalah ekosistem ekstensinya yang sangat luas, yang memungkinkan editor ini untuk mendukung hampir semua bahasa pemrograman, termasuk C# yang digunakan untuk skrip pada *Unity* dan *Python* yang digunakan dalam penelitian ini.

III. METODELOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Elektronika dan Laboratorium Teknik Kendali untuk menyelesaikan pengembangan pada sistem pengereman yang optimal menggunakan metode *fuzzy*, yang dilaksanakan dari bulan Februari hingga bulan Juli 2025.

3.2 Alat dan Bahan

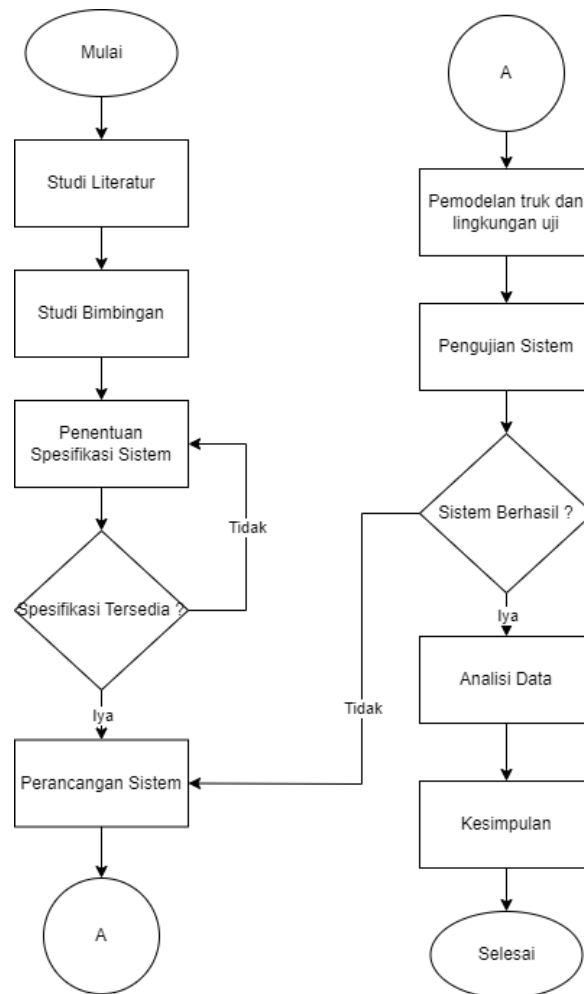
Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini terdapat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan

No	Alat dan Bahan	Keterangan Penggunaan
1.	Laptop Asus TUF A15 Ryzen 5 7535hs	Sebagai <i>hardware</i> dalam pembuatan sistem ABS dan dalam pembuatan simulasi untuk pengereman pada mobil <i>dump truck</i>
2.	<i>Matlab</i>	Sebagai <i>software</i> pengujian awal <i>fuzzy logic</i>
3.	<i>Unity</i>	Sebagai <i>software</i> dalam pembuatan simulator pengereman pada <i>dump truck</i>
4.	<i>VScode</i>	Sebagai <i>software</i> pemrograman C <i>shard</i> dan juga sebagai <i>software</i> sistem <i>fuzzy logic</i>

3.3 Metode Penelitian

Adapun prosedur dan juga metode penelitian ditunjukkan oleh gambar diagram alir prosedur penelitian. Metode penelitian disusun sebagai sebuah acuan yang telah dirancang sebelumnya. Berikut merupakan Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Penelitian.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Prosedur Penelitian

Pada Gambar 3.1 merupakan prosedur penelitian yang dimulai dengan mencari dan juga mempelajari literatur yang berkaitan dan berhubungan dengan penelitian ini. Setelah mendapatkan studi literatur yang berkaitan dengan penelitian, penelitian dilanjutkan dengan mengidentifikasi masalah yang terdapat pada penelitian sebelumnya. Selanjutnya menentukan spesifikasi dari sistem yang digunakan untuk menyelesaikan masalah, jika spesifikasi pada sistem tidak tersedia atau tidak efektif, maka pencarian literatur dilakukan kembali agar mendapatkan spesifikasi yang sesuai.

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk mempelajari materi-materi yang terkait dengan topik yang dibahas dalam tugas akhir yaitu mengenai pembuatan sistem simulasi *antilock braking system* dengan menggunakan kontrol *fuzzy logic*. Materi

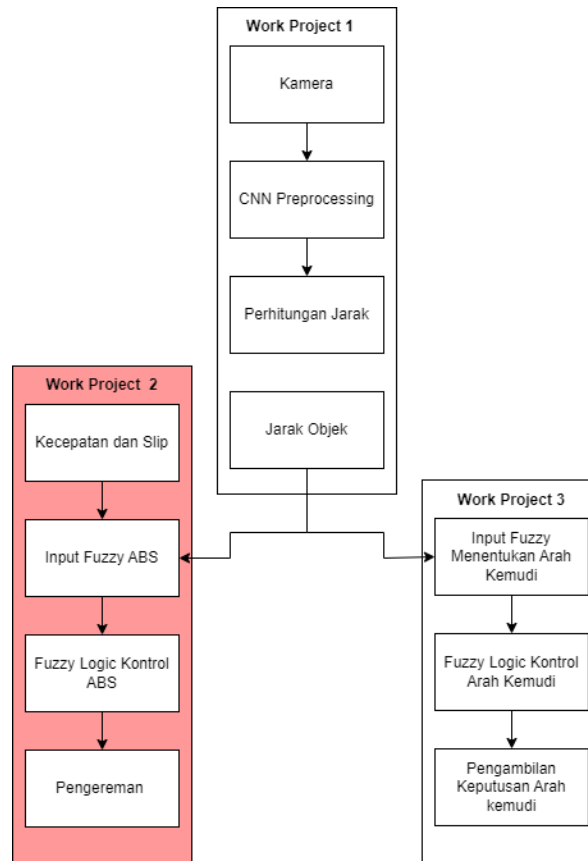
tersebut didapatkan dari buku, jurnal, dan referensi dari *website* yang dapat di pertanggungjawaban informasinya.

3.3.2 Studi Bimbingan

Studi bimbingan dilakukan dengan berdiskusi, tanya jawab, dan mencari solusi dengan dosen pembimbing terkait sistem yang akan dibuat yang bertujuan meningkatkan wawasan lebih baik untuk melakukan pengerjaan tugas akhir.

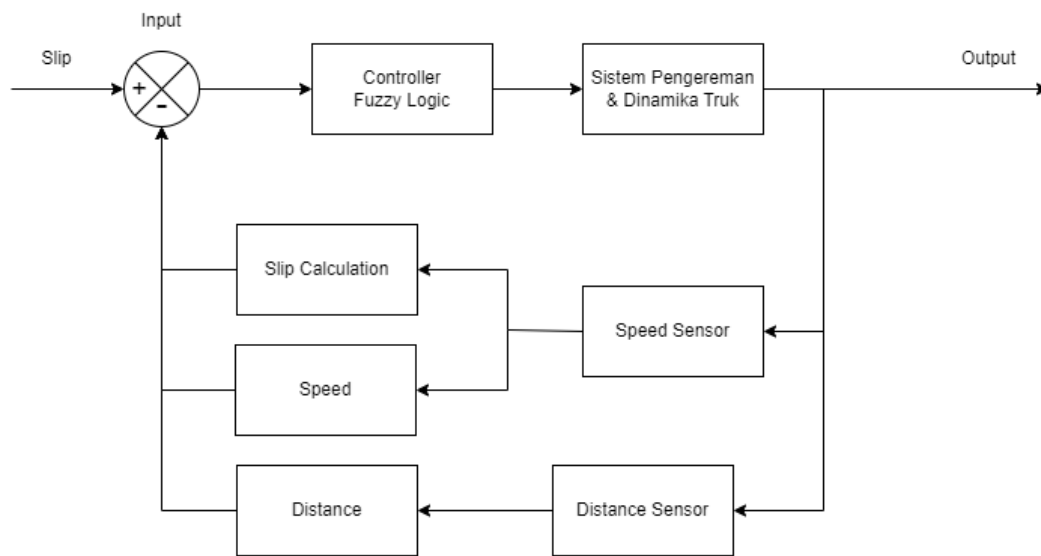
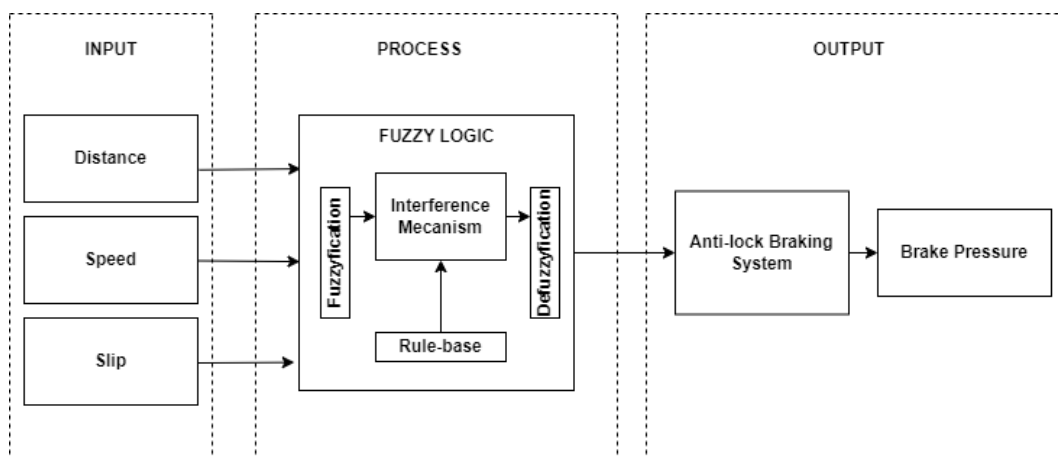
3.3.3 Perancangan Sistem

Secara keseluruhan, sistem ini terdiri dari tiga bagian utama yang saling terintegrasi, yaitu sistem deteksi objek menggunakan kamera, sistem pengereman otomatis berbasis *Anti-lock Braking System*, dan sistem pengambilan keputusan pada kemudi menggunakan logika *fuzzy*. Penelitian yang dilakukan kali ini adalah *Work Project 2*, yang di mana merupakan penelitian lanjutan dari hasil *Work Project 1* berupa jarak yang akan menjadi salah satu faktor dalam pembuatan sistem ABS. Pada Gambar 3.2 ditampilkan diagram blok sistem secara keseluruhan, yang menunjukkan bagaimana setiap komponen saling berhubungan dalam proses kerja sistem.



Gambar 3. 2 Blok Diagram Keseluruhan Sistem

Penelitian dilanjutkan dengan perancangan sistem. Setelah itu, pengujian data dan selanjutnya analisis data. Data yang sudah diambil akan dilakukan pembahasan agar mendapatkan kesimpulan dari sistem yang telah berhasil dibuat. Pada perancangan sistem terdiri dari 2 program, yaitu program pada perhitungan nilai *slip* dan juga program pada metode *fuzzy logic*. Program perhitungan *slip* merupakan program yang bertujuan untuk mengetahui jenis dan nilai *slip* pada kendaraan berdasarkan nilai inputan yang masuk seperti kecepatan kendaraan dan kecepatan roda. Program *fuzzy logic* bertujuan untuk menentukan tingkat *brake pressure* (tekanan rem) yang diperlukan saat terjadi *slip* pada kondisi yang berbeda-beda. Berikut merupakan Gambar 3.3 diagram kontrol *fuzzy* dan Gambar 3.4 blok diagram sistem ABS.

Gambar 3. 3 Diagram Kontrol *Fuzzy*Gambar 3. 4 Blok Diagram Sistem *Fuzzy*

Pada Gambar 3.3 diagram kontrol *fuzzy* menunjukkan sistem kerja pada simulasi yang akan membaca nilai dari aset berupa mobil truk pada simulasi *software* unity berupa jarak, kecepatan, dan nilai *slip* yang dihitung berdasarkan parameter-parameter yang telah ditentukan. Setelah didapatkan *output* dari *fuzzy* berupa tekanan rem maka akan digunakan data tersebut untuk sistem *Anti-lock Braking System* sehingga didapatkan tekanan pengereman yang sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Pada diagram sistem penelitian dibagi menjadi 3 tahapan yaitu *input*, proses, dan *output*. Pada tahapan proses pada sistem menggunakan metode *fuzzy logic* sebagai otak dari keseluruhan sistem.

3.4 Perancangan *Fuzzy Logic*

Pada sistem *fuzzy logic* yang diterapkan pada simulator menggunakan tiga *input* yaitu nilai *slip* kendaraan, kecepatan kendaraan, dan jarak yang masing-masing memiliki lima fungsi keanggotaan dan memiliki satu *output* berupa *brake pressure* atau tekanan pengereman. Metode Mamdani digunakan untuk inferensi, dan metode *centroid* digunakan untuk *defuzzyfikasi*. Kombinasi aturan IF-THEN disusun berdasarkan logika pengereman manusiawi. Setiap variabel memiliki lima fungsi keanggotaan yang dirancang berdasarkan logika pengereman manusiawi melalui kombinasi aturan IF-THEN. Detail himpunan dan domain untuk setiap variabel disajikan pada Tabel 3.2 *Membership Function*.

Tabel 3. 2 *Membership Function*

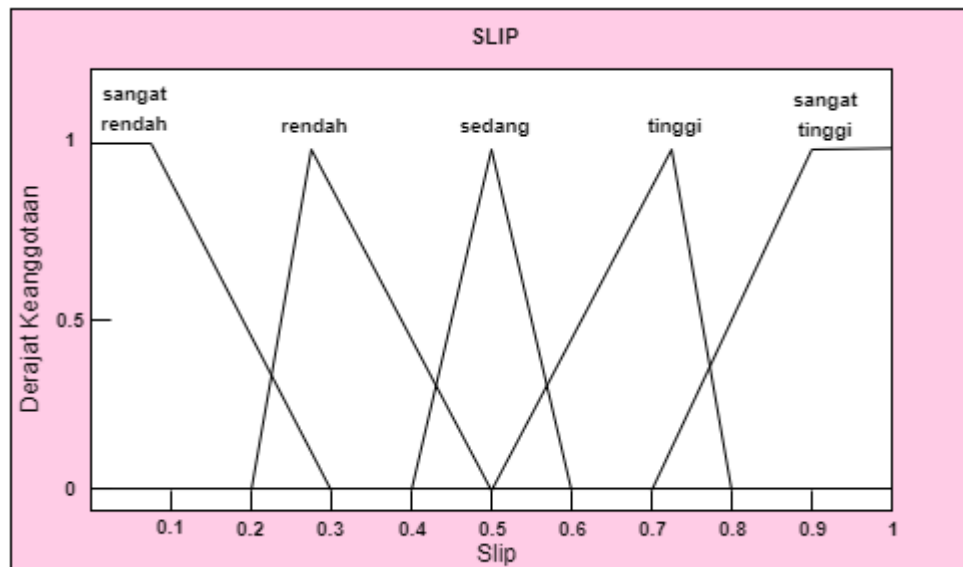
Keterangan	Variabel	Himpunan	Domain	Range
Input	Slip	Sangat Rendah	0 – 0.3	0 – 1
		Rendah	0.2 – 0.5	
		Sedang	0.4 – 0.6	
		Tinggi	0.5 – 0.8	
		Sangat Tinggi	0.7 – 1	
	Kecepatan	Sangat Lambat	0 – 20	0 – 80
		Lambat	15 – 35	
		Sedang	30 – 50	
		Cepat	45 – 65	
		Sangat Cepat	60 – 80	
	Jarak	Sangat Dekat	0 – 2.5	0 – 8
		Dekat	2 – 3.5	
		Sedang	3 – 5	
		Cepat	4.5 – 6	
		Sangat Cepat	5.5 – 8	

Keterangan	Variabel	Himpunan	Domain	Range
<i>Output</i>	Tekanan Rem	Sangat Rendah	0 – 0.3	0 – 1
		Rendah	0.2 – 0.5	
		Sedang	0.4 – 0.6	
		Tinggi	0.5 – 0.8	
		Sangat Tinggi	0.7 – 1	

Fungsi keanggotaan untuk setiap variabel direpresentasikan dalam bentuk grafik segitiga dan trapesium untuk memetakan nilai *input* ke dalam derajat keanggotaan *fuzzy*. Sistem ini menggunakan 125 aturan (*rules*) *fuzzy* yang disusun dengan format "IF-THEN" untuk mencakup berbagai kombinasi kondisi dari ketiga *input* guna menghasilkan *output* tekanan rem yang sesuai.

3.4.1 Fuzzyfikasi

Terdapat 3 jenis variabel yang akan dibaca dan diolah menggunakan logika *fuzzy* yaitu jarak, kecepatan, dan nilai *slip* pada kendaraan. Ketiga variabel tersebut masing-masing memiliki 5 *membership function* atau fungsi keanggotaan di mana pada jarak memiliki rentang 0 hingga 8 meter dengan fungsi keanggotaan sangat dekat, dekat, sedang, jauh, dan sangat jauh. Pada variabel kecepatan memiliki rentang kecepatan 85 km/jam dengan 5 fungsi keanggotaan yaitu sangat lambat, lambat, sedang, cepat, dan sangat cepat. Pada variabel ketiga yaitu *slip* didapat dari perhitungan yang akan dilakukan sistem dan memiliki 5 fungsi keanggotaan yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, sangat tinggi. Ketiga variabel akan melalui tahapan pertama dalam proses logika *fuzzy* yaitu tahapan *fuzzyfikasi* yang mengubah nilai masing-masing variabel menjadi himpunan *fuzzy* dengan menentukan nilai berdasarkan derajat keanggotaan berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditetapkan sebelumnya. Berikut merupakan *membership function* dari setiap *input* pada sistem *fuzzy* yang digunakan.



Gambar 3. 5 Gambar *Membership Function* dari *Input Slip*

Derajat keanggotaan sangat rendah berdasarkan Persamaan 3.1

$$\mu_{\text{Sangat Rendah}}[x] = \begin{cases} 1, & \text{untuk } 0 \leq x \leq 0.1 \\ \frac{0.3-x}{0.3-0.1}, & \text{untuk } 0.1 < x \leq 0.3 \\ 0, & \text{untuk } x \geq 0.3 \end{cases} \dots\dots\dots(3.1)$$

Derajat keanggotaan rendah berdasarkan Persamaan 3.2

$$\mu_{\text{Rendah}}[x] = \begin{cases} 0, & \text{untuk } x \leq 0.2 / x \geq 0.5 \\ \frac{x-0.2}{0.3-0.2}, & \text{untuk } 0.2 < x \leq 0.3 \\ \frac{0.5-x}{0.5-0.3}, & \text{untuk } 0.3 < x \leq 0.5 \end{cases} \dots\dots\dots(3.2)$$

Derajat keanggotaan sedang berdasarkan Persamaan 3.3

$$\mu_{\text{Sedang}}[x] = \begin{cases} 0, & \text{untuk } x \leq 0.4 / x \geq 0.6 \\ \frac{x-0.4}{0.5-0.4}, & \text{untuk } 0.4 < x \leq 0.5 \\ \frac{0.6-x}{0.6-0.5}, & \text{untuk } 0.5 < x \leq 0.6 \end{cases} \dots\dots\dots(3.3)$$

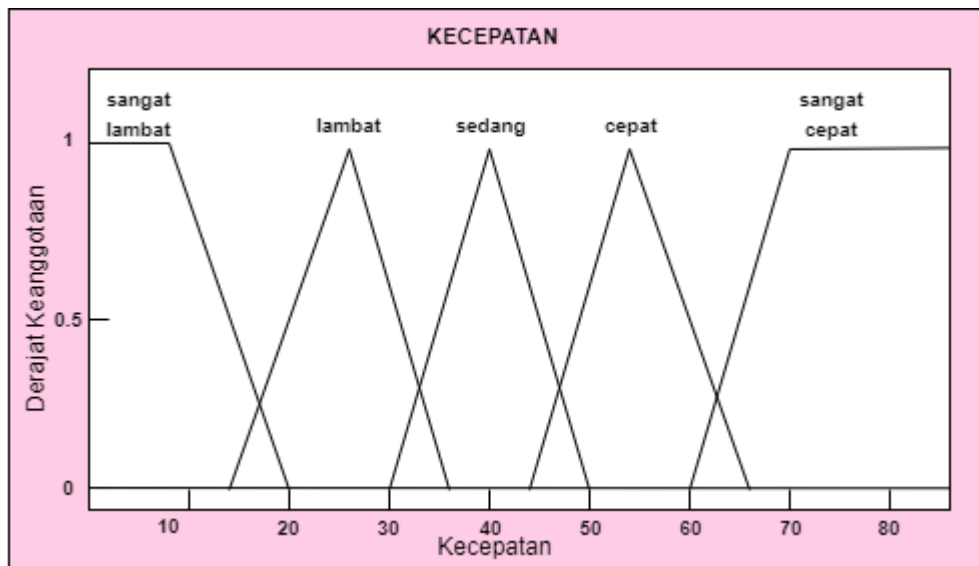
Derajat keanggotaan tinggi berdasarkan Persamaan 3.4

$$\mu_{\text{Tinggi}}[x] = \begin{cases} 0, & \text{untuk } x \leq 0.5 / x \geq 0.8 \\ \frac{x-0.5}{0.7-0.5}, & \text{untuk } 0.5 < x \leq 0.7 \\ \frac{0.8-x}{0.8-0.7}, & \text{untuk } 0.7 < x \leq 0.8 \end{cases} \dots\dots\dots(3.4)$$

Derajat keanggotaan sangat tinggi berdasarkan Persamaan 3.5

$$\mu_{\text{Sangat Tinggi}}[x] = \begin{cases} 0, & \text{untuk } x \leq 0.7 \\ \frac{x-0.7}{0.9-0.7}, & \text{untuk } 0.7 < x \leq 0.9 \\ 1, & \text{untuk } x \geq 0.9 \end{cases} \dots\dots\dots(3.5)$$

Pada Gambar fungsi keanggotaan *slip*, di mana rentang *slip* adalah 0 hingga 1. Dengan menggunakan fungsi keanggotaan yang terdiri dari 3 fungsi keanggotaan segitiga dan 2 fungsi keanggotaan trapesium dengan rentang keanggotaan yaitu 0 – 0.3 sangat rendah, 0.2 – 0.5 rendah, 0.4 – 0.6 sedang, 0.5 – 0.8 tinggi, dan 0.7 – 1 sangat tinggi.



Gambar 3. 6 Gambar *Membership Function* dari *Input* Kecepatan

Derajat keanggotaan sangat lambat berdasarkan Persamaan 3.6

$$\mu_{\text{Sangat Lambat}}[x] = \begin{cases} 1, & \text{untuk } x \leq 10 \\ \frac{20-x}{20-10}, & \text{untuk } 10 < x \leq 20 \\ 0, & \text{untuk } x \geq 20 \end{cases} \dots\dots\dots(3.6)$$

Derajat keanggotaan lambat berdasarkan Persamaan 3.7

$$\mu_{\text{Lambat}}[x] = \begin{cases} 0, & \text{untuk } x \leq 15 / x \geq 35 \\ \frac{x-15}{25-15}, & \text{untuk } 15 < x \leq 25 \\ \frac{35-x}{35-25}, & \text{untuk } 25 < x \leq 30 \end{cases} \dots\dots\dots(3.7)$$

Derajat keanggotaan sedang berdasarkan Persamaan 3.8

$$\mu_{\text{Sedang}}[x] = \begin{cases} 0, & \text{untuk } x \leq 30 / x \geq 50 \\ \frac{x-30}{40-30}, & \text{untuk } 30 < x \leq 40 \\ \frac{50-x}{50-40}, & \text{untuk } 40 < x \leq 50 \end{cases} \dots\dots\dots(3.8)$$

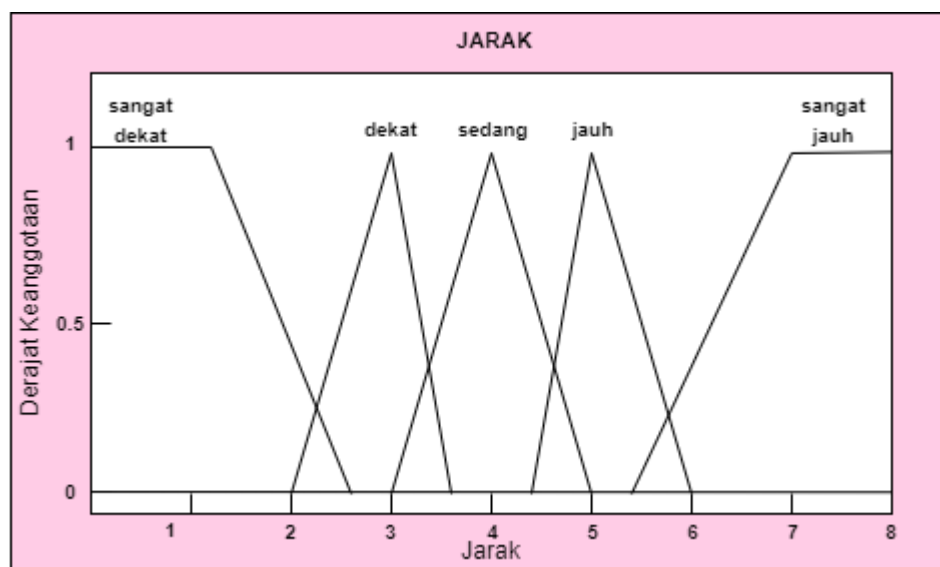
Derajat keanggotaan cepat berdasarkan Persamaan 3.9

$$\mu_{\text{Cepat}}[x] = \begin{cases} 0, & \text{untuk } x \leq 45 / x \geq 65 \\ \frac{x-45}{55-45}, & \text{untuk } 45 < x \leq 55 \\ \frac{65-x}{65-55}, & \text{untuk } 55 < x \leq 65 \end{cases} \dots\dots\dots(3.9)$$

Derajat keanggotaan sangat cepat berdasarkan Persamaan 3.10

$$\mu_{\text{Sangat Cepat}}[x] = \begin{cases} 0, & \text{untuk } x \leq 60 \\ \frac{x-60}{70-60}, & \text{untuk } 60 < x \leq 70 \\ 1, & \text{untuk } x \geq 70 \end{cases} \dots\dots\dots(3.10)$$

Pada Gambar fungsi keanggotaan kecepatan, di mana rentang jarak adalah 0 hingga 8. Dengan menggunakan fungsi keanggotaan yang terdiri dari 3 fungsi keanggotaan segitiga dan 2 fungsi keanggotaan trapesium dengan rentang keanggotaan yaitu 0 – 20 sangat lambat, 15 – 35 lambat, 30 – 50 sedang, 45 – 65 cepat, dan 60 – 85 sangat cepat.



Gambar 3. 7 Gambar *Membership Function* dari *Input Jarak*

Derajat keanggotaan sangat dekat berdasarkan Persamaan 3.11

$$\mu_{\text{Sangat Dekat}}[x] = \begin{cases} 1, & \text{untuk } x \leq 2 \\ \frac{2.5-x}{2.5-2}, & \text{untuk } 2 < x \leq 2.5 \\ 0, & \text{untuk } x \geq 2.5 \end{cases} \dots\dots\dots(3.11)$$

Derajat keanggotaan dekat berdasarkan Persamaan 3.12

$$\mu_{\text{Dekat}}[x] = \begin{cases} 0, & \text{untuk } x \leq 2 / x \geq 3.5 \\ \frac{x-2}{3-2}, & \text{untuk } 2 < x \leq 3 \\ \frac{3.5-x}{3.5-3}, & \text{untuk } 3 < x \leq 3.5 \end{cases} \dots\dots\dots(3.12)$$

Derajat keanggotaan sedang berdasarkan Persamaan 3.13

$$\mu_{\text{Sedang}}[x] = \begin{cases} 0, & \text{untuk } x \leq 3 / x \geq 5 \\ \frac{x-3}{4-3}, & \text{untuk } 3 < x \leq 4 \\ \frac{5-x}{5-4}, & \text{untuk } 4 < x \leq 5 \end{cases} \dots\dots\dots(3.13)$$

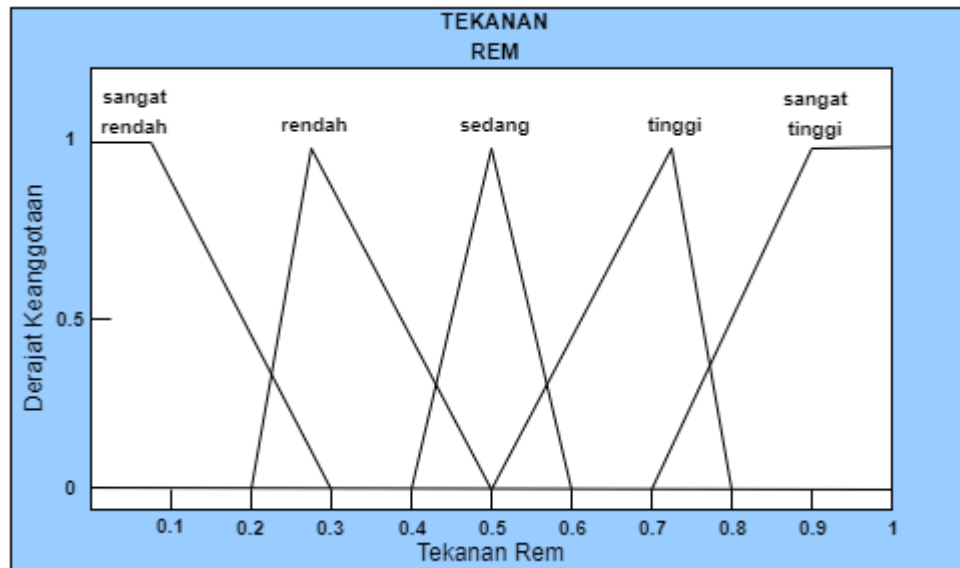
Derajat keanggotaan jauh berdasarkan Persamaan 3.14

$$\mu_{\text{Jauh}}[x] = \begin{cases} 0, & \text{untuk } x \leq 4.5 / x \geq 6 \\ \frac{x-4.5}{5-4.5}, & \text{untuk } 4.5 < x \leq 5 \\ \frac{6-x}{6-5}, & \text{untuk } 5 < x \leq 6 \end{cases} \dots\dots\dots(3.14)$$

Derajat keanggotaan sangat jauh berdasarkan Persamaan 3.15

$$\mu_{\text{Sangat Jauh}}[x] = \begin{cases} 0, & \text{untuk } x \leq 5.5 \\ \frac{x-5.5}{7-5.5}, & \text{untuk } 5.5 < x \leq 7 \\ 1, & \text{untuk } x \geq 7 \end{cases} \dots\dots\dots(3.15)$$

Pada Gambar fungsi keanggotaan jarak, di mana rentang jarak adalah 0 hingga 8. Dengan menggunakan fungsi keanggotaan yang terdiri dari 3 fungsi keanggotaan segitiga dan 2 fungsi keanggotaan trapesium dengan rentang keanggotaan yaitu 0 – 0.2 sangat dekat, 2 – 3.5 dekat, 3 – 5 sedang, 4.5 – 6 jauh, dan 5.5 – 8 sangat jauh.



Gambar 3. 8 Gambar *Membership Function* dari *Output Logika Fuzzy* Berupa Tekanan Rem

Derajat keanggotaan sangat rendah berdasarkan Persamaan 3.16

$$\mu_{\text{Sangat Rendah}}[x] = \begin{cases} 1, & \text{untuk } 0 \leq x \leq 0.1 \\ \frac{0.3-x}{0.3-0.1}, & \text{untuk } 0.1 < x \leq 0.3 \\ 0, & \text{untuk } x \geq 0.3 \end{cases} \dots\dots\dots(3.16)$$

Derajat keanggotaan rendah berdasarkan Persamaan 3.17

$$\mu_{\text{Rendah}}[x] = \begin{cases} 0, & \text{untuk } x \leq 0.2 / x \geq 0.5 \\ \frac{x-0.2}{0.3-0.2}, & \text{untuk } 0.2 < x \leq 0.3 \\ \frac{0.5-x}{0.5-0.3}, & \text{untuk } 0.3 < x \leq 0.5 \end{cases} \dots\dots\dots(3.17)$$

Derajat keanggotaan sedang berdasarkan Persamaan 3.18

$$\mu_{\text{Sedang}}[x] = \begin{cases} 0, & \text{untuk } x \leq 0.4 / x \geq 0.6 \\ \frac{x-0.4}{0.5-0.4}, & \text{untuk } 0.4 < x \leq 0.5 \\ \frac{0.6-x}{0.6-0.5}, & \text{untuk } 0.5 < x \leq 0.6 \end{cases} \dots\dots\dots(3.18)$$

Derajat keanggotaan tinggi berdasarkan Persamaan 3.19

$$\mu_{\text{Tinggi}}[x] = \begin{cases} 0, & \text{untuk } x \leq 0.5 / x \geq 0.8 \\ \frac{x-0.5}{0.7-0.5}, & \text{untuk } 0.5 < x \leq 0.7 \\ \frac{0.8-x}{0.8-0.7}, & \text{untuk } 0.7 < x \leq 0.8 \end{cases} \dots\dots\dots(3.19)$$

Derajat keanggotaan sangat tinggi berdasarkan Persamaan 3.20

$$\mu_{\text{Sangat Tinggi}}[x] = \begin{cases} 0, & \text{untuk } x \leq 0.7 \\ \frac{x - 0.7}{0.9 - 0.7}, & \text{untuk } 0.7 < x \leq 0.9 \\ 1, & \text{untuk } x \geq 0.9 \end{cases} \dots\dots\dots(3.20)$$

Pada Gambar fungsi keanggotaan tekanan rem, rentang tekanan rem adalah 0 hingga 1. Dengan menggunakan fungsi keanggotaan yang terdiri dari 3 fungsi keanggotaan segitiga dan 2 fungsi keanggotaan trapesium dengan rentang keanggotaan yaitu 0 – 0.3 sangat rendah, 0.2 – 0.5 rendah, 0.4 – 0.6 sedang, 0.5 – 0.8 tinggi, dan 0.7 – 1 sangat tinggi.

3.4.1 Aplikasi Fungsi Implikasi (Inferensi)

Pada tahap aplikasi fungsi amplikasi atau inferensi terjadi pembentukan aturan pada *fuzzy* yang merupakan proses mengubah nilai input *fuzzy* menjadi *output fuzzy* dengan mengikuti aturan-aturan *IF-THEN*. Aturan *fuzzy* dibuat berdasarkan analisa dari data latih, dalam proses pembentukan aturan *fuzzy* nilai yang didapat dari nilai *fuzzy input*. Aturan *fuzzy logic* digunakan aturan *if – then* [23]. Setelah mendapatkan nilai keanggotaan dari *fuzzyfikasi*, tahap selanjutnya adalah menerapkan nilai-nilai tersebut ke dalam aturan-aturan (*rules*) yang telah dibuat. Pada metode Mamdani, fungsi implikasi yang umum digunakan adalah MIN (mengambil nilai keanggotaan terkecil dari semua *input* dalam satu aturan) untuk menentukan kekuatan pemicu (*firing strength* atau α -predikat) dari aturan tersebut. Selanjutnya mengagregasi atau menggabungkan hasil dari semua aturan yang aktif untuk membentuk satu set *fuzzy* tunggal pada variabel *output*. Metode yang umum digunakan adalah max, yaitu mengambil nilai maksimum dari hasil (konsekuen) setiap aturan. Hasilnya adalah sebuah daerah *fuzzy* pada variabel *output*. Berikut merupakan Tabel 3.3 aturan *Fuzzy Logic*

Tabel 3. 3 Aturan *Fuzzy Logic*

Rule	<i>Slip</i>	Kecepatan	Jarak	Tekanan Rem
1	Sangat Rendah	Sangat Lambat	Sangat Jauh	Sangat Rendah
2	Sangat Rendah	Sangat Lambat	Jauh	Sangat Rendah
3	Sangat Rendah	Sangat Lambat	Sedang	Rendah

<i>Rules</i>	<i>Slip</i>	<i>Kecepatan</i>	<i>Jarak</i>	<i>Tekanan Rem</i>
4	Sangat Rendah	Sangat Lambat	Dekat	Rendah
5	Sangat Rendah	Sangat Lambat	Sangat Dekat	Tinggi
6	Sangat Rendah	Lambat	Sangat Jauh	Sangat Rendah
7	Sangat Rendah	Lambat	Jauh	Rendah
8	Sangat Rendah	Lambat	Sedang	Sedang
9	Sangat Rendah	Lambat	Dekat	Sedang
10	Sangat Rendah	Lambat	Sangat Dekat	Tinggi
11	Sangat Rendah	Sedang	Sangat Jauh	Sangat Tinggi
12	Sangat Rendah	Sedang	Jauh	Sangat Tinggi
13	Sangat Rendah	Sedang	Sedang	Sangat Tinggi
14	Sangat Rendah	Sedang	Dekat	Sangat Tinggi
15	Sangat Rendah	Sedang	Sangat Dekat	Sangat Tinggi
16	Sangat Rendah	Cepat	Sangat Jauh	Sangat Tinggi
17	Sangat Rendah	Cepat	Jauh	Sangat Tinggi
18	Sangat Rendah	Cepat	Sedang	Sangat Tinggi
19	Sangat Rendah	Cepat	Dekat	Sangat Tinggi
20	Sangat Rendah	Cepat	Sangat Dekat	Sangat Tinggi
21	Sangat Rendah	Sangat Cepat	Sangat Jauh	Sangat Tinggi
22	Sangat Rendah	Sangat Cepat	Jauh	Sangat Tinggi
23	Sangat Rendah	Sangat Cepat	Sedang	Sangat Tinggi
24	Sangat Rendah	Sangat Cepat	Dekat	Sangat Tinggi
25	Sangat Rendah	Sangat Cepat	Sangat Dekat	Sangat Tinggi
26	Rendah	Sangat Lambat	Sangat Jauh	Sangat Rendah
27	Rendah	Sangat Lambat	Jauh	Rendah
28	Rendah	Sangat Lambat	Sedang	Rendah
29	Rendah	Sangat Lambat	Dekat	Sedang
30	Rendah	Sangat Lambat	Sangat Dekat	Sedang
31	Rendah	Lambat	Sangat Jauh	Rendah
32	Rendah	Lambat	Jauh	Rendah
33	Rendah	Lambat	Sedang	Sedang

<i>Rules</i>	<i>Slip</i>	<i>Kecepatan</i>	<i>Jarak</i>	<i>Tekanan Rem</i>
34	Rendah	Lambat	Dekat	Sedang
35	Rendah	Lambat	Sangat Dekat	Tinggi
36	Rendah	Sedang	Sangat Jauh	Sangat Tinggi
37	Rendah	Sedang	Jauh	Sangat Tinggi
38	Rendah	Sedang	Sedang	Sangat Tinggi
39	Rendah	Sedang	Dekat	Sangat Tinggi
40	Rendah	Sedang	Sangat Dekat	Sangat Tinggi
41	Rendah	Cepat	Sangat Jauh	Sangat Tinggi
42	Rendah	Cepat	Jauh	Sangat Tinggi
43	Rendah	Cepat	Sedang	Sangat Tinggi
44	Rendah	Cepat	Dekat	Sangat Tinggi
45	Rendah	Cepat	Sangat Dekat	Sangat Tinggi
46	Rendah	Sangat Cepat	Sangat Jauh	Sangat Tinggi
47	Rendah	Sangat Cepat	Jauh	Sangat Tinggi
48	Rendah	Sangat Cepat	Sedang	Sangat Tinggi
49	Rendah	Sangat Cepat	Dekat	Sangat Tinggi
50	Rendah	Sangat Cepat	Sangat Dekat	Sangat Tinggi
51	Sedang	Sangat Lambat	Sangat Jauh	Rendah
52	Sedang	Sangat Lambat	Jauh	Sedang
53	Sedang	Sangat Lambat	Sedang	Sedang
54	Sedang	Sangat Lambat	Dekat	Tinggi
55	Sedang	Sangat Lambat	Sangat Dekat	Tinggi
56	Sedang	Lambat	Sangat Jauh	Sedang
57	Sedang	Lambat	Jauh	Sedang
58	Sedang	Lambat	Sedang	Tinggi
59	Sedang	Lambat	Dekat	Tinggi
60	Sedang	Lambat	Sangat Dekat	Sangat Tinggi
61	Sedang	Sedang	Sangat Jauh	Sangat Tinggi
62	Sedang	Sedang	Jauh	Sangat Tinggi
63	Sedang	Sedang	Sedang	Sangat Tinggi

Rules	Slip	Kecepatan	Jarak	Tekanan Rem
64	Sedang	Sedang	Dekat	Sangat Tinggi
65	Sedang	Sedang	Sangat Dekat	Sangat Tinggi
66	Sedang	Cepat	Sangat Jauh	Sangat Tinggi
67	Sedang	Cepat	Jauh	Sangat Tinggi
68	Sedang	Cepat	Sedang	Sangat Tinggi
69	Sedang	Cepat	Dekat	Sangat Tinggi
70	Sedang	Cepat	Sangat Dekat	Sangat Tinggi
71	Sedang	Sangat Cepat	Sangat Jauh	Sangat Tinggi
72	Sedang	Sangat Cepat	Jauh	Sangat Tinggi
73	Sedang	Sangat Cepat	Sedang	Sangat Tinggi
74	Sedang	Sangat Cepat	Dekat	Sangat Tinggi
75	Sedang	Sangat Cepat	Sangat Dekat	Sangat Tinggi
76	Tinggi	Sangat Lambat	Sangat Jauh	Sedang
77	Tinggi	Sangat Lambat	Jauh	Sedang
78	Tinggi	Sangat Lambat	Sedang	Tinggi
79	Tinggi	Sangat Lambat	Dekat	Tinggi
80	Tinggi	Sangat Lambat	Sangat Dekat	Sangat Tinggi
81	Tinggi	Lambat	Sangat Jauh	Sedang
82	Tinggi	Lambat	Jauh	Tinggi
83	Tinggi	Lambat	Sedang	Tinggi
84	Tinggi	Lambat	Dekat	Sangat Tinggi
85	Tinggi	Lambat	Sangat Dekat	Sangat Tinggi
86	Tinggi	Sedang	Sangat Jauh	Sangat Tinggi
87	Tinggi	Sedang	Jauh	Sangat Tinggi
88	Tinggi	Sedang	Sedang	Sangat Tinggi
89	Tinggi	Sedang	Dekat	Sangat Tinggi
90	Tinggi	Sedang	Sangat Dekat	Sangat Tinggi
91	Tinggi	Cepat	Sangat Jauh	Sangat Tinggi
92	Tinggi	Cepat	Jauh	Sangat Tinggi
93	Tinggi	Cepat	Sedang	Sangat Tinggi

Rules	Slip	Kecepatan	Jarak	Tekanan Rem
94	Tinggi	Cepat	Dekat	Sangat Tinggi
95	Tinggi	Cepat	Sangat Dekat	Sangat Tinggi
96	Tinggi	Sangat Cepat	Sangat Jauh	Sangat Tinggi
97	Tinggi	Sangat Cepat	Jauh	Sangat Tinggi
98	Tinggi	Sangat Cepat	Sedang	Sangat Tinggi
99	Tinggi	Sangat Cepat	Dekat	Sangat Tinggi
100	Tinggi	Sangat Cepat	Sangat Dekat	Sangat Tinggi
101	Sangat Tinggi	Sangat Lambat	Sangat Jauh	Tinggi
102	Sangat Tinggi	Sangat Lambat	Jauh	Tinggi
103	Sangat Tinggi	Sangat Lambat	Sedang	Sangat Tinggi
104	Sangat Tinggi	Sangat Lambat	Dekat	Sangat Tinggi
105	Sangat Tinggi	Sangat Lambat	Sangat Dekat	Sangat Tinggi
106	Sangat Tinggi	Lambat	Sangat Jauh	Tinggi
107	Sangat Tinggi	Lambat	Jauh	Sangat Tinggi
108	Sangat Tinggi	Lambat	Sedang	Sangat Tinggi
109	Sangat Tinggi	Lambat	Dekat	Sangat Tinggi
110	Sangat Tinggi	Lambat	Sangat Dekat	Sangat Tinggi
111	Sangat Tinggi	Sedang	Sangat Jauh	Sangat Tinggi
112	Sangat Tinggi	Sedang	Jauh	Sangat Tinggi
113	Sangat Tinggi	Sedang	Sedang	Sangat Tinggi
114	Sangat Tinggi	Sedang	Dekat	Sangat Tinggi
115	Sangat Tinggi	Sedang	Sangat Dekat	Sangat Tinggi
116	Sangat Tinggi	Cepat	Sangat Jauh	Sangat Tinggi
117	Sangat Tinggi	Cepat	Jauh	Sangat Tinggi
118	Sangat Tinggi	Cepat	Sedang	Sangat Tinggi
119	Sangat Tinggi	Cepat	Dekat	Sangat Tinggi
120	Sangat Tinggi	Cepat	Sangat Dekat	Sangat Tinggi
121	Sangat Tinggi	Sangat Cepat	Sangat Jauh	Sangat Tinggi
122	Sangat Tinggi	Sangat Cepat	Jauh	Sangat Tinggi
123	Sangat Tinggi	Sangat Cepat	Sedang	Sangat Tinggi

<i>Rules</i>	<i>Slip</i>	<i>Kecepatan</i>	<i>Jarak</i>	<i>Tekanan Rem</i>
124	Sangat Tinggi	Sangat Cepat	Dekat	Sangat Tinggi
125	Sangat Tinggi	Sangat Cepat	Sangat Dekat	Sangat Tinggi

3.4.2 Defuzzyfikasi

Defuzzifikasi adalah tahapan akhir dalam sistem inferensi *fuzzy* yang bertujuan untuk mengubah keluaran *fuzzy* (*fuzzy output*) yang diperoleh dari proses komposisi aturan menjadi sebuah nilai tegas (*crisp*). Nilai tegas inilah yang akan digunakan sebagai hasil akhir dari sistem. Pada sistem ini, metode *defuzzifikasi* yang digunakan adalah Metode *Center of Area* (COA) atau sering juga disebut Metode *Centroid*. Metode ini bekerja dengan cara menghitung titik pusat dari daerah *fuzzy* yang terbentuk setelah tahap inferensi dan komposisi. Nilai tegas yang dihasilkan merupakan representasi terbaik dari himpunan *fuzzy* keluaran.

3.5 Integrasi Fuzzy dan Simulator

Integrasi antara sistem logika *fuzzy* yang dirancang di Python dengan simulator *dump truck* yang dibangun menggunakan Unity merupakan komponen krusial dalam penelitian ini. Komunikasi antara kedua platform ini diwujudkan melalui arsitektur *client-server* menggunakan protokol TCP/IP, yang memungkinkan pertukaran data secara *real-time*. Siklus pengiriman data, pemrosesan, dan penerapan hasil ini terjadi secara terus-menerus selama simulasi berjalan, memastikan bahwa sistem ABS dapat merespons perubahan kondisi secara instan. Arsitektur ini memungkinkan pemisahan antara mesin logika (*fuzzy engine*) dengan lingkungan simulasi (*Unity*), di mana *Python* fokus pada komputasi cerdas sementara *Unity* menangani visualisasi dan fisika kendaraan.

3.6 Pemodelan Truk dan Lingkungan Uji

Pada tahap ini dilakukan pembuatan model truk dan lingkungan tempat uji coba simulasi yang akan dilakukan. Pada pemodelan truk dibuat berdasarkan dengan parameter pada *dump truck* yaitu :

Tabel 3. 4 Parameter *Dump Truck*

No	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Berat Truk	6.500	kg
2.	Konfigurasi Penggerak	6x4 (10)	roda
3.	Jari-jari Roda	0.5	m
4.	Kecepatan Maksimum	85	Km/jam
5.	Daya Angkut	15.000	kg
6.	Transmisi	9 Maju & 1 Mundur	m/s^2

Berdasarkan parameter di atas dibuat model dari *dump truck* yang akan digunakan pada simulator dengan menggunakan *software* desain. Berikut Gambar 3.9 model dari *dump truck* yang akan digunakan pada simulator.



(a)

(b)



(c)

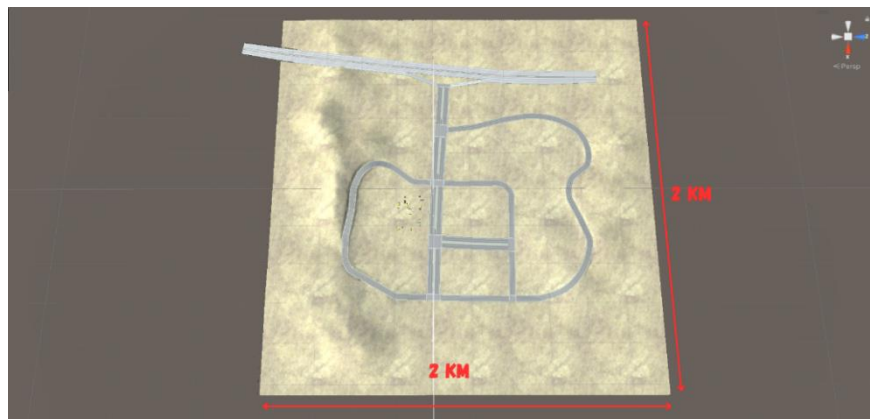
Gambar 3.9 Gambar (a) Truk Tampak Keseluruhan, (b) Truk Tampak Samping, (c) Truk Tampak Depan

Pada Gambar 3.9 merupakan hasil pemodelan dari *dump truck* yang digunakan sebagai penelitian dengan menerapkan sistem kerja dari *dump truck* yang sama dengan yang ada di dunia nyata. Pada pemodelan kendaraan *dump truck* tersebut akan diberikan sistem ABS yang akan mendukung penelitian ini sebagai objek utama dalam pengujian pembuatan sistem ABS dengan *fuzzy logic* tersebut. Truk tersebut mengambil pemodelan truk di dunia nyata yaitu truk Hino FM 260 JD.

Selain desain pemodelan kendaraan, terdapat pula desain dari lingkungan tempat uji kendaraan yang dapat dilihat pada Gambar 3.10.



(a)



(b)

Gambar 3. 10 (a) Kondisi Lingkungan Uji, (b) Pemodelan Lingkungan Uji

Pada Gambar 3.10 menunjukkan kondisi lingkungan yang digunakan dalam pengujian dengan adanya elemen seperti jalan aspal, jalan trotoar dan beberapa kendaraan berat. Kondisi lingkungan tersebut dirancang untuk menyerupai kondisi yang ada di dunia nyata yaitu lingkungan konstruksi atau juga pertambangan guna meningkatkan akurasi pada pengujian sistem *Anti-lock Braking System*. Lingkungan tersebut berukuran 2 x 2 km².

3.7 Pengujian Sistem

Pada tahap pengujian sistem dilakukan beberapa pengujian dan lokasi pengujian sistem yang dilakukan di Laboratorim Teknik Kendali Universitas Lampung. Adapun tabel pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.5 adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 5 Pengujian Sistem

No	Jenis Pengujian	Indikator Keberhasilan	Keterangan
1.	Pengujian sistem <i>fuzzy logic</i> pada simulator.	Sistem berhasil terintegrasi dengan simulator dan memberikan <i>output</i> sesuai dengan rancangan.	Menguji apakah sistem <i>fuzzy logic</i> yang telah dirancang berhasil diterapkan pada simulator.
2.	Pengujian sistem pengereman dengan menggunakan ABS dan tidak menggunakan ABS.	ABS berhasil mengatasi roda terkunci dan membuat truk dapan di kendalikan saat pengereman keras.	Pengujian untuk membandingkan apakah sistem ABS yang di pasang pada truk lebih baik dari saat tidak menggunakan ABS.

No	Jenis Pengujian	Indikator Keberhasilan	Keterangan
3.	Pengujian pengereman pada kecepatan kendaraan yang variatif.	Roda tidak terkunci pada setiap pengujian pengereman dengan kecepatan yang variatif.	Menguji tekanan pengereman berdasarkan kecepatan kendaraan.
4.	Pengujian performa sistem dalam kondisi beban variatif.	Roda tidak terkunci pada setiap pengujian pengereman dengan muatan yang variatif.	Pengujian ini sangat penting untuk <i>dump truck</i> yang sering mengangkut beban berat.
5.	Pengujian <i>Stopping Distance</i> saat menggunakan ABS dan juga saat tidak menggunakan ABS.	ABS bekerja lebih baik dengan memperpendek jarak dan waktu pengereman dibandingkan tanpa menggunakan ABS.	Menguji sistem dengan pembacaan jarak pengereman saat kendaraan mulai mengerem hingga berhenti.

Pada Tabel 3.5 merupakan tabel pengujian yang akan dilakukan untuk mengetahui keberhasilan dalam pembuatan sistem. Pada pengujian pertama akan menguji sistem dari *fuzzy* yang telah dirancang langsung pada simulator yang telah dibuat. Lalu terdapat pula pengujian untuk melihat apakah sistem ABS bekerja dalam mencegah roda terkunci pada saat pengereman Pada pengujian pengereman pada kecepatan kendaraan yang variatif akan dilakukan pengujian pada simulasi kendaraan berupa mobil yang telah dibuat pada *software* unity dan akan dilakukan pengujian pada beberapa kecepatan kendaraan seperti pada saat berkecepatan 15 km/jam, 20 km/jam, 25 km/jam, 30 km/jam, 35 km/jam, 40 km/jam, 50 km/jam, dan 60 km/jam. Pengujian tersebut dilakukan pada kendaraan menggunakan *Antilock Braking System* (ABS) dan juga kendaraan tanpa ABS, sehingga dapat dilihat pengaruh ABS yang telah dibuat pada kendaraan. Lalu terdapat pengujian-pengujian performa sistem dalam kondisi beban yang variatif, yaitu uji pengereman

dengan kendaraan yang membawa beban, mengukur sejauh mana sistem ABS dapat mempertahankan performa pengereman yang aman dan efisien saat kondisi beban penuh.. Yang terakhir terdapat pengujian *Stopping Distance* saat menggunakan ABS dan juga saat tidak menggunakan ABS yang juga membandingkan kondisi saat menggunakan ABS dan tanpa ABS, dengan fokus pada pengukuran jarak pengereman sejak kendaraan mulai mengerem hingga berhenti total.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini adalah :

1. Sistem simulator *Antilock Braking System* (ABS) untuk *dump truck* menggunakan metode *Fuzzy Logic* telah berhasil dirancang dan diimplementasikan. Integrasi antara simulator yang dibangun di *Unity* dengan mesin logika *fuzzy* yang berjalan di *Python* berhasil dilakukan melalui komunikasi TCP/IP, memungkinkan pertukaran data secara *real-time* dengan akurasi sebesar 99.8974 %.
2. Terdapat hubungan linear positif antara kecepatan awal kendaraan dan waktu yang dibutuhkan untuk berhenti total menggunakan sistem ABS. Peningkatan kecepatan dari 15 km/jam menjadi 60 km/jam mengakibatkan waktu pengereman bertambah dari 0.859 detik menjadi 4.617 detik. Sehingga didapatkan bahwa kecepatan kendaraan akan mempengaruhi lama waktu berhenti pada saat pengereman.
3. Penambahan beban muatan pada *dump truck* secara signifikan memperpanjang waktu pengereman pada kecepatan konstan 20 km/jam. Waktu berhenti meningkat dari 1.167 detik saat tanpa beban menjadi 2.58 detik saat membawa beban seberat 11.000 kg.
4. Sistem ABS berbasis *fuzzy logic* berhasil mencegah roda terkunci (*wheel lock-up*) selama pengereman mendadak. Hal ini dibuktikan melalui pengujian di mana tanpa ABS, roda kendaraan terkunci total (kecepatan roda 0 km/jam) saat kecepatan kendaraan masih 24.038 km/jam. Sebaliknya, dengan sistem ABS aktif, kecepatan roda terus termodulasi mengikuti penurunan kecepatan kendaraan dan tidak pernah mencapai nol

sebelum kendaraan berhenti sepenuhnya, sehingga kendali atas truk tetap terjaga.

5. Dalam skenario pengujian spesifik (kecepatan 40 km/jam dengan muatan 10.000 kg), sistem ABS menghasilkan jarak berhenti yang sedikit lebih pendek dibandingkan sistem non-ABS. Kendaraan dengan ABS berhenti pada jarak 5.388 meter dalam waktu 3.253 detik, sedangkan kendaraan tanpa ABS berhenti pada jarak 5.873 meter dalam waktu 5.561 detik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem ABS tidak hanya meningkatkan keamanan dengan mencegah roda terkunci, tetapi juga secara terukur mampu mengurangi jarak dan waktu yang dibutuhkan untuk menghentikan kendaraan.

5. 2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem dengan menambahkan lebih banyak variabel masukan pada logika *fuzzy*, seperti koefisien gesek permukaan jalan (kering, basah, berlumpur), sudut kemudi, dan data beban aktual kendaraan untuk menghasilkan keputusan pengereman yang lebih adaptif dan cerdas.
2. Pengujian dapat diperluas untuk mencakup skenario yang lebih beragam di luar lingkungan pertambangan/konstruksi, seperti pada jalan raya dengan kecepatan tinggi, jalan menurun yang curam, atau saat menikung, untuk menguji batas kemampuan dan keandalan sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. P. Budijono, I. N. Sutantra, and A. S. Pramono (2023), “Optimizing regenerative braking on electric vehicles using a model-based algorithm in the antilock braking system”, *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, (14)1, 131–139.
- [2] A. Amirkhani and M. Molaie (2023), “Fuzzy Controllers of Antilock Braking System: A Review,” *Int. J. Fuzzy Syst.*, (25)1, pp. 222–244.
- [3] C. J. García Torres, L. A. Ferré Covantes, C. C. Vaca García, J. C. Estrada Gutiérrez, A. Navarrete Guzmán, and C. Acosta Lúa (2022), “A Lyapunov Stability Analysis of Modified HOSM Controllers Using a PID-Sliding Surface Applied to an ABS Laboratory Setup,” *Appl. Sci.*, (12)8, 3796.
- [4] P. C. Eze, D. O. Njoku, O. C. Nwokonkwo, C. G. Onukwugha, J. N. Odii, and J. E. Jibiri (2024), “Wheel Slip Equilibrium Point Model Reference Adaptive Control Based PID Controller for Antilock Braking System: A New Approach,” *Int. J. Automot. Mech. Eng.*, (21)3, 11581–11595.
- [5] S. Abd El-Fatah, A.-N. Sharkawy, N. Ghazaly, and A. Moaaz (2021), “A Comparative Study of Different Control Methods for Anti-Lock Braking System (ABS),” *SVU-International J. Eng. Sci. Appl.*, (2)1, 27–34.
- [6] A. U. Darajat, U. Murdika, Y. Yuniati, S. Istiqphara, and M. F. Ferdous (2024), “Antilock Braking System on Industrial Heavy Vehicle Using PID-Based Bang-Bang Control,” *2024 6th Int. Conf. Control Robot. ICCR 2024*, 110–114.

- [7] M. W. P. Adiluhung and D. A. Patriawan (2023), “Pemodelan Anti Lock Breaking System (ABS) dengan Memperhatikan Jarak dan Waktu Pengereman dengan Variasi Penambahan Massa pada Kendaraan,” *SENASTITAN Semin. Nas.* , no. Senastitan , (3), 1–9.
- [8] I. Ramli, A. Amin, and H. Munir (2024), “Pembuatan Sistem Kontrol Fuzzy Logic Pada Mesin Pengering,” *Syntax Lit. ; J. Ilm. Indones.*, (7)9, 15875–15882.
- [9] M. Ulum and D. Arifianto Patriawan (2022), “Modeling and Performance Testing of Anti-Lock Braking System (ABS) with Variation of Road Friction Coefficient to Braking Distance,” *Rekayasa*, (15)3, 340–345
- [10] S. R. Gampa, K. Jasthi, S. Alapati, S. K. Gudey, and V. E. Balas (2023), *Fuzzy Genetic Algorithm Based Antilock Braking System*, Atlantis Press International BV., (3), 13–22..
- [11] L. Lv, J. Wang, and J. Long (2021), “Interval type-2 fuzzy logic anti-lock braking control for electric vehicles under complex road conditions,” *Sustain.*, (13)20, 11531.
- [12] K. Friansa, M. R. Kirom (2015), “Disain Kontrol Slip Mobil Listrik Menggunakan Pid Adaptif Dahlin Indirect,” *eProceedings of Engineering*, (2)1, 579.
- [13] A. S. K. R. Nasution, Gunadi Widi Nurcahyo, and Agung Ramadhanu (2024), “Penerapan Metode Fuzzy Mamdani untuk Mengidentifikasi Kepribadian Siswa,” *J. KomtekInfo*, (11)3, 157–162.
- [14] N. Andriani (2021), “Perancangan Aplikasi Menentukan Jumlah Produksi Roti Dengan Metode Fuzzy Tsukamoto Pada Pt . Chochointi Sejahtera”, *Jurnal Teknik dan Sains Fakultas Teknik Universitas Teknologi Sumbawa*, (2)1, 2721–3188.

- [15] N. I. Syahputri, K. Chiuloto, and N. N. A. Harahap (2022), “Analisa Perbandingan Membership Function Fuzzy Tsukamoto dalam Menentukan Dosen Berprestasi,” *Blend Sains J. Tek.*, (1)2, 164–170.
- [16] Gusti Ngurah Mega Nata and Putu Pande Yudiastra (2022), “Fuzzy Inference System dan Fuzzy Database sebagai Kecerdasan Basis Data untuk Kontrol Stok,” *J. Sist. dan Inform.*, (16)2, 59–67.
- [17] A. K. Nisa, M. Abdy, and A. Zaki (2020), “Penerapan Fuzzy Logic untuk Menentukan Minuman Susu Kemasan Terbaik dalam Pengoptimalan Gizi,” *J. Math. Comput. Stat.*, (3)1, 51–64.
- [18] S. D. Nursyahuda and B. Hariadi (2024), “Rancang Bangun Sistem Pengendalian Kualitas Kondisi Ruangan Ideal Berbasis Arduino Uno Dengan Metode Fuzzy logic,” *J. Tek. Elektro dan Komputasi*, (6,)1, 36–47.
- [19] A. Azizah and F. Fauziah (2020), “Implementasi Logika Fuzzy dalam Mengoptimalkan Persediaan Barang dengan Metode Mamdani,” *STRING (Satuan Tulisan Ris. dan Inov. Teknol.*, (5)1, p. 20–27.
- [20] Normah, B. Rifai, S. Vambudi, and R. Maulana (2022), “Analisa Sentimen Perkembangan Vtuber Dengan Metode Support Vector Machine Berbasis SMOTE,” *J. Tek. Komput. AMIK BSI*, (8)2, 174–180.
- [21] G. Efendi and A. Zahmi (2023), “Sistem informasi Pengolahan Data Pembelian Dan Penjualan Obat Menggunakan Bahasa Pemrograman c# c-(sharp),” *J. Tek. Komputer, Agroteknologi Dan Sains*, (1)2, 266–277.
- [22] X. Le and M. Olia (2023), “Using SolidWorks to improve student’s understanding of typical crystal structures,” *ASEE Annu. Conf. Expo. Conf. Proc.*
- [23] Z. Salsabila and Sriani (2025)), “Penerapan Metode Logika Fuzzy Sugeno untuk Optimasi Stok Sandal,” *Progresif Jurnal Ilmiah Komputer*, (21)1, 156–169.