



TUGAS AKHIR (EE43430)

Rancang Bangun Sistem *Cruise control* Adaptif pada Sepeda Motor Listrik Berbasis *Fuzzy logic*

Muhammad Dandika Suluh Maulana
NRP. 0422040059

Dosen Pembimbing

1. Dr. CATUR RAKHMAD HANDOKO, S.T., M.T.
2. DIMAS PRISTOVANI RIANANDA, S.ST., M.T.

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK KELISTRIKAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK KELISTRIKAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



TUGAS AKHIR

Rancang Bangun Sistem *Cruise control* Adaptif pada Sepeda Motor Listrik Berbasis *Fuzzy logic*

Muhammad Dandika Suluh Maulana
NRP. 0422040059

Dosen Pembimbing

- 1. Dr. CATUR RAKHMAD HANDOKO, S.T., M.T..**
- 2. DIMAS PRISTOVANI RIANANDA, S.ST., M.T.**

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK KELISTRIKAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK KELISTRIKAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

Rancang Bangun Sistem *Cruise control* Adaptif pada Sepeda Motor Listrik Berbasis *Fuzzy logic*

Disusun Oleh:

Muhammad Dandika Suluh Maulana

0422040059

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi D4 Teknik Kelistrikan Kapal
Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 28 Juli 2026
Periode Wisuda : Oktober 2026

Menyetujui,

Dosen Penguji

1. Muhammad Khoirul Hasin, S.Kom., M.Kom.
2. Dwi Sasmita Aji Pambudi, S.T., M.T.
3. Dr. Catur Rakhmad Handoko, S.T., M.T.
4. Urip Mudjiono, S.T., M.T.

NIDN

Tanda Tangan

(0025128802)	(.....)
(0021049206)	(.....)
(0025027303)	(.....)
(0027056803)	(.....)

Dosen Pembimbing

1. Dr. Catur Rakhmad Handoko, S.T., M.T.
2. Dimas Pristovani Riananda, S.ST., M.T.

NIDN

Tanda Tangan

(0025027303)	(.....)
(0031109304)	(.....)

Menyetujui,

Ketua Jurusan

Isa Rachman, S.T., M.T.

NIP. 198008162008121001

Mengetahui,

Koordinator Program Studi

Dr. Yuning Widiarti, S.T., M.T.

NIP. 198005162006042001

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

No. : F.WD L.021

Date : 3 Nopember 2015

Rev. : 01

Page : 1 dari 1

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Dandika Suluh Maulana

NRP. : 0422040059

Jurusan/Prodi : Teknik Kelistrikan Kapal / D4-Teknik Kelistrikan Kapal

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

Rancang Bangun Sistem Cruise control Adaptif pada Sepeda Motor Listrik Berbasis Fuzzy logic

Adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut, maka saya bersedia menerima **sanksi** sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 19 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan,



(Muhammad Dandika Suluh Maulana)

NRP. 0422040059

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Rancang Bangun Sistem *Cruise Control* Adaptif pada Sepeda Motor Listrik Berbasis *Fuzzy Logic*” dengan baik dan tepat pada waktunya. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi D4-Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Dalam proses penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir ini, penulis memperoleh banyak bantuan, dukungan, bimbingan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan yang Maha Esa yang telah memberikan kesehatan , kekuatan , serta kemudahan Kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang senantiasa memberikan doa, dukungan, motivasi, dan kasih sayang sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan dan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak Isa Rachman, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal.
5. Ibu Dr.Yuning Widiarti, ST., MT. selaku Koordinator Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal.
6. Bapak Dr. Catur Rakhmad Handoko, S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing 1 Tugas Akhir yang telah turut sabar membantu, mengarahkan, dan membimbing penulis selama pengerjaan Tugas Akhir.
7. Bapak Dimas Pristovani Riananda, S.ST., M.T. Selaku dosen pembimbing 2 Tugas Akhir yang telah memberikan ide topik tugas akhir dan turut sabar membantu, mengarahkan, serta membimbing penulis selama pengerjaan Tugas Akhir.
8. Rekan-rekan satu penelitian yang telah menemani proses panjang penelitian ini, mulai dari perancangan, perakitan, pengujian, hingga pengambilan data.

Terima kasih atas kerja sama, bantuan, diskusi, dan semangat yang diberikan selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini.

9. Kepada seseorang dengan NIM 431221010 yang pernah hadir dalam perjalanan ini. Terima kasih atas segala hal yang mungkin sederhana bagimu, tetapi memiliki arti yang begitu besar bagi penulis.
10. Seluruh teman - teman Mahasiswa Teknik Kelistrikan Kapal khususnya Angkatan 2022 atas segala bentuk dukungan serta kenangan perjuangan bersama selama menjadi mahasiswa.
11. Keluarga besar NIKKAPALA PPNS, yang telah menjadi bagian dari perjalanan penulis selama masa perkuliahan. Terima kasih atas segala kebersamaan, pengalaman, pembelajaran, dan cerita yang telah menjadi bagian berharga dalam perjalanan penulis.

Surabaya, Agustus 2026
Penulis

Muhammad Dandika Suluh Maulana

Rancang Bangun Sistem *Cruise control* Adaptif pada Sepeda

Motor Listrik Berbasis *Fuzzy logic*

Muhammad Dandika Suluh Maulana

ABSTRAK

Perkembangan sepeda motor listrik mendorong kebutuhan akan sistem pengendalian kecepatan yang mampu meningkatkan kenyamanan, keselamatan, dan efisiensi berkendara. Pengoperasian *throttle* secara manual menyebabkan kecepatan kendaraan sulit dipertahankan secara konstan, terutama saat kondisi lalu lintas dan kemiringan jalan berubah. Penelitian ini bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan menguji sistem *Adaptive Cruise Control* (ACC) berbasis *Fuzzy Logic* pada sepeda motor listrik tanpa memodifikasi *Electronic Control Unit* (ECU). Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor LiDAR TF-LC02 untuk mendeteksi jarak kendaraan di depan, sensor GNSS L86 untuk mengukur kecepatan, sensor MPU6050 untuk mendeteksi kemiringan jalan, serta modul MCP4725 sebagai *Digital to Analog Converter* (DAC) pengendali *throttle*. Metode *Fuzzy Logic* digunakan untuk menentukan sinyal kendali berdasarkan masukan jarak, kemiringan jalan, dan *error* kecepatan. Pengujian meliputi uji komponen, uji fungsional pada jalan datar, menanjak, dan menurun, serta uji konsumsi daya menggunakan sensor PZEM-017 pada berbagai variasi beban dan kecepatan. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mempertahankan kecepatan sesuai *set speed*, menurunkan kecepatan secara bertahap ketika kendaraan memasuki jangkauan deteksi LiDAR hingga 200 cm, mengaktifkan fitur *Safety ON* pada jarak kritis, serta menonaktifkan fungsi *Cruise Control* secara otomatis saat jalan menurun. Penggunaan sistem ACC menghasilkan konsumsi daya rata-rata 786,17 W, lebih rendah dibandingkan metode manual sebesar 865,77 W, sehingga menghemat daya rata-rata 79,60 W atau 9,19%. Hasil penelitian menunjukkan sistem ACC yang dikembangkan mampu meningkatkan kenyamanan, keselamatan, dan efisiensi penggunaan daya pada sepeda motor listrik.

Kata kunci: *Cruise control* Adaptif, Sepeda Motor Listrik, *Fuzzy logic*, MCP4725, ESP32

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Design and Development of a Fuzzy Logic-Based Adaptive Cruise Control System for Electric Motorcycles

Muhammad Dandika Suluh Maulana

ABSTRACT

The development of electric motorcycles has increased the need for speed control systems that improve riding comfort, safety, and energy efficiency. Manual throttle operation makes it difficult to maintain a constant vehicle speed, particularly under varying traffic conditions and road inclinations. This study aims to design, implement, and evaluate a Fuzzy Logic-based Adaptive Cruise Control (ACC) system for an electric motorcycle without modifying the Electronic Control Unit (ECU). The proposed system employs an ESP32 microcontroller, a TF-LC02 LiDAR sensor to detect the distance to the preceding vehicle, an L86 GNSS sensor to measure vehicle speed, an MPU6050 sensor to detect road inclination, and an MCP4725 module as a Digital-to-Analog Converter (DAC) for throttle control. The Fuzzy Logic method determines the control signal based on three input variables: vehicle distance, road inclination, and speed error. The system was evaluated through component testing, functional testing on flat, uphill, and downhill roads, and power consumption testing using a PZEM-017 sensor under various vehicle loads and speed conditions. The results show that the system successfully maintains the predefined set speed, gradually reduces vehicle speed when the preceding vehicle enters the LiDAR detection range of up to 200 cm, activates the Safety ON feature at a critical distance, and automatically disables the Cruise Control function on downhill roads. The ACC system achieved an average power consumption of 786.17 W, which is lower than the manual control method at 865.77 W, resulting in an average power saving of 79.60 W (9.19%). Overall, the developed ACC system effectively improves riding comfort, safety, and energy efficiency for electric motorcycles.

Keywords: *Adaptive cruise control, Electrical motorcycle, Fuzzy logic, MCP4725, ESP32*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR GAMBAR.....	xxiii
DAFTAR NOTASI.....	xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Kajian Penelitian Terdahulu	5
2.2 Landasan Teori	8
2.2.1 Sistem <i>Cruise control</i>	9
2.2.2 Adaptipve <i>Cruise control</i>	9
2.2.3 Prinsip Kerja <i>Cruise control</i> Adaptif.....	10
2.2.4 Fuzzy logic	10
2.2.5 Konsep Dasar Fuzzy logic	11

2.2.6	<i>Fuzzification</i>	12
2.2.7	Inferensi <i>Fuzzy</i>	12
2.2.8	<i>Defuzzification</i>	12
2.2.9	Metode Defuzzifikasi <i>Centroid</i>	13
2.2.10	Alasan Pemilihan Metode <i>Centroid</i>	13
2.2.11	<i>Fuzzy logic</i> sebagai Pengendali Kecepatan.....	14
2.3	Analisis dan Energi Kendaraan Listrik.....	14
2.3.1	Tegangan Listrik	14
2.3.2	Arus Listrik	15
2.3.3	Daya Listrik	15
2.3.4	Energi Listrik	15
2.3.5	Konsumsi Energi Kendaraan Listrik.....	16
2.4	Sistem Kendali Loop Tertutup (<i>Closed-Loop Control System</i>).....	16
2.5	Komponen Utama Sepeda Motor Listrik	17
2.6	Alat dan Bahan.....	18
2.6.1	Sepeda Motor Listrik	18
2.6.2	Motor <i>Brushless Direct Current</i> (BLDC).....	19
2.6.3	Baterai	21
2.6.4	<i>Battery Management System</i> (BMS)	23
2.6.5	<i>Kontroler/Pengendali</i>	24
2.6.6	<i>Throttle</i>	25
2.6.7	ESP-32	25
2.6.8	Sensor TF LC02 2M LiDAR Distance Module	26
2.6.9	Sensor GPS GNSS L86.....	28
2.6.10	MPU-6050.....	29
2.6.11	Buzzer	30

2.6.12	Nextion Display	30
2.6.13	MCP4725.....	31
2.6.14	PZEM 017	33
2.6.15	Modul Relay 5V 1 Chanel Low.....	33
2.6.17	Modul SD-Card Reader	34
2.6.18	Dioda 1n4007	35
2.6.19	Push Button Switch Self-Locking (Push On–Push Off).....	37
2.6.20	Anatena GPS Aktif 1575.42Mhz.....	37
2.6.21	DC-DC Step Down Converter 60V ke 12V.....	38
2.6.15	Arduino IDE	39
2.6.15	MATLAB 2018 (Matrix Laboratory).....	40
2.3	Persentase Error Total	41
BAB 3 METODE PENELITIAN		43
3.1	Konsep Penelitian	43
3.2	Tahapan Penelitian	44
3.2.1	Identifikasi Masalah dan studi Literatur.....	44
3.2.2	Perumusan Tujuan dan Metode	45
3.2.3	Perancangan sistem.....	45
3.2.4	Perakitan Alat	45
3.2.5	Pemograman dan Implementasi.....	46
3.2.6	Pengujian Sistem	46
3.2.7	Analisis dan Pembahasan	46
3.3	Perencanaan dan Desain	46
3.3.1	Prinsip Kerja Sistem	47
3.3.2	Diagram Alir Cara Kerja Sistem	48
3.3.3	Diagram Alir Sensor Lidar TF-LC02	49

3.3.4	Diagram Alir Sensor GPS GNSS L86	50
3.3.5	Diagram Alir Sensor MPU6050.....	51
3.3.6	Diagram Alir Sensor PZEM-017 dan Logger Data	52
3.3.7	Analisis Kebutuhan Sistem	52
3.3.8	Perencanaan Perangkat keras	53
3.4	Wiring Diagram perangkat keras	54
3.4.1	Wiring Diagram Sensor Lidar TF-LC02.....	55
3.4.2	Wiring Diagram GPS GNSS L86	56
3.4.3	Wiring Diagram sensor MPU6050 ke sensor ESP32	57
3.4.4	Wiring Diagram Battery	58
3.4.5	Wiring Diagram Battery Management System (BMS).....	59
3.4.6	Wiring Diagram Nextion Display ke ESP32	60
3.4.7	Wiring Diagram PZEM-017	61
3.5	Perencanaan Desain Skematik <i>Printed Circuit Board (PCB)</i>	62
3.5.1	Perencanaan <i>Layout</i> Desain PCB.....	65
3.6	Perencanaan Desain Alat	66
3.6.1	Perencanaan Desain Tampilan pada Nextion.....	67
3.8	Rencana Pengujian Pengujian Parsial	67
3.8.1	Tujuan Pengujian Parsial	67
3.8.2	Skenario Pengujian Parsial Tegangan Baterai	68
3.8.3	Skenario Pengujian Parsial Sensor GPS GNSS L86.....	68
3.7.4	Skenario Pengujian Parsial Sensor LIDAR TF-LC02	69
3.8.5	Skenario Pengujian Parsial Sensor <i>Inclinometer</i> MPU6050.....	70
3.8.6	Skenario Pengujian Modul MCP4725	71
3.8.7	Skenario Pengujian HMI Nextion <i>Display</i>	72

3.8.8	Skenario Pengujian Tegangan Signal <i>Throttle</i> dari Sepeda Motor Listrik	72
3.8.9	Skenario Pengujian Sensor PZEM-017	73
3.8.10	Skenario Pengujian SD-Card sebagai <i>Data Logger</i>	73
3.8.11	Skenario Simulasi <i>Fuzzy logic</i> Sistem Cruise Control pada Software MATLAB Toolbox.....	74
3.9	Skenario Pengujian Sistem Daya Kendaraan Listrik.....	75
3.9.1	Pengujian Sistem Daya	75
3.9.2	Konfigurasi Sistem Pengujian	76
3.9.3	Skenario Pengujian Tanpa <i>Cruise control</i>	76
3.9.4	Skenario Pengujian Dengan <i>Cruise control</i>	76
3.9.5	Metode Analisis Daya dan Efisiensi	77
3.9.6	Perencanaan Perhitungan Kecepatan Kendaraan	78
3.10	Penerapan Metode <i>Fuzzy logic</i>	78
3.11	Perancangan <i>Variabel Input dan Output</i>	80
3.11.1	Variabel Jarak	80
3.11.2	Variabel Kemiringan	81
3.11.3	Variabel Kecepatan.....	82
3.11.4	Variabel <i>Output</i> Tegangan <i>Throttle</i>	83
3.12	Inferensi Fuzzy	85
3.13	Defuzzification	87
3.14	Skenario Simulasi <i>Fuzzy logic</i> pada Software Matlab <i>Fuzzy logic Toolbox</i>	88
3.15	Variabel Pengujian Untuk Menganalisis Penggunaan Daya dan Energi	89
3.15.1	Variabel Beban (bobot)	89

3.15.2 Variabel Kecepatan.....	90
3.15.3 Jarak Tempuh.....	90
3.16 Skenario Pengambilan Data Pengujian Konsumsi Daya	91
3.16.1 Skenario Pengujian pada Kondisi Jalan Datar	91
3.16.2 Skenario Pengujian pada Kondisi Jalan Menanjak dan Menurun.....	92
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	95
4.1 Pendahuluan.....	95
4.2 Implementasi Mekanik.....	95
4.2.1 Realisasi Desain Alat	95
4.2.2 Realisasi Desain <i>Printed Circuit Board</i> (PCB)	97
4.2.3 Pengujian Tegangan <i>Power Supply</i> dari PCB.....	97
4.3 Pengujian Parsial.....	100
4.3.1 Pengujian Tegangan Baterai	100
4.3.2 Pengujian Sensor GPS L86 untuk membaca kecepatan kendaraan	102
4.3.3 Pengujian Sensor LiDAR TF-LC02.....	103
4.3.4 Pengujian Sensor MPU6050	105
4.3.5 Pengujian Modul MCP4725 Sebagai Pengganti <i>Throttle</i>	107
4.3.6 Pengujian HMI Nextion	108
4.3.7 Pengukuran Tegangan Sinyal dari <i>Throttle</i> Sepeda Motor Listrik	109
4.3.8 Pengujian Sensor PZEM-07	110
A. Pengujian Arus dari PZEM017 (Ampere)	111
B. Pengujian Tegangan dari PZEM017 (Volt)	111
C. Pengujian Daya dari PZEM017 (Watt)	112
4.3.9 Pengujian SD-Card Reader Module.....	113
4.3.10 Pengujian <i>Push Button Switch Self Lock</i>	114
4.3.11 Pengujian Step Down Converter 60V ke 12V	115

4.3.12	Pengujian Relay 5V 1 Channel.....	116
4.4	Perbandingan Simulasi <i>Output Fuzzy logic</i> MATLAB dan ESP32	117
4.4.1	Perbandingan Hasil Simulasi pada ESP32 dan Hardware.....	120
4.4.2	Konversi Nilai Digital DAC Menjadi Tegangan Analog.....	121
4.5	Perhitungan Manual <i>Fuzzy logic</i>	123
4.5.1	Fuzzifikasi	123
4.5.2	Inferensi (Evaluasi Aturan Fuzzy dan Implikasi).....	128
4.5.3	Defuzzifikasi.....	129
4.6	Pengujian Aktivasi Sistem <i>Cruise Control</i>	131
4.7	Pengujian Pembatalan (<i>Cancel</i>) <i>Cruise Control</i>	132
4.8	Pengujian Respons Sistem terhadap Kendaraan di Depan	133
4.8.2	Pengujian Respons Penurunan Kecepatan terhadap Perubahan Jarak Objek pada Kondisi Nyata di Lapangan (<i>Outdoor</i>).....	135
4.9	Pengujian Sistem pada Jalan Menanjak dan Menurun	137
4.9.1	Hasil Pengujian Sistem.....	138
4.10	Pengujian Konsumsi Daya Tanpa Menggunakan Sistem <i>Cruise control</i>	139
4.10.1	Pengujian Konsumsi Daya Menggunakan Sistem <i>Cruise control</i>	141
4.11	Perbandingan Konsumsi Daya	142
4.11.2	Analisis Penurunan Konsumsi Daya dan Efisiensi Sistem <i>Adaptive cruise control</i> Berbasis <i>Fuzzy logic</i>	143
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	147
5.1	Pendahuluan	147
5.2	Kesimpulan.....	147
5.3	Saran	148
	DAFTAR PUSTAKA.....	151

Lampiran.....	153
BIODATA MAHASISWA.....	157

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu	8
Tabel 2. 2 Spesifikasi Sepeda Motor Listrik Viar Q1	19
Tabel 2. 3 Tabel spesifikasi Motor BLDC tipe BOSCH-800watt	21
Tabel 2. 4 Tabel spesifikasi baterai LG 21700	22
Tabel 2. 5 Tabel spesifikasi BMS Daly 30Ah.....	24
Tabel 2. 6 Tabel Spesifikasi VOTOL-EM30S	25
Tabel 2. 7 Tabel Spesifikasi ESP32	26
Tabel 2. 8 Tabel Spesifikasi TF-LC02.....	28
Tabel 2. 9 Tabel Spesifikasi GNSS L86	28
Tabel 2. 10 Tabel Spesifikasi MPU6050	29
Tabel 2. 11 Tabel Spesifikasi Nextion Display.....	31
Tabel 2. 12 Tabel Spesifikasi MCP4725.....	32
Tabel 2. 13 Tabel spesifikasi PZEM-017.....	33
Tabel 3. 1 Tabel Komponen yang Dibutuhkan	53
Tabel 3. 2 wiring sensor lidar ke esp32.....	56
Tabel 3. 3 Wiring GPS GNSS L86 ke ESP32.....	57
Tabel 3. 4 Wiring MPU6050 ke ESP32	58
Tabel 3. 5 Tabel perencanaan Wiring Nextion Display ke ESP32	61
Tabel 3. 6 Wiring PZEM-017 ke ESP32.....	61
Tabel 3. 7 Tabel Rule Base	86
Tabel 4. 1 Keterangan Legenda	96
Tabel 4. 2 Tabel Pengujian Tegangan Catu Daya VCC (5V) dan VDD (3.3V) ...	99
Tabel 4. 3 Data hasil pengujian pengukuran tegangan baterai.....	101
Tabel 4. 4 Data hasil pengujian kecepatan menggunakan GPS dan speedometer	102
Tabel 4. 5 Hasil perbandingan sensor lidar dan meteran	104
Tabel 4. 6 Tabel perbandingan Sensor MPU6050 dan Inclinometer Digital	106
Tabel 4. 7 Tabel hasil pengujian Modul MCP4725	108
Tabel 4. 8 Tabel Hasil Pengujian HMI Nextion	109
Tabel 4. 9 Tabel Pengukuran tegangan sinyal	110

Tabel 4. 10 Pengujian Arus	111
Tabel 4. 11 Pengujian Tegangan	111
Tabel 4. 12 Pengujian Daya.....	112
Tabel 4. 13 Tabel Perbandingan Data Logger	113
Tabel 4. 14 Tabel Pengujian Button	114
Tabel 4. 15 Pengukuran Tegangan Output dari Converter	116
Tabel 4. 16 Pengujian Relay 5V	117
Tabel 4. 17 Perbandingan nilai Output tegangan dari simulasi Matlab dan Arduino IDE	118
Tabel 4. 18 Perbandingan Nilai pada Serial Monitor dan Tegangan Aktual.....	120
Tabel 4. 19 Nilai Input.....	123
Tabel 4. 20 Variabel jarak	124
Tabel 4. 21 Variabel Kemiringan	125
Tabel 4. 22 Variabel Error Kecepatan	125
Tabel 4. 23 Derajat Keanggotaan Hasil Fuzzifikasi	126
Tabel 4. 24 Potongan Basis Aturan untuk Jarak = Dekat.....	128
Tabel 4. 25 Sampel Perhitungan Centroid pada Rentang Aktif [3,0 – 4,0] V	130
Tabel 4. 26 Tabel Pengujian Aktivasi Sistem Cruise Control	131
Tabel 4. 27 Pengujian Pembatalan	132
Tabel 4. 28 Hasil Pengujian Indoor	134
Tabel 4. 29 Hasil Pengujian Respon Sistem.....	136
Tabel 4. 30 Tabel Karakteristik Jembatan	138
Tabel 4. 31 Hasil Pengujian.....	138
Tabel 4. 32 Hasil Pengujian Konsumsi Daya Tanpa Menggunakan Sistem Cruise control.....	140
Tabel 4. 33 Hasil Pengujian Konsumsi Daya Menggunakan Sistem Cruise control	141
Tabel 4. 34 Tabel hasil perbandingan konsumsi daya.....	142
Tabel 4. 35 Hasil Perhitungan Penurunan Konsumsi Daya dan Efisiensi Sistem	143

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi Cruise control adaptif	9
Gambar 2. 2 <i>Fuzzy logic</i>	11
Gambar 2. 3 Komponen utama sepeda motor listrik	17
Gambar 2. 4 Sepeda motor listrik merk Viar Q1	19
Gambar 2. 5 Motor BLDC	20
Gambar 2. 6 Baterai Lithium-ion.....	21
Gambar 2. 7 Battery management sistem	23
Gambar 2. 8 Kontroler Sepeda motor listrik.....	24
Gambar 2. 9 Throttle Pada sepeda motor listrik	25
Gambar 2. 10 ESP32	26
Gambar 2. 11 Sensor TF-LC02.....	27
Gambar 2. 12 Sensor GPS GNS L86	28
Gambar 2. 13 MPU-6050.....	29
Gambar 2. 14 Buzzer.....	30
Gambar 2. 15 Nextion Display.....	31
Gambar 2. 16 Komponen MCP4725.....	32
Gambar 2. 17 Pzem-017.....	33
Gambar 2. 18 Modul Relay 1 chanel Low	34
Gambar 2. 19 Modul SD-Card Reader.....	35
Gambar 2. 20 Dioda 1n4007	36
Gambar 2. 21 Push Button Switch Self Lock	37
Gambar 2. 22 Antena GPS Aktif 1575.42Mhz	38
Gambar 2. 23 Step Down Converter 60V ke 12V	39
Gambar 2. 24 Tampilan Software Arduino IDE	40
Gambar 2. 25 Matlab 2018a.....	40
Gambar 2. 26 ToolBox <i>Fuzzy logic</i> di MATLAB	41
Gambar 3. 1 flowchart tahapan penelitian	44
Gambar 3. 2 Prinsip kerja sistem dalam Blok diagram.....	47
Gambar 3. 3 Flowchart Kerja Sistem.....	48
Gambar 3. 4 Diagram Alir Sensor Lidar TF-LC02.....	49

Gambar 3. 5 Diagram Alir Sensor GPS.....	50
Gambar 3. 6 Diagram Alir Sensor MPU6050	51
Gambar 3. 7 Diagram Alir Sensor PZEM dan Logger Data	52
Gambar 3. 8 Perencanaan Perangkat keras.....	53
Gambar 3. 9 Wiring ESP32 ke Sendor Lidar	55
Gambar 3. 10 Wiring ESP32 ke Sensor GPS GNSS L86	56
Gambar 3. 11 Wiring ESP32 ke Sensor MPU-6050	57
Gambar 3. 12 Wiring Batterai	58
Gambar 3. 13 Wiring Battery Management System.....	59
Gambar 3. 14 Wiring ESP32 ke Nextion Display	60
Gambar 3. 15 Wiring Diagram Sensor PZEM-017	61
Gambar 3. 16 Desain PCB Input dan Output	62
Gambar 3. 17 Desain Skematik Power Supply.....	63
Gambar 3. 18 Desain Skematik Komunikasi dan GPS	63
Gambar 3. 19 Desain Skematik Sensor MPU6050.....	64
Gambar 3. 20 Desain Skematik SD-Card Reader.....	64
Gambar 3. 21 Perencanaan Layout.....	65
Gambar 3. 22 Perencanaan Desain Alat	66
Gambar 3. 23 Perencanaan tampilan Nextion	67
Gambar 3. 24 Pengujian Baterai.....	68
Gambar 3. 25 Pengujian Sensor GPS GNSS L86	69
Gambar 3. 26 Pengujian Sensor LIDAR TF-LC02	70
Gambar 3. 27 Pengujian sensor MPU6050	70
Gambar 3. 28 Pengujian Signal DAC MCP4725 sebagai pengganti Throttle.....	71
Gambar 3. 29 Pengujian Nextion Display	72
Gambar 3. 30 Pengujian Sensor PZEM-017	73
Gambar 3. 32 Pengujian SD-card sebagai Data Logger.....	74
Gambar 3. 33 Blok Diagram Perencanaan Fuzzy.....	79
Gambar 3. 34 Membership function input jarak	80
Gambar 3. 35 Membership Function Input Kemiringan	81
Gambar 3. 36 Membership Function Error kecepatan	82
Gambar 3. 37 Membership Function Output.....	83

Gambar 3. 38 <i>Fuzzy logic</i> ToolBox pada Matlab	88
Gambar 3. 39 lintasan yang digunakan pada pengujian kondisi jalan datar. (Sumber: GoogleMaps, Diakses 2026)	91
Gambar 3. 40 Lintasan yang Digunakan pada Pengujian Jalan Menanjak (Sumber: GoogleMaps, Diakses 2026)	92
Gambar 4. 1 Desain dan Realisasi Desain Mekanik	96
Gambar 4. 2 Realisasi Desain PCB.....	97
Gambar 4. 3 Pengujian Tegangan Catu Daya 5V	98
Gambar 4. 4 Pengujian Tegangan Catu Daya 3.3V	99
Gambar 4. 5 Pengujian Tegangan baterai menggunakan Voltmeter dan Multimeter	101
Gambar 4. 6 Grafik hasil perbandingan pengukuran tegangan baterai	101
Gambar 4. 7 Pengujian GPS GNSS L86.....	102
Gambar 4. 8 Grafik hasil perbandingan antara GNSS L86 dan Speedometer	103
Gambar 4. 9 Pengujian Sensor LIDAR TF-LC02.....	104
Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan antara TF-LC02 dan Meteran	104
Gambar 4. 11 Pengujian Sensor MPU6050	105
Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan antara MPU6050 dan Inclinometer Digital	106
Gambar 4. 13 Pengujian Modul MCP4725.....	107
Gambar 4. 14 Pengujian HMI Nextion	109
Gambar 4. 15 Pengukuran Tegangan Sinyal Throttle dan RPM	110
Gambar 4. 16 Pengujian Tegangan dan Arus Sensor PZEM.....	110
Gambar 4. 17 Hasil data pada File CSV dan Serial Monitor	113
Gambar 4. 18 Pengujian Button	114
Gambar 4. 19 Pengujian Converter 60V ke 12V	115
Gambar 4. 20 Pengujian Relay 5V 1 Channel	117
Gambar 4. 21 Hasil Simulasi Output Dari Toolbox Fuzzy Matlab.....	118
Gambar 4. 22 Hasil Simulasi Output Dari Serial Monitor Arduino IDE.....	118
Gambar 4. 23 Grafik Perbandingan Output Fuzzy Matlab dan Arduino IDE	119
Gambar 4. 24 Tegangan dari MCP4725 dan Serial Monitor	120
Gambar 4. 25 Grafik Perbandingan Tegangan dan Serial Monitor	121
Gambar 4. 26 Pengujian Aktivasi Sistem Cruise Control.....	131

Gambar 4. 27 Pengujian Pembatalan Sistem.....	132
Gambar 4. 28 Pengujian Respon Sistem Terhadap Kendaraan di Depan di Dalam Ruangan(indoor).....	134
Gambar 4. 29 Pengujian Respon Sistem terhadap Kendaraan di Depan diluar Ruangan(oudoor).....	135
Gambar 4. 30 Pengujian Pada Jalan Menanjak dan Menurun.....	137

DAFTAR NOTASI

Notasi		Arti
V	:	Tegangan (Volt)
I	:	Arus (Ampere)
P	:	Daya (Watt)
E	:	Energi (Watt-hour)
t	:	Waktu
v	:	Kecepatan kendaraan
d	:	Jarak kendaraan
θ	:	Sudut kemiringan jalan
e	:	Error kecepatan
DAC	:	Nilai keluaran Digital to Analog Converter
VDAC	:	Tegangan keluaran MCP4725
VTPS	:	Tegangan throttle

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi kendaraan listrik mengalami kenaikan pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan terhadap transportasi yang efisien dan ramah lingkungan. Pada tahun 2023, penjualan kendaraan listrik global telah mencapai lebih dari 14 juta unit dan diperkirakan akan terus mengalami kenaikan hingga mencapai 68% dari total kendaraan pada tahun 2035 (*International Energy Agency*, 2023). Kenaikan ini menunjukkan bahwa kendaraan listrik dapat menjadi solusi yang berpotensi dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan emisi karbon, meskipun efisiensi energi dan performa motor listrik terus berkembang, aspek kenyamanan dan keamanan berkendara masih menjadi fokus penting dalam pengembangan sistem pengendalian kendaraan, khususnya dalam hal pengaturan kecepatan yang adaptif terhadap kondisi jalan dan beban. Namun, peningkatan jumlah kendaraan listrik ini juga menuntut pengembangan sistem pendukung yang tidak hanya efisien secara energi, tetapi juga aman dan nyaman dalam pengoperasiannya.

Salah satu teknologi yang terus mengalami perkembangan adalah sistem *Cruise control* adaptif (*Adaptive cruise control / ACC*), yaitu sistem pengendalian kecepatan otomatis yang menyesuaikan diri terhadap kondisi sekitar berdasarkan data sensor secara waktu nyata. Di kendaraan roda empat, sistem ini telah teruji mampu mengurangi beban kerja pengemudi dan meningkatkan keselamatan. Akan tetapi, penggunaannya pada sepeda motor listrik masih sangat terbatas karena karakteristik kendaraan roda dua yang lebih sensitif terhadap perubahan keseimbangan, gaya akselerasi, serta kondisi jalan sekitar. Pengendalian kecepatan pada sepeda motor listrik membutuhkan metode yang mampu menangani ketidakpastian sistem dan dinamika kendaraan yang cepat berubah. Logika *fuzzy* muncul sebagai pendekatan yang tepat karena mampu memproses informasi yang tidak pasti, non-linear, dan tidak memerlukan model matematis kendaraan yang kompleks. Penelitian yang dilakukan oleh Shenbagalakshmi et al. (2025) mengungkapkan bahwa penerapan pengendali berbasis fuzzy pada motor *Brushless*

Direct Current (BLDC) mampu menghasilkan kestabilan kecepatan yang lebih baik, respons yang lebih mulus, serta tingkat adaptabilitas yang tinggi terhadap perubahan beban maupun gangguan dari lingkungan luar dibandingkan metode pengendalian konvensional seperti *Proportional Integral Derivative* (PID). Selain aspek kestabilan kecepatan, pengendalian yang adaptif juga berpengaruh terhadap efisiensi pemanfaatan daya listrik dan beban kerja motor BLDC, yang merupakan aspek penting dalam bidang *power engineering*. Keunggulan tersebut menjadikan *Fuzzy logic* sebagai alternatif pengendalian yang sangat potensial untuk digunakan pada sistem pengendalian kecepatan yang menuntut kemampuan kerja adaptif, termasuk pada sepeda motor listrik.

Sebagai upaya memenuhi kebutuhan tersebut, pengembangan sistem *Cruise control* adaptif berbasis *Fuzzy logic* pada sepeda motor listrik menjadi penting untuk dilakukan. Sistem ini dirancang untuk mempertahankan kecepatan kendaraan pada nilai *setpoint* dengan mempertimbangkan masukan sensor yang meliputi *Light Detection and Ranging* (LIDAR) untuk pengukuran jarak depan, sensor kecepatan untuk memantau kecepatan aktual, dan *inclinometer* untuk mendeteksi kondisi tanjakan atau turunan. Data yang diperoleh selanjutnya diolah oleh pengendali berbasis *fuzzy* untuk menghasilkan sinyal *throttle*/bukan gas yang secara otomatis menyesuaikan dengan kondisi permukaan dan situasi jalan. Selain berfungsi meningkatkan kenyamanan selama berkendara, sistem ini turut dilengkapi dengan mekanisme keselamatan, antara lain pemutusan kerja secara otomatis apabila jarak aman tidak tercapai, ketika kendaraan berada pada kondisi turunan yang berpotensi menimbulkan percepatan berlebih, serta saat pengendara melakukan pengereman atau mengoperasikan *throttle* secara manual. Melalui integrasi berbagai fitur tersebut, sistem yang dirancang tidak hanya mampu menjaga kestabilan kecepatan kendaraan, tetapi juga memberikan tingkat perlindungan yang optimal bagi pengendara. Secara menyeluruh, penelitian ini memiliki tingkat urgensi yang signifikan, baik dari perspektif akademik maupun penerapan praktis. Sistem *Cruise control* adaptif berbasis *Fuzzy logic* diharapkan menjadi solusi pengendalian kecepatan yang adaptif, responsif, dan aman bagi sepeda motor listrik, sekaligus berkontribusi terhadap pengembangan teknologi kendaraan listrik cerdas yang lebih maju.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah untuk tugas akhir ini ialah :

1. Bagaimana merancang sistem *Cruise control* adaptif pada sepeda motor listrik menggunakan metode *Fuzzy logic*
2. Bagaimana mengimplementasikan sistem *Cruise control* adaptif pada sepeda motor listrik menggunakan metode *Fuzzy logic*?
3. Bagaimana prinsip kerja MCP4725 dalam mengatur sinyal *throttle* melalui *Digital to Analog Converter* (DAC) berdasarkan kondisi jarak dan kemiringan jalan?
4. Bagaimana pengaruh penggunaan sistem *Cruise Control* terhadap konsumsi daya dan efisiensi energi sepeda motor listrik?

1.3 Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa batasan yang akan membatasi ruang lingkup pembahasan agar tidak terjadi pelebaran pokok masalah. Adapun batasan-batasan yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan pada perancangan dan implementasi sistem *Cruise control* adaptif berbasis *Fuzzy logic* pada sepeda motor listrik bekas yang masih berfungsi dengan baik.
2. Sistem *Cruise control* adaptif dirancang hanya untuk mengatur sinyal *throttle* (besaran tegangan *throttle*) sepeda motor listrik melalui sinyal dari MCP4725 (DAC) dari mikrokontroler ESP-32, tanpa melakukan perubahan atau modifikasi terhadap sistem ECU (*Electronic Control Unit*) bawaan motor.
3. Sistem ini tidak membahas pengereman otomatis (*Automatic braking system*).
4. Kecepatan maksimal untuk penggunaan *Cruise control* dibatasi hanya 40km/jam untuk menjaga keselamatan.
5. Penelitian ini dibatasi pada kondisi ketika kendaraan di depan berada dalam jarak ≤ 200 cm, karena sensor TF LC02 2M LiDAR *Distance Module* yang digunakan tidak mampu mendeteksi objek pada jarak lebih dari 200 cm.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun sistem *Cruise control* adaptif berbasis *Fuzzy logic* pada sepeda motor listrik bekas dengan menggunakan mikrokontroler sebagai pusat pengendali, serta mengintegrasikan sensor jarak dan sensor kemiringan untuk mendeteksi kondisi lingkungan sekitar kendaraan.
2. Mengimplementasikan sistem pengaturan kecepatan adaptif dengan mengontrol sinyal *throttle* menggunakan modul Digital to Analog (DAC) MCP4725 dari mikrokontroler tanpa melakukan perubahan pada sistem ECU bawaan kendaraan, sehingga sistem tetap aman dan kompatibel dengan konfigurasi asli motor listrik.
3. Menganalisis konsumsi daya listrik pada sepeda motor listrik saat menggunakan sistem *Cruise Control* adaptif berbasis *Fuzzy Logic* pada berbagai kondisi kecepatan dan beban kendaraan.
4. Membandingkan konsumsi daya dan efisiensi penggunaan energi antara pengoperasian sepeda motor listrik dengan sistem *Cruise Control* Adaptif berbasis *Fuzzy Logic* dan pengoperasian secara manual tanpa sistem *Cruise Control*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Menambah literatur dan dasar pengembangan tentang kendali otomatis kendaraan listrik, khususnya sepeda motor listrik.
2. Memberikan solusi alternatif bagi pengembangan sistem pengendalian kecepatan otomatis pada sepeda motor listrik tanpa perlu melakukan perubahan atau modifikasi pada ECU bawaan kendaraan.
3. Menjadi referensi akademik bagi mahasiswa, peneliti, dan praktisi yang ingin mempelajari atau mengembangkan sistem kontrol adaptif berbasis kecerdasan buatan pada kendaraan listrik.
4. Menganalisis potensi penghematan energi pada sepeda motor listrik melalui penerapan sistem Adaptive Cruise Control berbasis Fuzzy Logic dalam mengatur kecepatan kendaraan secara adaptif sesuai dengan kondisi berkendara.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai sistem pengendalian kecepatan kendaraan listrik berbasis logika *fuzzy* sudah pernah dilakukan sebelumnya. Meskipun demikian, penelitian ini secara khusus diarahkan pada perancangan dan penerapan sistem *Cruise control* adaptif untuk sepeda motor listrik berbasis *Fuzzy logic* dengan pengaturan *throttle*/bukan gas melalui pengendalian tegangan analog menggunakan modul Digital to Analog (DAC) MCP4725, tanpa melakukan modifikasi terhadap *Electronic Control Unit* (ECU) bawaan kendaraan. Selanjutnya beberapa penelitian terdahulu yang memiliki kesamaan disajikan sebagai dasar dalam penyusunan kajian pustaka.

Penelitian pertama dilakukan oleh (Shenbagalakshmi et al., 2025) yang berjudul “*Adaptive Speed Control of BLDC Motor Using Fuzzy logic Kontroler*”. Penelitian ini membahas sistem kontrol kecepatan motor BLDC (*Brushless DC Motor*) dengan menggunakan metode atau pendekatan *Fuzzy logic Kontroler* (FLC) yang dibandingkan dengan kontrol kendali konvensional *Proporsional Integral Derivative* (PID). Berdasarkan hasil simulasi menggunakan MATLAB/Simulink, sistem berbasis *fuzzy* mampu menghasilkan respon kecepatan yang lebih halus, tanpa *overshoot*, dan memiliki waktu tunak sekitar 0,05 detik. Penelitian ini menunjukkan bahwa *Fuzzy logic* memiliki performa yang lebih baik pada sistem kendali nonlinier, khususnya pada motor BLDC. Akan tetapi, penelitian ini hanya dilakukan dalam bentuk simulasi dan belum direalisasikan secara langsung pada kendaraan listrik, sehingga pembahasannya masih berfokus pada pendekatan pemodelan matematis tanpa melibatkan aspek penerapan nyata.

Penelitian kedua yang dilakukan oleh (Saputro et al., 2023) yang berjudul “*Design of an Adaptive cruise control System Using PID Control Method on Electric Vehicle Prototypes*” membahas perancangan sistem *Adaptive cruise control* (ACC) pada prototipe kendaraan listrik dengan menggunakan metode kendali *Proporsional Integral Derivative* (PID). Penelitian ini membahas permasalahan meningkatnya risiko kecelakaan akibat kelelahan pengemudi, serta

perlunya fitur keselamatan aktif yang mampu mengatur kecepatan dan jarak kendaraan secara otomatis. Sistem ACC yang dikembangkan memanfaatkan sensor LiDAR TFMini-Plus sebagai pendeteksi jarak utama. Sensor ini menunjukkan akurasi tinggi dan mampu menyediakan data jarak yang diperlukan untuk penentuan respons kontrol. Setiap nilai kecepatan setpoint diberi batas jarak aman dan jarak minimum. Ketika jarak objek terdeteksi berada di bawah jarak minimum, sistem memerintahkan kendaraan untuk berhenti. Jika jaraknya berada antara jarak minimum dan jarak aman, kontrol PID menyesuaikan *Output throttle* guna mengatur kecepatan. Parameter PID ditentukan melalui proses tuning menggunakan MATLAB dan Simulink. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu merespons perubahan jarak dengan rise time kurang dari dua detik, *overshoot* di bawah tiga persen, serta settling time di bawah dua belas detik. Penelitian ini menegaskan bahwa ACC berbasis PID dapat bekerja stabil pada prototipe kendaraan listrik, meskipun terdapat keterbatasan pada pembacaan encoder kecepatan yang kurang stabil. Secara keseluruhan, studi ini menyajikan implementasi ACC berbasis pengaturan kecepatan dan jarak menggunakan PID dan LiDAR, serta menunjukkan potensi penerapannya sebagai fitur keselamatan kendaraan listrik.

Penelitian ketiga dilakukan oleh (Mao et al., 2021) dengan judul “*Research on Vehicle Adaptive cruise control Method Based on Fuzzy Model Predictive Control*”. mengembangkan sebuah pendekatan *Adaptive cruise control* (ACC) yang mengintegrasikan sensor jarak dengan algoritma kontrol adaptif untuk menjaga kecepatan dan jarak aman kendaraan secara otomatis. Penelitian ini memfokuskan diri pada perancangan sistem yang mampu merespons perubahan kondisi lalu lintas, khususnya ketika kendaraan bergerak mendekati kendaraan lain dengan perbedaan kecepatan. Sistem ACC yang dikembangkan bekerja dengan mengukur jarak relatif menggunakan sensor dan menyesuaikan perintah akselerasi atau deselerasi secara *real-time*. Model kontrol adaptif digunakan untuk mengatasi dinamika kendaraan yang bersifat non-linear, termasuk keterlambatan aktuator serta variasi kondisi akselerasi. Melalui simulasi dan pengujian, penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan jarak aman secara stabil dan menghasilkan error pelacakan yang rendah. Penelitian ini juga menunjukkan kemampuan sistem dalam

mengelola situasi pengereman mendadak pada kendaraan depan, serta kemampuan sistem kembali ke kecepatan referensi setelah kondisi stabil. Integrasi sensor jarak menjadi faktor penting dalam memastikan ketepatan respons kontrol. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan gambaran teknis mengenai bagaimana ACC dapat bekerja efektif melalui kombinasi sensor dan algoritma adaptif yang memperhitungkan dinamika kendaraan secara komprehensif.

Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh (Madhu, 2023) dengan judul “*Design and Implementation of Cruise control for Bikes using Raspberry PI*” membahas perancangan dan implementasi sistem *Cruise control* adaptif (*Adaptive cruise control/ACC*) pada sepeda motor dengan menggunakan Raspberry Pi sebagai pengendali utama. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengembangkan sistem ACC yang mampu menjaga kecepatan kendaraan secara otomatis serta menyesuaikan kecepatan berdasarkan kondisi lalu lintas di depan guna meningkatkan kenyamanan dan keselamatan pengendara. Sistem yang dirancang memanfaatkan sensor ultrasonik sebagai pendeteksi jarak objek di depan kendaraan, serta motor servo yang berfungsi untuk mengendalikan bukaan *throttle* dan mengaktifkan sistem pengereman secara otomatis. Selain itu, sistem dilengkapi dengan beberapa touch sensor yang ditempatkan pada tuas rem depan, rem belakang, dan kopling sebagai mekanisme keselamatan untuk menonaktifkan *Cruise control* secara instan saat terjadi kondisi darurat. Algoritma kontrol yang diterapkan masih berbasis logika sederhana dengan aturan jarak tertentu, di mana kendaraan akan mengurangi kecepatan ketika jarak objek kurang dari 10 meter dan melakukan pengereman otomatis ketika jarak kurang dari 5 meter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu berfungsi sesuai dengan konsep ACC dasar dan berpotensi meningkatkan keselamatan berkendara, namun belum menerapkan metode kontrol cerdas seperti *Fuzzy logic* atau kecerdasan buatan sehingga masih memiliki keterbatasan dalam hal adaptivitas dan presisi pengendalian kecepatan. Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu tersebut dapat diketahui bahwa sebagian besar penelitian *Adaptive cruise control* masih diterapkan pada kendaraan roda empat, prototipe laboratorium, maupun simulasi. Penelitian yang mengimplementasikan sistem *Adaptive cruise control* pada sepeda motor listrik berbasis *Fuzzy logic* tanpa melakukan modifikasi ECU serta mengevaluasi

konsumsi daya kendaraan masih sangat terbatas. Oleh karena itu penelitian ini dikembangkan untuk mengisi kekurangan tersebut. Perbandingan dari ke-empat jurnal dapat dilihat dalam Tabel 2.2 berikut :

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Peneliti & Tahun	Tujuan Penelitian	Metode Kendali	Hasil Utama	Keterbatasan
Saputro et al. (2023)	Merancang <i>Adaptive cruise control</i> (ACC) pada kendaraan listrik berbasis PID untuk mengatur kecepatan dan jarak aman.	PID Kontroler dengan tuning MATLAB/Simulink.	Rise time <2s, overshoot<3%, settling time <12 s, stabil menjaga jarak aman.	Pembacaan encoder kurang stabil, pengujian terbatas pada kecepatan rendah.
Shenbagalakshmi et al. (2025)	Mengembangkan kontrol kecepatan adaptif untuk motor BLDC agar tetap stabil terhadap perubahan beban.	<i>Adaptive Control</i> ; perbandingan dengan PI/PID.	<i>Error steady-state</i> lebih kecil, respons lebih cepat terhadap perubahan beban.	Tidak membahas integrasi dengan kendaraan dan faktor keselamatan.
Mao et al. (2021)	Mengembangkan metode ACC berbasis kontrol adaptif yang mempertahankan jarak aman dalam kondisi lalu lintas dinamis.	<i>Adaptive Control</i> dengan pemodelan dinamika kendaraan.	Menjaga jarak aman secara stabil, <i>error tracking</i> rendah, respons baik pada kondisi mendadak.	Penelitian lebih dominan berbasis simulasi; belum diuji pada kendaraan nyata.
Madhu et al., 2023	Mengembangkan sistem <i>Cruise control</i> adaptif pada sepeda motor untuk menjaga kecepatan kendaraan dan meningkatkan keselamatan berkendara.	Logika sederhana (<i>rule-based control</i>) berbasis Raspberry Pi.	Sistem mampu menjaga kecepatan kendaraan serta melakukan perlambatan dan pengereman otomatis saat objek terdeteksi.	Belum menggunakan metode kendali cerdas dan masih bergantung pada akurasi sensor ultrasonik.

2.2 Landasan Teori

Landasan teori merupakan bagian yang membahas konsep, prinsip, dan teori dasar yang mendukung perancangan serta analisis sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini. Pada subbab ini dijelaskan teori-teori yang berkaitan dengan sistem *Cruise control* adaptif, *Fuzzy logic* sebagai metode pengendali, serta sensor

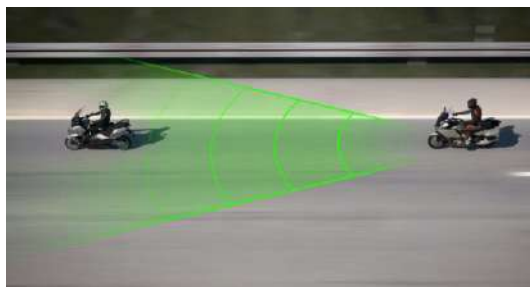
dan aktuator yang digunakan pada sepeda motor listrik. Landasan teori ini digunakan sebagai dasar untuk memahami cara kerja sistem serta sebagai acuan dalam proses perancangan dan pengujian sistem.

2.2.1 Sistem *Cruise control*

Sistem *Cruise control* pada kendaraan merupakan fitur kendali otomatis yang berfungsi untuk menjaga kecepatan kendaraan tetap konstan sesuai dengan nilai yang telah ditetapkan oleh pengemudi tanpa perlu menekan pedal akselerator secara terus-menerus. Ketika sistem diaktifkan, *Cruise control* akan memantau kecepatan kendaraan melalui sensor kecepatan, kemudian mengatur bukaan *throttle* pada kendaraan bermesin konvensional atau mengatur daya motor pada kendaraan listrik agar kecepatan tetap stabil. Sistem ini dirancang untuk bekerja secara otomatis dalam menghadapi gangguan ringan seperti perubahan beban kendaraan atau kondisi jalan yang relatif landai. Penerapan *Cruise control* bertujuan untuk meningkatkan kenyamanan berkendara, mengurangi kelelahan pengemudi, serta membantu menjaga kestabilan kecepatan selama perjalanan jarak jauh, khususnya di jalan tol atau jalan lurus panjang.

2.2.2 *Adaptive Cruise control*

Adaptive cruise control (ACC) merupakan pengembangan dari sistem *Cruise control* konvensional yang dilengkapi dengan kemampuan menyesuaikan kecepatan kendaraan secara otomatis berdasarkan kondisi lalu lintas di depan. Selain menjaga kecepatan, ACC juga berfungsi untuk mempertahankan jarak aman dengan kendaraan di depannya.



Gambar 2. 1 Ilustrasi *Cruise control* adaptif
(sumber: <https://autonetmagz.com>)

Sistem ACC memanfaatkan sensor tambahan seperti radar, LiDAR, atau kamera untuk mendeteksi jarak dan kecepatan relatif kendaraan di depan. Informasi

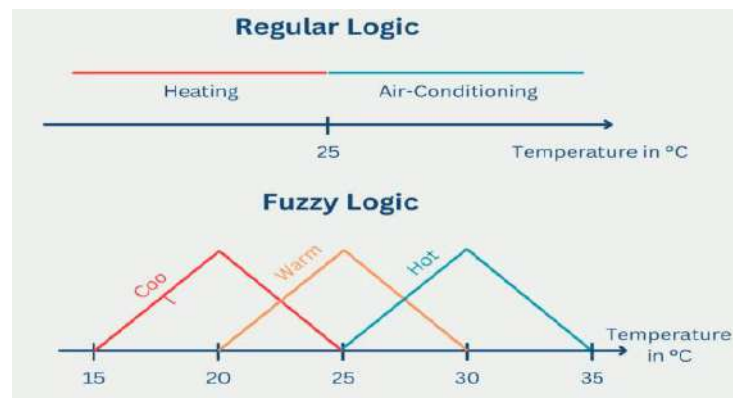
tersebut digunakan oleh sistem kontrol untuk secara otomatis mengurangi atau menambah kecepatan kendaraan, bahkan hingga melakukan perlambatan, tanpa campur tangan langsung dari pengemudi. Dalam kondisi jalan yang padat, ACC mampu menurunkan kecepatan kendaraan ketika jarak dengan kendaraan di depan semakin dekat, dan kembali meningkatkan kecepatan ketika jalan di depan kembali kosong. Dengan demikian, sistem ACC tidak hanya meningkatkan kenyamanan, tetapi juga berkontribusi terhadap keselamatan berkendara dengan mengurangi risiko tabrakan akibat kelalaian pengemudi.

2.2.3 Prinsip Kerja *Cruise control* Adaptif

Prinsip kerja sistem *Cruise control* adaptif didasarkan pada sistem kendali tertutup (*closed-loop control system*). Pengendara terlebih dahulu menentukan nilai kecepatan yang diinginkan sebagai *setpoint*. Sistem kemudian membaca kecepatan aktual kendaraan melalui sensor kecepatan dan membandingkannya dengan nilai *setpoint* tersebut. Selisih antara kecepatan aktual dan kecepatan *setpoint* disebut sebagai error. Nilai error ini selanjutnya diproses oleh pengendali, dalam hal ini menggunakan metode *Fuzzy logic*. Berdasarkan hasil pemrosesan tersebut, sistem akan menghasilkan sinyal kendali berupa penyesuaian bukaan *throttle* untuk menjaga agar kecepatan kendaraan tetap mendekati nilai *setpoint*, meskipun terjadi perubahan kondisi jalan seperti tanjakan atau penurunan beban. Pada *Cruise control* adaptif, sistem juga dilengkapi dengan sensor jarak yang berfungsi untuk mendeteksi keberadaan objek di depan kendaraan. Apabila jarak objek berada di bawah batas aman, sistem secara otomatis akan menonaktifkan *Cruise control* dan memberikan peringatan kepada pengendara sebagai upaya peningkatan keselamatan.

2.2.4 *Fuzzy logic*

Logika *fuzzy* adalah salah satu bentuk logika nonbiner yang pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Berbeda dengan logika klasik yang hanya mengenal dua nilai kebenaran yaitu benar atau salah, logika *fuzzy* memungkinkan suatu pernyataan memiliki tingkat kebenaran yang bervariasi antara 0 dan 1. Dengan konsep ini, logika *fuzzy* mampu merepresentasikan ketidakpastian dan ketidaktepatan yang sering muncul pada sistem nyata.



Gambar 2. 2 Fuzzy logic

(sumber: databasecamp.fuzzy-logic-en)

logika *fuzzy* menggunakan konsep fungsi keanggotaan (*membership function*) untuk menentukan seberapa besar suatu nilai termasuk ke dalam suatu himpunan tertentu. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk mengolah informasi linguistik seperti “kecepatan tinggi”, “suhu rendah”, atau “arus sedang” tanpa harus menggunakan batas numerik yang tegas. Dengan demikian, logika *fuzzy* sangat berguna dalam sistem kendali dan pengambilan keputusan yang kompleks, di mana model matematis yang presisi sulit dibuat. Dalam penerapannya, sistem berbasis logika *fuzzy* umumnya terdiri dari empat tahap utama yaitu *fuzzification*, pembentukan basis aturan (*rule base*), inferensi *fuzzy*, dan *defuzzification*. Tahapan tersebut bekerja secara berurutan untuk mengubah data masukan menjadi keputusan keluaran yang sesuai dengan kondisi sistem. Logika *fuzzy* banyak diterapkan dalam berbagai bidang seperti pengendalian kecepatan kendaraan, sistem pendingin ruangan (HVAC), serta pengaturan daya pada kendaraan listrik, karena kemampuannya dalam menangani variabel yang tidak pasti dan nonlinier (Saatchi, 2024).

2.2.5 Konsep Dasar Fuzzy logic

Logika *fuzzy* merupakan metode pengendalian yang mampu menangani ketidakpastian dan ketidakjelasan informasi di lingkungan nyata dengan memanfaatkan himpunan *fuzzy* dan aturan linguistik (*if-then*). Logika *fuzzy* banyak digunakan pada sistem kendali karena dapat memproses input yang bersifat kabur atau tidak eksak tanpa memerlukan model matematika yang rigid. Suatu *Fuzzy logic kontroler* (FLC) terdiri dari beberapa modul utama, yaitu *fuzzification*, basis aturan

(*rule base*), mesin inferensi (*inference engine*), dan *defuzzification*. Tahapan tersebut bekerja secara berurutan untuk mengubah *input crisp* menjadi nilai kendali *crisp* melalui representasi *fuzzy* dan aturan-aturan yang telah ditentukan sebelumnya.

2.2.6 Fuzzification

Fuzzification merupakan tahap awal dalam sistem *Fuzzy logic*, yaitu proses mengubah nilai masukan tegas (*crisp*) menjadi derajat keanggotaan pada himpunan *fuzzy* tertentu. Variabel masukan yang digunakan pada sistem *Cruise control* adaptif ini adalah error kecepatan dan perubahan error kecepatan. Dalam kendali *fuzzy*, fungsi keanggotaan biasa didefinisikan dalam bentuk segitiga atau trapezoid karena kesederhanaannya dalam perhitungan dan implementasi

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c \\ 0, & x \geq c \end{cases} \quad (2.1)$$

2.2.7 Inferensi Fuzzy

Tahap inferensi merupakan proses pengambilan keputusan berdasarkan aturan fuzzy (*rule base*) yang telah ditentukan. Aturan *fuzzy* disusun dalam bentuk pernyataan *IF-THEN* yang merepresentasikan pengetahuan atau pengalaman pengendalian sistem. Proses inferensi mengombinasikan hasil *fuzzification* untuk menghasilkan keluaran *fuzzy* sesuai dengan aturan yang berlaku.

2.2.8 Defuzzification

Defuzzification merupakan tahap akhir pada sistem *Fuzzy logic* yang berfungsi untuk mengubah keluaran *fuzzy* menjadi nilai tegas (*crisp*) yang dapat digunakan sebagai sinyal kendali. Metode *defuzzification* yang umum digunakan adalah metode *centroid*, karena menghasilkan nilai keluaran yang halus dan stabil. Secara matematis, metode *centroid* dirumuskan sebagai:

$$u = \frac{\sum \mu(x) \cdot x}{\sum \mu(x)} \quad (2.2)$$

Dimana u adalah nilai keluaran tegas dan $\mu(x)$ adalah derajat keanggotaan dari masing masing nilai keluaran *fuzzy*

2.2.9 Metode Defuzzifikasi Centroid

Salah satu metode defuzzifikasi yang paling banyak digunakan adalah metode *Centroid* atau *Center of Gravity* (COG). Metode ini menentukan nilai keluaran berdasarkan titik pusat luas daerah hasil agregasi seluruh fungsi keanggotaan keluaran. Nilai crisp diperoleh dengan menghitung rata-rata berbobot dari seluruh nilai keluaran fuzzy sehingga menghasilkan respon yang lebih halus (*smooth*) dan stabil. Secara matematis, metode centroid dinyatakan sebagai:

$$z = \frac{\int z \cdot \mu(z) dz}{\int \mu(z) dz} \quad (2.3)$$

Dengan:

z = nilai hasil defuzzifikasi

z = variabel keluaran

$\mu(z)$ = derajat keanggotaan keluaran fuzzy

2.2.10 Alasan Pemilihan Metode Centroid

Pada penelitian ini metode *Centroid* dipilih sebagai metode defuzzifikasi karena memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode defuzzifikasi lainnya, seperti *Mean of Maximum* (MOM), *Smallest of Maximum* (SOM), maupun *Largest of Maximum* (LOM). Beberapa alasan pemilihan metode centroid adalah sebagai berikut.

1. Menghasilkan keluaran yang lebih halus (*smooth*) sehingga perubahan tegangan throttle berlangsung secara bertahap tanpa lonjakan yang signifikan.
2. Memanfaatkan seluruh informasi dari fungsi keanggotaan keluaran, sehingga hasil defuzzifikasi lebih representatif dibandingkan metode yang hanya mempertimbangkan nilai maksimum.
3. Mengurangi perubahan kecepatan kendaraan yang mendadak, sehingga meningkatkan kenyamanan dan keselamatan pengemudi pada sistem *Adaptive cruise control*.
4. Memberikan kestabilan pengendalian yang lebih baik ketika kendaraan mengalami perubahan jarak terhadap kendaraan di depan maupun perubahan kemiringan jalan.

5. Merupakan metode defuzzifikasi yang paling umum digunakan pada *Fuzzy logic Controller* sehingga implementasinya didukung oleh berbagai perangkat lunak, termasuk MATLAB *Fuzzy logic Toolbox* dan Arduino.

2.2.11 Fuzzy logic sebagai Pengendali Kecepatan

Fuzzy logic Kontroler (FLC) merupakan metode pengendali pintar yang dirancang untuk merepresentasikan cara berpikir manusia ke dalam bentuk aturan linguistic dan matematis. Metode ini cocok jika diterapkan pada sistem yang bersifat nonlinier, kompleks, atau sulit dimodelkan secara matematis dengan akurat. *Fuzzy logic Kontroler* bekerja berdasarkan aturan *IF-THEN* pada nilai kebenaran pada rentang 0 hingga 1, sehingga dapat menghasilkan keputusan kendali yang lebih fleksibel dibandingkan sistem kendali konvensional. Dalam penerapannya sebagai pengendali kecepatan, *Fuzzy logic Kontroler* digunakan untuk menjaga kecepatan motor agar tetap mendekati nilai setpoint meskipun terjadi perubahan beban. Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan *Fuzzy logic Kontroler* mampu meningkatkan kestabilan sistem dan memperkecil error *steady-state*, sehingga efektif digunakan sebagai pengendali kecepatan motor DC (Soehartono, 2020).

2.3 Analisis dan Energi Kendaraan Listrik

Kendaraan listrik memperoleh energi dari baterai yang kemudian dikonversikan menjadi energi mekanik oleh motor listrik melalui motor *controller*. Selama kendaraan beroperasi, energi listrik yang tersimpan di dalam baterai akan mengalami penurunan seiring dengan besarnya daya yang digunakan oleh motor serta beban kelistrikan lainnya. Oleh karena itu, analisis daya dan energi diperlukan untuk mengetahui karakteristik konsumsi energi kendaraan serta mengevaluasi efisiensi sistem penggerak yang digunakan. Pada kendaraan listrik, parameter utama yang digunakan dalam analisis meliputi tegangan (*Voltage*), arus (*Current*), daya (*Power*), dan energi listrik (*Energy*). Keempat parameter tersebut saling berkaitan dan dapat digunakan untuk mengetahui performa sistem secara keseluruhan.

2.3.1 Tegangan Listrik

Tegangan listrik merupakan beda potensial yang menyebabkan aliran arus listrik pada rangkaian. Pada kendaraan listrik, sumber tegangan berasal dari baterai

yang menyuplai energi menuju motor controller dan motor listrik. Besarnya tegangan baterai akan mengalami perubahan selama proses pengosongan (discharge), sehingga mempengaruhi daya yang dapat disuplai kepada motor. Satuan tegangan dinyatakan dalam Volt (V).

2.3.2 Arus Listrik

Arus listrik merupakan jumlah muatan listrik yang mengalir melalui penghantar setiap satuan waktu. Pada kendaraan listrik, besarnya arus sangat dipengaruhi oleh beban motor. Semakin besar torsi yang dibutuhkan, maka arus yang ditarik dari baterai juga semakin besar. Satuan arus dinyatakan dalam Ampere (A).

2.3.3 Daya Listrik

Daya listrik menunjukkan laju penggunaan energi listrik oleh suatu beban. Pada sistem kendaraan listrik DC, daya dihitung dari hasil perkalian antara tegangan dan arus. Persamaan daya listrik:

$$P = V \times I \quad (2.4)$$

Dengan:

P = Daya (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Nilai daya yang lebih besar menunjukkan konsumsi energi yang lebih tinggi selama kendaraan beroperasi.

2.3.4 Energi Listrik

Energi listrik merupakan total energi yang digunakan selama kendaraan beroperasi dalam selang waktu tertentu. Energi diperoleh dari hasil perkalian daya terhadap waktu penggunaan. Persamaan energi listrik adalah:

$$E = P \times t \text{ atau } E = V \times I \times t \quad (2.5)$$

Dengan:

E = Energi (Wh)

P = Daya (W)

t = Waktu (jam)

Energi listrik merupakan parameter utama dalam menentukan konsumsi baterai pada kendaraan listrik. Semakin kecil energi yang digunakan untuk menempuh jarak tertentu, maka sistem dianggap semakin efisien.

2.3.5 Konsumsi Energi Kendaraan Listrik

Konsumsi energi kendaraan listrik merupakan besarnya energi yang digunakan kendaraan untuk menempuh suatu jarak tertentu. Parameter ini sering digunakan untuk mengevaluasi efisiensi sistem penggerak maupun strategi pengendalian kendaraan. Persamaan konsumsi energi dapat dinyatakan sebagai:

$$\text{Konsumsi Energi} = \frac{E}{S} \quad (2.6)$$

Dengan:

E = Energi listrik (Wh)

S = Jarak tempuh (km)

Satuan yang digunakan adalah Wh/km. Semakin kecil nilai Wh/km, maka semakin efisien penggunaan energi kendaraan listrik.

2.4 Sistem Kendali Loop Tertutup (*Closed-Loop Control System*)

Sistem kendali loop tertutup (*Closed-Loop Control System*) merupakan sistem pengendalian yang menggunakan sinyal umpan balik (*feedback*) dari keluaran sistem untuk dibandingkan dengan nilai acuan (*setpoint*). Hasil perbandingan tersebut menghasilkan sinyal kesalahan (*error*) yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan aksi pengendalian sehingga keluaran sistem dapat mengikuti nilai yang diinginkan. Pada sistem loop tertutup, perubahan kondisi lingkungan maupun gangguan eksternal dapat dikoreksi secara otomatis melalui mekanisme umpan balik. Oleh karena itu, sistem ini memiliki tingkat akurasi, kestabilan, dan kemampuan adaptasi yang lebih baik dibandingkan sistem loop terbuka (*open-loop*), karena keputusan pengendalian selalu didasarkan pada kondisi aktual sistem.

Pada penelitian ini, sistem *Adaptive cruise control* bekerja menggunakan prinsip loop tertutup. Kecepatan kendaraan yang diperoleh dari sensor GPS dibandingkan dengan kecepatan referensi (*set speed*), sedangkan sensor LiDAR digunakan untuk mengukur jarak terhadap kendaraan di depan dan sensor MPU6050 digunakan untuk mendeteksi kemiringan jalan. Ketiga parameter

tersebut diproses menggunakan *Fuzzy logic Controller* untuk menghasilkan sinyal keluaran berupa tegangan throttle melalui modul DAC MCP4725. Selanjutnya perubahan kecepatan kendaraan akan kembali dibaca oleh sensor sehingga proses pengendalian berlangsung secara kontinu hingga diperoleh kondisi yang stabil. Dengan demikian, sistem cruise control adaptif yang dikembangkan memiliki kemampuan untuk menyesuaikan kecepatan kendaraan secara otomatis sesuai kondisi jalan tanpa memerlukan intervensi pengendara secara terus-menerus.

2.5 Komponen Utama Sepeda Motor Listrik

Pada sistem sepeda motor listrik, terdapat beberapa komponen utama yang berperan penting dalam mengonversi energi listrik menjadi energi mekanik untuk menghasilkan gerakan. Setiap komponen memiliki fungsi dan karakteristik tertentu yang saling berkaitan sehingga sistem dapat bekerja secara efisien dan stabil. Komponen-komponen tersebut meliputi sumber energi atau baterai sebagai penyimpan daya, motor listrik sebagai penggerak utama, pengendali motor (*motor kontroler*) yang mengatur kecepatan dan torsi, sistem pengisian (*charger*), serta sistem transmisi dan sensor pendukung. Pemahaman terhadap fungsi dan prinsip kerja dari masing-masing komponen ini sangat penting untuk merancang, menganalisis, maupun mengoptimalkan performa sepeda motor listrik secara keseluruhan. Berikut beberapa bagian komponen utama dari sepeda motor listrik pada gambar dibawah ini



Gambar 2. 3 Komponen utama sepeda motor listrik
(Sumber: <https://unitedmotor.co.id>)

Pada Gambar 2.3 diatas adalah gambar beberapa komponen utama di sepeda motor listrik ,sebagai berikut :

1. Motor *Brushless Direct Current* (BLDC)

Motor BLDC merupakan motor listrik arus searah tanpa sikat (*brush*) yang bekerja dengan sistem komutasi elektronik. Motor ini memiliki efisiensi tinggi, torsi besar, serta perawatan yang lebih rendah dibandingkan motor konvensional, sehingga banyak digunakan sebagai penggerak utama pada sepeda motor listrik.

2. Baterai

Baterai berfungsi sebagai sumber energi listrik utama pada sepeda motor listrik. Energi yang tersimpan dalam baterai digunakan untuk menyuplai daya ke motor melalui *kontroler*. Jenis baterai yang umum digunakan adalah lithium-ion karena memiliki kepadatan energi tinggi, bobot ringan, dan umur pakai yang relatif panjang.

3. Kontroler / Pengendali

Kontroler merupakan unit pengendali yang mengatur aliran daya dari baterai ke motor BLDC. Komponen ini berfungsi mengontrol kecepatan, torsi, dan arah putaran motor berdasarkan sinyal masukan dari *throttle* serta sensor pendukung lainnya.

4. Throttle

Throttle berfungsi sebagai input dari pengendara untuk mengatur kecepatan sepeda motor listrik. *Throttle* mengirimkan sinyal listrik berupa tegangan atau sinyal *Pulse With Modulation* (PWM) ke *kontroler*, yang kemudian diterjemahkan sebagai perintah percepatan atau perlambatan motor

2.6 Alat dan Bahan

Subbab alat dan bahan menjelaskan perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam perancangan serta implementasi sistem *Cruise control* adaptif pada sepeda motor listrik. Alat dan bahan yang digunakan dipilih berdasarkan kebutuhan sistem agar mampu mendukung proses perancangan, pengujian, dan evaluasi kinerja sistem secara optimal.

2.6.1 Sepeda Motor Listrik

Sepeda motor listrik adalah kendaraan roda dua yang digerakkan oleh motor listrik sebagai penggerak utama dan bukan oleh mesin pembakaran internal (*Internal Combustion Engine* / ICE). Sumber energi untuk menggerakkan motor

berasal dari baterai listrik yang dapat diisi ulang (*rechargeable battery*). Prinsip dasarnya adalah mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk menghasilkan torsi dan putaran roda. Sepeda motor listrik merupakan bentuk inovasi kendaraan ringan yang efisien dan ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas buang serta memiliki efisiensi energi yang lebih tinggi dibandingkan motor berbahan bakar fosil.



Gambar 2. 4 Sepeda motor listrik merk Viar Q1

(Sumber: <https://www.mobil123.com>)

Sepeda motor listrik yang akan dipakai pada penelitian ini adalah sepeda motor listrik ber-merk Viar Q1 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 2. 2 Spesifikasi Sepeda Motor Listrik Viar Q1

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Model	Viar Q1
2	Daya Motor	800 Watt
3	Jenis Baterai	Lithium-Ion (60V 23,4 Ah)
4	Tegangan Masukan Charger	220 V, 50 Hz
5	Daya Charger	60 V 4.5A
6	Waktu Pengisian Baterai	± 4 – 5 jam (dari kosong hingga penuh)
7	Jarak Tempuh	60km
8	Kecepatan Maksimum	60 km/jam
9	Daya Angkut Maksimum	150 kg

(Sumber: <https://motor-viar.com>)

2.6.2 Motor *Brushless Direct Current* (BLDC)

Menurut (Knypi et al., 2023) Motor *Brushless Direct Current* (BLDC) merupakan jenis motor listrik yang menggunakan magnet permanen pada rotor dan kumparan pada stator, dengan sistem komutasi elektronik menggantikan fungsi sikat dan komutator mekanik pada motor DC konvensional.



Gambar 2. 5 Motor BLDC

(sumber: <https://electricscootersparts>)

Prinsip kerjanya adalah menghasilkan gaya putar (torsi) melalui interaksi antara medan magnet stator yang berputar (*rotating magnetic field*) dan medan magnet permanen pada rotor. Posisi rotor biasanya dideteksi oleh sensor Hall atau metode *sensorless* agar komutasi arus dapat dikontrol secara sinkron. Motor BLDC memiliki beberapa keunggulan seperti efisiensi tinggi, torsi per berat besar, respon dinamis cepat, serta perawatan minimal karena tidak adanya sikat. Rumus utama yang menggambarkan kerja motor BLDC mencakup hubungan antara torsi (T), gaya gerak listrik balik (Back-EMF), dan daya listrik. Perumusan gaya gerak listrik balik (Back-EMF) adalah seperti pada rumus 2.1

$$E = K_e \cdot \omega \quad (2.7)$$

Dimana :

E = Back-EMF (V)

K_e = Konstanta Back-EMF (Volt/rad/s)

ω = Kecepatan sudut rotor (rad/s)

Perumusan Torsi Motor adalah seperti pada rumus 2.2

$$T = K_t \cdot I \quad (2.8)$$

Dimana :

T = Torsi elektromagnetik yang dihasilkan motor (Nm)

K_t = Konstanta torsi motor (Nm/A)

I = Arus fasa (A)

Motor Brushless Direct current (BLDC) yang digunakan pada penelitian ini adalah motor dengan tipe BOSCH 800 watt dengan spesifikasi seperti berikut :

Tabel 2. 3 Tabel spesifikasi Motor BLDC tipe BOSCH-800watt

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Tipe motor	BLDC Hub-Motor
2	Daya Motor	800 Watt
3	Rated Voltage	60V
4	Kecepatan Maksimum	50-60 Km/h
5	Diameter	10 inch

(Sumber: <https://www.bosch.co.id/id/>)

2.6.3 Baterai

Baterai pada kendaraan listrik berperan sebagai penyimpan utama energi listrik yang kemudian disalurkan ke sistem penggerak sehingga kendaraan dapat bergerak tanpa menggunakan bahan bakar fosil. Jenis baterai yang paling umum digunakan adalah baterai lithium-ion karena memiliki beberapa keuntungan seperti densitas energi yang tinggi, umur siklus panjang, dan tingkat pengosongan sendiri (*self-discharge*) yang rendah (Ralls et al., 2023). Karakteristik-karakteristik ini menjadikan baterai lithium-ion sebagai pilihan yang lebih efisien dan dapat diandalkan dibandingkan jenis baterai konvensional lainnya.



Gambar 2. 6 Baterai Lithium-ion

(sumber: <https://power.tenergy.com>)

Prinsip kerja baterai didasarkan pada reaksi elektrokimia antara anoda, katoda, dan elektrolit di mana ion bergerak dari anoda ke katoda melalui elektrolit saat pelepasan daya (*discharge*) sedangkan arus eksternal dapat memaksa ion kembali ke anoda saat pengisian (*charging*). Kinerja baterai sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kapasitas (Ah), tegangan nominal (V), serta densitas energi (Wh/kg). Selain itu, baterai dilengkapi dengan sistem pengelolaan baterai atau biasa disebut *Battery Management System* (BMS) untuk memantau kondisi seperti suhu, arus, tegangan dan keseimbangan sel agar keamanan dan keandalan baterai tetap terjaga. Pemahaman terhadap prinsip kerja dan karakteristik baterai lithium-ion merupakan faktor penting dalam pengembangan kendaraan listrik yang

efisien dan aman. Secara umum, energi total yang dapat disimpan oleh suatu baterai dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$E=V \times Q \quad (2.8)$$

Dimana:

E = Energi total yang tersimpan (Wh)

V = Tegangan nominal baterai (V)

Q = Kapasitas baterai (Ah)

Baterai juga memiliki kemampuan untuk memberikan daya keluaran terhadap beban yang terhubung. Besarnya daya yang dihasilkan dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$P=V \times I \quad (2.9)$$

Dimana:

P = Daya listrik yang dihasilkan (W)

V = Tegangan Baterai (V)

I = Arus keluaran Baterai (A)

Selain itu, durasi waktu baterai dapat menyediakan energi hingga muatan habis dapat dihitung menggunakan hubungan antara kapasitas dan arus beban, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$t = \frac{Q}{I} \quad (2.10)$$

Dimana:

t = Waktu operasi baterai (jam)

Q = Kapasitas baterai (Ah)

I = Arus beban (A)

Jenis Baterai yang digunakan pada penelitian ini adalah baterai tipe LG 21700 3.69V 4400mAh . Dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 2. 4 Tabel spesifikasi baterai LG 21700

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Tegangan nominal	3.69V
2	Tegangan Maks (pengisian)	4.20V
3	Tegangan akhir charge	4.25V
4	Tegangan Minimum Discharge	2.50 V
5	Tegangan Akhir Discharge	2.00 V
6	Energi Nominal	18.2 Wh
7	Energi Minimum	17.6 Wh
8	Arus Maks	4400mAh

(Sumber: <https://power.tenergy.com>)

2.6.4 Battery Management System (BMS)

Battery Management System (BMS) merupakan sistem elektronik yang berfungsi untuk mengelola, memonitor, dan melindungi baterai, terutama pada baterai jenis lithium-ion yang banyak digunakan pada kendaraan listrik, sistem penyimpanan energi, dan perangkat elektronik modern. BMS memiliki peran yang sangat penting karena baterai lithium memiliki karakteristik sensitif terhadap kondisi seperti *overcharge* (tegangan berlebih), *overdischarge* (tegangan terlalu rendah), *overcurrent* (arus berlebih), dan suhu ekstrem. Jika tidak dikontrol, kondisi tersebut dapat menyebabkan kerusakan baterai, penurunan umur pakai, bahkan risiko kebakaran atau ledakan.



Gambar 2. 7 Battery management sistem

(Sumber: <https://www.dalybms.com/>)

Cara kerja *Battery Management System* (BMS) dimulai dengan memantau parameter baterai seperti tegangan, arus, dan suhu secara real-time. Data tersebut dianalisis untuk memastikan kondisi baterai tetap dalam batas aman. Jika kondisi normal, proses pengisian dan pengosongan berjalan seperti biasa. Namun, jika terdeteksi kondisi abnormal seperti *overcharge*, *overdischarge*, arus berlebih, atau suhu tinggi, BMS akan secara otomatis membatasi atau memutus aliran listrik untuk melindungi baterai. Selain itu, BMS juga melakukan penyeimbangan sel guna menjaga kinerja dan memperpanjang umur pakai baterai. BMS yang digunakan dalam penelitian ini adalah BMS dengan jenis Daly 30 Ah dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 2. 5 Tabel spesifikasi BMS Daly 30Ah

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Tipe Baterai	Li-ion / LiFePO4
2	Tegangan Sistem	60V
3	Arus Charging Maks	40 A / 60 A / 100 A
4	Arus Discharge Maks	40 A / 60 A / 100 A
5	Konsumsi Arus	< 400 μ A
6	Resistansi Internal	< 20 m Ω
7	Overcurrent Discharge	125 $\pm$ 10 A / 175 $\pm$ 10 A / 266 $\pm$ 20 A
8	Overcurrent Charge	50 $\pm$ 10 A / 70 $\pm$ 10 A / 106 $\pm$ 20 A

(Sumber: <https://www.dalybms.com>)

2.6.5 Kontroler/Pengendali

Kontroler pada sepeda motor listrik berfungsi sebagai otak pengendali sistem penggerak yang mengatur aliran daya listrik dari baterai menuju motor agar motor dapat berputar sesuai kebutuhan pengendara. Pada motor BLDC, *kontroler* memiliki peran penting dalam menentukan kecepatan, arah putaran, serta torsi motor melalui proses komutasi elektronik. Komutasi ini dilakukan dengan membaca posisi rotor menggunakan sensor Hall, lalu mengaktifkan lilitan stator secara bergantian sesuai urutan yang tepat.



Gambar 2. 8 Kontroler Sepeda motor listrik

(Sumber: <https://votol.cn/product>)

Umumnya, kontroler BLDC menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM) sebagai metode pengaturan tegangan dan arus yang diberikan ke motor. PWM bekerja dengan cara mengubah lebar pulsa sinyal yang dikirimkan ke inverter, sehingga menghasilkan tegangan rata-rata yang dapat dikontrol tanpa menimbulkan banyak kehilangan daya. Dalam sistem motor BLDC tiga fasa, *kontroler* juga dilengkapi dengan inverter tiga fasa (*Voltage Source Inverter/VSI*) yang berfungsi mengubah arus searah (DC) dari baterai menjadi arus bolak-balik (AC) tiga fasa

untuk menggerakkan motor. Di penelitian ini ,pengendali atau *kontroler* yang digunakan adalah *kontroler* jenis VOTOL-EM30S , kontroler VOTOL-EM30S dipilih karena device nya yang *open source* dan dapat diakses atau di *setting* sesuai dengan keinginan pengguna. Berikut adalah Tabel spesifikasi dari VOTOL-EM30S:

Tabel 2. 6 Tabel Spesifikasi VOTOL-EM30S

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Arus Nominal (Rated Current)	30 A
2	Arus Puncak (Peak Current)	100 A
3	Daya Maksimum	2520 W
4	Tegangan Kerja (Rated Voltage)	48 / 72 V
5	Efisiensi Maksimum	$\geq 89\%$
6	Pelemahan fluks magnet (Flux Weakening)	120%

(Sumber: <https://votol.cn>)

2.6.6 Throttle

Throttle pada sepeda motor listrik merupakan komponen yang berfungsi untuk menentukan besar kecilnya daya yang dikirimkan dari *kontroler* menuju motor. Berbeda dari sepeda motor berbahan bakar fosil yang mengatur campuran udara dan bahan bakar melalui mekanisme katup mekanis, *throttle* pada kendaraan listrik bekerja secara elektronik dan menghasilkan sinyal kontrol berbasis tegangan. Sistem *throttle* modern biasanya menggunakan sensor Hall-effect, yang mampu menghasilkan sinyal analog proporsional terhadap posisi putaran *throttle* grip tanpa melibatkan kontak mekanis. Karakteristik ini membuat *throttle* lebih tahan terhadap keausan dan menghasilkan sinyal yang lebih stabil (Ehsani et al., 2020).

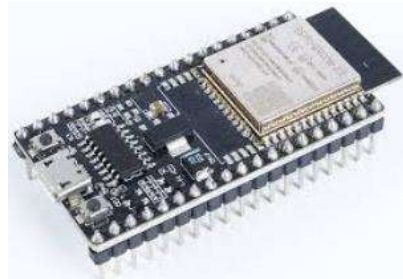


Gambar 2. 9 *Throttle* Pada sepeda motor listrik
(Sumber: <https://sparepartgallery.id>)

2.6.7 ESP-32

ESP32 merupakan sebuah *system-on-chip* (SoC) mikrokontroler yang dirancang oleh Espressif Systems dengan keunggulan utama berupa integrasi konektivitas *Wi-Fi* dan *Bluetooth* dalam satu chip. Mikrokontroler ini banyak digunakan dalam aplikasi *Internet of Things* (IoT) dan sistem tertanam (*embedded systems*) karena memiliki performa tinggi, fleksibilitas besar, serta konsumsi daya

yang rendah. ESP32 dilengkapi dengan prosesor *dual-core* 32-bit Xtensa LX6 yang mampu beroperasi hingga kecepatan 240 MHz, serta dilengkapi dengan memori internal berupa SRAM dan *flash memory* untuk penyimpanan data dan program.



Gambar 2. 10 ESP32

(Sumber: <https://docs.sunfounder.com>)

Kemampuan pemrosesan sinyal secara cepat dan dukungan komunikasi nirkabel membuat ESP32 cocok digunakan sebagai *core kontroler* dalam sistem monitoring dan kendali jarak jauh, termasuk pada monitoring genset atau sistem kendaraan listrik yang membutuhkan pengiriman data secara *real-time*. Oleh karena itu, ESP32 menjadi salah satu mikrokontroler yang paling banyak digunakan dalam proyek-proyek IoT modern karena kombinasi efisiensi, harga terjangkau, dan fitur konektivitas lengkapnya (Hercog et al., 2023). Berikut adalah Tabel spesifikasi dari ESP32:

Tabel 2. 7 Tabel Spesifikasi ESP32

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Tegangan Operasi	3.0 – 3.6 V
2	Mikrokontroler	Dual-core Xtensa LX6
3	Frekuensi CPU	Hingga 240 MHz
4	Memori SRAM	± 520 KB
5	Flash Memory	4 MB
6	Wi-Fi	802.11 b/g/n
7	Bluetooth	Bluetooth v4.2 (Classic & BLE)
8	Jumlah GPIO	30 pin

(Sumber: [esp32 datasheet en.pdf](https://www.espressif.com/en_US/about-us/faq))

2.6.8 Sensor TF LC02 2M LiDAR Distance Module

TF-LC02 merupakan modul sensor jarak berbasis teknologi LiDAR (*Light Detection and Ranging*) yang digunakan untuk mengukur jarak suatu objek secara presisi menggunakan sinar laser. Sensor ini bekerja dengan metode *Time of Flight* (ToF), yaitu mengukur waktu tempuh cahaya dari sensor ke objek dan kembali ke sensor. Dengan prinsip ini, TF-LC02 mampu memberikan data jarak secara cepat

dan akurat, sehingga banyak digunakan pada sistem otomatisasi seperti robot, drone, dan perangkat IoT.



Gambar 2. 11 Sensor TF-LC02

(sumber: <https://digiwarestore.com/id/lidar>)

TF-LC02 bekerja berdasarkan prinsip Time of Flight (ToF), yaitu metode pengukuran jarak dengan menghitung waktu tempuh cahaya dari sensor menuju objek dan kembali ke sensor. Sensor ini memancarkan sinar laser inframerah menggunakan komponen *Vertical Cavity Surface Emitting Laser* (VCSEL) dengan panjang gelombang sekitar 940 nm. Ketika sinar laser mengenai permukaan objek, sebagian cahaya akan dipantulkan kembali dan diterima oleh detektor pada sensor, selanjutnya, sistem internal sensor akan menghitung selisih waktu antara sinyal yang dipancarkan dan sinyal yang diterima kembali. Berdasarkan waktu tempuh tersebut, jarak objek dapat ditentukan menggunakan perhitungan kecepatan cahaya. Proses ini berlangsung sangat cepat sehingga memungkinkan pengukuran jarak dilakukan secara real-time dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi, terutama pada jarak pendek.. Berdasarkan waktu tempuh tersebut, jarak objek dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$d = \frac{c \times t}{2} \quad (2.11)$$

dengan:

d = jarak objek terhadap kendaraan (meter)

c = kecepatan cahaya (m/s)

t = waktu tempuh pulsa cahaya dari sensor ke objek dan kembali ke sensor (detik)

Berikut adalah Tabel spesifikasi dari sensor LIDAR TF-LC02:

Tabel 2. 8 Tabel Spesifikasi TF-LC02

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Catu Daya	3 ~ 3.6V
2	Light Source	VCSEL
3	Wavelength	940nm
4	Jarak Pengukuran	3cm ~ 200cm
5	Field of View (FOV)	+ - 9°
6	Kecepatan Deteksi	33ms

(Sumber: <https://digiwarestore.com>)

2.6.9 Sensor GPS GNSS L86

Modul GPS GNSS L86 merupakan perangkat penerima sinyal satelit yang digunakan untuk menentukan posisi geografis secara akurat di permukaan bumi. Modul ini mendukung sistem *Global Navigation Satellite System* (GNSS), yaitu gabungan dari beberapa sistem navigasi satelit seperti GPS (Amerika Serikat), GLONASS (Rusia), dan Galileo (Uni Eropa), sehingga mampu meningkatkan akurasi dan kecepatan dalam memperoleh data posisi.



Gambar 2. 12 Sensor GPS GNS L86

(Sumber: <https://www.accio.com>)

GPS GNSS L86 bekerja dengan cara menerima sinyal dari beberapa satelit secara bersamaan. Setiap satelit mengirimkan informasi berupa waktu dan posisi, yang kemudian digunakan oleh modul untuk menghitung koordinat pengguna melalui metode trilaterasi. Hasil dari proses ini berupa data lokasi seperti lintang (latitude), bujur (longitude), ketinggian (altitude), serta informasi tambahan seperti kecepatan dan waktu. Berikut adalah Tabel spesifikasi dari GPS GNSS L86:

Tabel 2. 9 Tabel Spesifikasi GNSS L86

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Akurasi Posisi	< 2.5 m CEP
2	Akurasi Kecepatan	< 0.1 m/s
3	Akurasi Akselerasi	< 0.1 m/s ²
4	Akurasi Waktu (1PPS)	10 ns
5	Waktu Reacquisition	< 1 s
6	Catu Daya	3.0 – 4.3V

(Sumber: <https://www.quectel.com>)

2.6.10 MPU-6050

MPU-6050 adalah modul sensor berbasis IMU (Inertial Measurement Unit) yang mengintegrasikan tiga sumbu accelerometer dan tiga sumbu gyroscope dalam satu chip. Sensor ini diproduksi oleh InvenSense dan merupakan salah satu IMU paling banyak digunakan dalam sistem embedded seperti mikrokontroler, robotika, kontrol kendaraan listrik, stabilisasi platform, hingga sistem navigasi berbasis gerakan. Kombinasi accelerometer dan gyroscope memungkinkan MPU-6050 mengukur percepatan linear, kecepatan sudut, serta sudut kemiringan (pitch dan roll) secara simultan.



Gambar 2. 13 MPU-6050

(Sumber: www.instructables.com/Accelerometer-MPU-6050)

Accelerometer pada MPU-6050 bekerja dengan prinsip perubahan kapasitansi pada struktur MEMS akibat adanya percepatan. Rentang pengukuran yang tersedia berada pada $\pm 2g$ hingga $\pm 16g$. Di sisi lain, gyroscope memanfaatkan efek gaya Coriolis untuk membaca kecepatan rotasi pada ketiga sumbu dengan rentang $\pm 250^\circ/s$ hingga $\pm 2000^\circ/s$. Data dari kedua sensor ini kemudian dapat digabungkan untuk menghasilkan sudut kemiringan yang lebih stabil melalui teknik sensor fusion, seperti complementary filter maupun Kalman filter. Berikut adalah Spesifikasi dari MPU6050:

Tabel 2. 10 Tabel Spesifikasi MPU6050

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Sensor	3-axis Accelerometer + 3-axis Gyroscope
2	Tegangan Operasi	2.3 – 3.4 V
3	Arus Operasi	± 3.9 mA
4	Rentang Accelerometer	$\pm 2g, \pm 4g, \pm 8g, \pm 16g$
5	Rentang Gyroscope	$\pm 250, \pm 500, \pm 1000, \pm 2000$ $^\circ/s$
6	Resolusi ADC	16-bit

(Sumber: <https://cdn.sparkfun.com>)

2.6.11 Buzzer

Buzzer adalah komponen elektronik yang berfungsi menghasilkan suara dalam bentuk nada, bunyi peringatan, atau sinyal audio sederhana. Komponen ini banyak digunakan pada sistem peringatan, indikator status, alarm, perangkat kontrol, hingga aplikasi embedded seperti mikrokontroler. Pada dasarnya, buzzer bekerja dengan mengubah energi listrik menjadi getaran mekanis yang menghasilkan gelombang suara.



Gambar 2. 14 Buzzer

(Sumber: www.ubuy.co.id-24v-buzzer-alarm)

Buzzer bekerja dengan memanfaatkan prinsip getaran diafragma yang digerakkan oleh perubahan medan elektromagnetik. Ketika tegangan diberikan, kumparan atau elemen piezoelectric mengalami perubahan bentuk atau pergerakan, sehingga menghasilkan getaran yang diteruskan ke udara sebagai suara. Rentang frekuensi suara yang dihasilkan umumnya berada pada frekuensi audio, sehingga mudah didengar oleh manusia.

2.6.12 Nextion Display

Nextion Display merupakan modul Human Machine Interface (HMI) berbasis layar sentuh yang dirancang untuk memudahkan interaksi antara pengguna dan sistem mikrokontroler. Modul ini menggabungkan layar TFT LCD dan mikrokontroler internal sehingga sebagian besar pemrosesan antarmuka grafis dilakukan langsung di dalam perangkat, tanpa membebani mikrokontroler utama seperti ESP32. Komunikasi antara Nextion Display dan mikrokontroler dilakukan melalui antarmuka UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter), yang memungkinkan pertukaran data dua arah secara sederhana dan efisien.



Gambar 2. 15 Nextion Display

(Sumber: <https://app.cirkitdesigner.com>)

Nextion Display mendukung pembuatan antarmuka grafis seperti tombol, teks, grafik, slider, dan indikator menggunakan perangkat lunak Nextion Editor, sehingga perancangan tampilan dapat dilakukan secara visual tanpa pemrograman yang kompleks. Dalam sistem kendaraan listrik atau *Cruise control* adaptif, Nextion Display dapat digunakan untuk menampilkan parameter penting seperti kecepatan kendaraan, jarak terhadap kendaraan di depan, status sistem ACC, serta mode operasi yang sedang aktif. Dengan adanya layar sentuh, pengguna juga dapat mengatur nilai setpoint kecepatan atau mengaktifkan dan menonaktifkan sistem secara langsung melalui antarmuka yang intuitif. Secara keseluruhan, penggunaan Nextion Display meningkatkan kemudahan pemantauan dan pengendalian sistem, serta mendukung implementasi sistem kontrol yang lebih interaktif, ringkas, dan efisien, khususnya pada aplikasi embedded system berbasis mikrokontroler. Tipe Nextion Display yang dipakai pada penelitian ini adalah tipe NX8048K050_011. Berikut adalah Tabel Spesifikasi dari Nextion Display NX8048K050_011:

Tabel 2. 11 Tabel Spesifikasi Nextion Display

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Ukuran Display	5.0 inch
2	Resolusi	800 × 480 pixel
3	Jenis Touchscreen	Resistive Touch
4	Warna Display	65,536 colors (16-bit)
5	Tegangan Operasi	5V
6	Resolusi ADC	16-bit

(Sumber: <https://nextion.ca>)

2.6.13 MCP4725

MCP4725 merupakan sebuah Digital-to-Analog Converter (DAC) beresolusi 12-bit yang diproduksi oleh Microchip Technology. Modul ini berfungsi untuk mengubah data digital yang dikirim oleh mikrokontroler menjadi sinyal tegangan analog yang kontinu. MCP4725 banyak digunakan pada sistem kontrol,

instrumentasi, otomasi, dan aplikasi Internet of Things (IoT) yang memerlukan keluaran tegangan analog. Komunikasi antara MCP4725 dan mikrokontroler dilakukan menggunakan protokol Inter-Integrated Circuit (I²C) sehingga hanya membutuhkan dua jalur komunikasi, yaitu Serial Data (SDA) dan Serial Clock (SCL). Selain itu, modul ini memiliki memori EEPROM internal yang memungkinkan nilai keluaran terakhir disimpan dan dipertahankan meskipun catu daya dimatikan.



Gambar 2. 16 Komponen MCP4725

(Sumber: <https://ww1.microchip.com/>)

MCP4725 memiliki resolusi sebesar 12-bit, yang berarti mampu menghasilkan 4096 tingkat keluaran tegangan berbeda. Tegangan keluaran analog yang dihasilkan bergantung pada nilai digital yang diberikan dan tegangan referensi yang digunakan. Pada penelitian ini, MCP4725 digunakan sebagai pembangkit sinyal analog yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. Nilai digital yang dihasilkan oleh program diubah menjadi tegangan analog melalui MCP4725 dan digunakan sebagai sinyal kontrol *throttle* motor listrik. Dengan penggunaan DAC MCP4725, perubahan tegangan dapat dilakukan secara lebih presisi dan stabil dibandingkan metode Pulse Width Modulation (PWM) yang memerlukan proses penyaringan tambahan untuk menghasilkan sinyal analog yang halus. Berikut adalah Tabel spesifikasi dari MCP4725:

Tabel 2. 12 Tabel Spesifikasi MCP4725

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Resolusi	12 bit
2	Jumlah level <i>Output</i>	4096 level (0-4096)
3	Antar Komunikasi	I ² C (<i>Inter-Integrated Circuit</i>)
4	Tegangan Kerja (VDD)	2,7V – 5,5V
5	Tegangan Keluar (Vout)	0V hingga VDD

(Sumber: <https://ww1.microchip.com/>)

2.6.14 PZEM 017

PZEM-017 merupakan modul pengukuran parameter listrik DC yang dirancang untuk memonitor tegangan, arus, daya, dan energi pada sistem arus searah. Modul ini umumnya digunakan pada sistem baterai, panel surya, kendaraan listrik, serta sistem penyimpanan energi berbasis DC.



Gambar 2. 17 Pzem-017

(Sumber: <https://my.cytron.io/p-pzem017>)

PZEM-017 menggunakan metode pengukuran berbasis shunt resistor eksternal untuk mendeteksi arus, serta komunikasi serial berbasis protokol Modbus RTU melalui antarmuka RS485. Berikut adalah Tabel spesifikasi dari PZEM-017:

Tabel 2. 13 Tabel spesifikasi PZEM-017

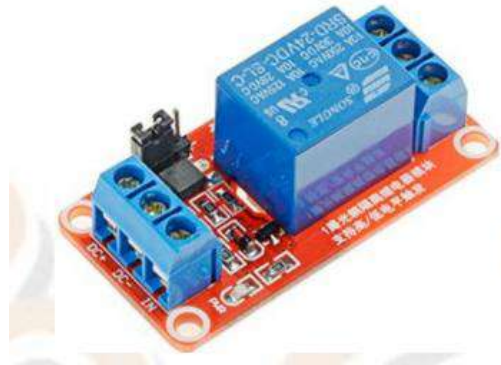
No.	Parameter	Spesifikasi
1	Current Range	0-300A
2	Accessory	100A Shunt
3	Voltage Range	DC 0-300V
4	Power Range	0-90KW
5	Accuracy	±1%
6	Energy Range 0-9999KWh	0-9999KWh

(sumber: www.rcscomponents.kiev.ua)

2.6.15 Modul Relay 5V 1 Chanel Low

Modul relay 5V 1 channel merupakan perangkat elektronika yang berfungsi sebagai sakelar elektromagnetik untuk menghubungkan atau memutus suatu rangkaian listrik berdasarkan sinyal kendali dari mikrokontroler. Modul ini bekerja menggunakan tegangan operasi sebesar 5 V DC dan telah dilengkapi dengan rangkaian driver, transistor, dioda flyback, serta LED indikator sehingga dapat dihubungkan secara langsung dengan sistem kendali berbasis mikrokontroler. Prinsip kerja relay didasarkan pada induksi elektromagnetik. Ketika kumparan (coil) relay memperoleh tegangan sebesar 5 V, medan magnet yang dihasilkan akan menggerakkan kontak mekanis sehingga posisi kontak berpindah dari *Normally*

Closed (NC) ke *Normally Open* (NO) atau sebaliknya. Perubahan posisi kontak tersebut memungkinkan relay berfungsi sebagai sakelar otomatis yang dikendalikan secara elektronik.



Gambar 2. 18 Modul Relay 1 chanel Low

(Sumber: <https://www.rajguruelectronics.com/>)

Pada penelitian ini, modul relay 5V 1 channel digunakan sebagai perangkat keselamatan (*safety device*) untuk memutus sinyal throttle yang menuju motor controller ketika tuas rem ditekan oleh pengendara. Saat sistem mendeteksi sinyal rem aktif, relay akan segera memutus jalur sinyal throttle sehingga keluaran tegangan dari sistem cruise control tidak lagi diteruskan ke motor controller. Dengan demikian, pengendara tetap memiliki kendali penuh terhadap proses pengereman dan kendaraan tidak akan terus menerima perintah akselerasi ketika rem dioperasikan. Berikut adalah Tabel Spesifikasi dari modul relay.

Tabel 2. 14 Tabel Spesifikasi Relay Modul

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Tegangan kerja	5 V DC
2	Jumlah channel	1 Channel
3	Tegangan trigger	3,3–5 V
4	Jenis kontak	<i>Single Pole Double Throw</i>
5	Terminal kontak	COM, NO, NC
6	Arus kontak maksimum	10 A

(Sumber: <https://www.rajguruelectronics.com/>)

2.6.17 Modul SD-Card Reader

Modul *SD Card Reader* merupakan perangkat antarmuka yang digunakan untuk menghubungkan kartu memori MicroSD dengan mikrokontroler sehingga data dapat dibaca maupun ditulis secara digital. Modul ini umumnya berkomunikasi menggunakan antarmuka *Serial Peripheral Interface* (SPI) yang terdiri dari pin *MOSI* (*Master Out Slave In*), *MISO* (*Master In Slave Out*), *SCK* (*Serial Clock*), dan

CS (*Chip Select*). Melalui komunikasi SPI, mikrokontroler dapat mengakses media penyimpanan dengan kecepatan yang cukup tinggi dan tingkat keandalan yang baik.



Gambar 2. 19 Modul SD-Card Reader

(Sumber: <https://components101.com/>)

Pada penelitian ini, modul SD Card Reader digunakan sebagai data logger untuk menyimpan hasil pengujian sistem *Adaptive cruise control* ke dalam kartu MicroSD. Data yang direkam meliputi parameter-parameter penting selama pengujian, seperti jarak objek, kecepatan kendaraan, kemiringan jalan, tegangan baterai, arus, daya, energi, serta keluaran sistem kendali. Seluruh data disimpan secara berkala dalam format yang mudah diolah, sehingga dapat digunakan sebagai bahan analisis dan evaluasi kinerja sistem. Berikut adalah table spesifikasi modul

Tabel 2. 15 Spesifikasi Modul SD-Card

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Tegangan operasi	3,3–5 V DC
2	Media penyimpanan	MicroSD Card
3	Antarmuka komunikasi	SPI (Serial Peripheral Interface)
4	Pin komunikasi	MOSI, MISO, SCK, CS
5	Format penyimpanan	FAT16/FAT32

(Sumber: <https://components101.com/>)

2.6.18 Dioda 1N4007

Dioda 1N4007 merupakan salah satu jenis dioda penyearah (*rectifier diode*) yang memiliki karakteristik mampu mengalirkan arus hanya pada satu arah, yaitu dari anoda ke katoda, serta menghambat aliran arus pada arah sebaliknya. Dioda ini memiliki kemampuan menahan tegangan balik (*Peak Reverse Voltage*) hingga 1000 V dengan arus maju maksimum sebesar 1 A, sehingga banyak digunakan sebagai komponen proteksi pada berbagai rangkaian elektronika. Prinsip kerja dioda 1N4007 didasarkan pada sifat sambungan P-N junction. Ketika dioda berada pada

kondisi forward bias, arus dapat mengalir dari anoda ke katoda dengan penurunan tegangan sekitar 0,6–0,7 V. Sebaliknya, pada kondisi *reverse* bias, dioda akan menghambat aliran arus sehingga mencegah tegangan dari arah berlawanan masuk ke dalam rangkaian yang dilindungi.



Gambar 2. 20 Dioda 1n4007

(Sumber: datasheet4u.com)

Pada penelitian ini, dioda 1N4007 digunakan sebagai komponen proteksi (*blocking diode*) pada jalur sinyal throttle sepeda motor listrik. Dioda dipasang untuk mencegah tegangan maupun arus yang berasal dari sistem throttle bawaan kendaraan mengalir kembali menuju modul MCP4725 dan mikrokontroler ESP32. Dengan adanya dioda tersebut, sinyal keluaran dari modul MCP4725 dapat diteruskan menuju motor controller, namun tegangan balik (*backfeed*) dari rangkaian throttle bawaan tidak dapat masuk ke rangkaian kendali. Penggunaan dioda 1N4007 bertujuan untuk melindungi komponen elektronika yang memiliki batas tegangan kerja relatif rendah, seperti ESP32 dan MCP4725, dari kemungkinan kerusakan akibat tegangan balik atau arus balik yang berasal dari sistem kendaraan. Dengan demikian, keandalan dan keamanan sistem *Adaptive cruise control* dapat ditingkatkan selama proses pengoperasian maupun pengujian.

Tabel 2. 16 Tabel Spesifikasi diode 1N4007

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Tipe	1N4007
2	Jenis	Dioda Penyearah Silikon
3	Arus maju maksimum (IF)	1 A
4	Tegangan balik maksimum (VRRM)	1000 V
5	Tegangan maju (VF)	±0,7 V

(Sumber: datasheet4u.com)

2.6.19 Push Button Switch Self-Locking (Push On–Push Off)

Push Button Switch Self-Locking merupakan jenis sakelar tekan yang memiliki mekanisme pengunci (*latching*), sehingga kondisi kontak akan tetap bertahan setelah tombol ditekan. Berbeda dengan push button momentary yang hanya aktif selama tombol ditekan, *push button self-locking* akan mempertahankan kondisi *ON* hingga tombol ditekan kembali untuk mengembalikannya ke kondisi *OFF*. Mekanisme ini memungkinkan sakelar berfungsi sebagai tombol daya (*power switch*) tanpa perlu menahan tombol secara terus-menerus.



Gambar 2. 21 Push Button Switch Self Lock

(Sumber: <https://sharvielectronics.com/>)

Pada penelitian ini, push button switch self-locking digunakan sebagai **tombol power** untuk mengaktifkan dan menonaktifkan sistem *Adaptive cruise control* (ACC). Ketika tombol ditekan pertama kali, sistem memperoleh catu daya sehingga modul ESP32, sensor, dan perangkat pendukung lainnya mulai beroperasi. Selanjutnya, ketika tombol ditekan kembali, aliran daya menuju sistem akan terputus sehingga seluruh rangkaian kendali berhenti bekerja. Penggunaan push button self-locking dipilih karena memberikan kemudahan pengoperasian, tidak memerlukan penekanan tombol secara terus-menerus, serta lebih praktis sebagai sakelar utama sistem.

Tabel 2. 17 Tabel Spesifikasi

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Jenis sakelar	<i>Push Button Self-Locking (Latching)</i>
2	Mekanisme	Push ON – Push OFF
3	Konfigurasi kontak	Normally Open (NO)
4	Tegangan kerja	3,3–24 V DC (tergantung tipe)
5	Arus kontak maksimum	1–3 A (tergantung spesifikasi)

2.6.20 Antena GPS Aktif 1575.42Mhz

Antena GPS Aktif 1575,42 MHz merupakan antena penerima sinyal satelit yang dirancang untuk bekerja pada frekuensi GPS L1 sebesar 1575,42 MHz.

Berbeda dengan antenna pasif, antenna aktif telah dilengkapi dengan Low Noise Amplifier (LNA) di dalamnya sehingga mampu memperkuat sinyal satelit yang diterima sebelum dikirimkan ke modul penerima GNSS. Penggunaan LNA meningkatkan sensitivitas penerimaan sinyal, terutama pada kondisi lingkungan yang memiliki tingkat redaman atau gangguan sinyal yang tinggi.



Gambar 2. 22 Antena GPS Aktif 1575.42Mhz

(Sumber: <https://quartzcomponents.com/>)

Pada penelitian ini, antenna GPS aktif 1575,42 MHz digunakan sebagai antenna eksternal untuk mendukung kinerja **sensor** GNSS L86 dalam menerima sinyal satelit. Penggunaan antenna aktif bertujuan untuk meningkatkan kualitas penerimaan sinyal GNSS sehingga proses penentuan posisi dan pengukuran kecepatan kendaraan menjadi lebih stabil dan akurat. Dengan kualitas sinyal yang lebih baik, modul GNSS L86 dapat memperoleh data koordinat dan kecepatan secara lebih konsisten, sehingga mendukung kinerja sistem *Adaptive cruise control* (ACC) yang dikembangkan. Berikut adalah table spesifikasi

Tabel 2. 18 Tabel Spesifikasi

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Jenis antenna	GPS Active Antenna
2	Frekuensi kerja	1575,42 MHz (GPS L1)
3	Impedansi	50 Ω
4	Tegangan catu	3-5 V DC
5	Penguat internal	Low Noise Amplifier (LNA)

(Sumber: <https://docs.rs-online.com/>)

2.6.21 DC-DC Step Down Converter 60V ke 12V

DC-DC *Step-Down Converter* (Buck Converter) merupakan konverter elektronika daya yang berfungsi menurunkan tegangan arus searah (DC) dari level yang lebih tinggi menjadi level yang lebih rendah dengan efisiensi yang tinggi. Berbeda dengan regulator linear, buck converter menggunakan teknik *switching*

sehingga mampu menghasilkan tegangan keluaran yang stabil dengan rugi-rugi daya yang relatif kecil. Oleh karena itu, komponen ini banyak digunakan sebagai catu daya pada sistem elektronika, kendaraan listrik, dan aplikasi otomasi.



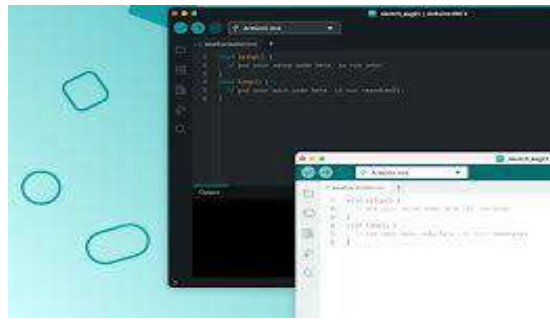
Gambar 2. 23 Step Down Converter 60V ke 12V

(Sumber: <https://daygreen.com/>)

Pada penelitian ini, DC-DC Step-Down Converter digunakan sebagai catu daya utama sistem *Adaptive cruise control* (ACC). Konverter ini menurunkan tegangan baterai sepeda motor listrik sebesar 60 V DC menjadi 12 V DC yang selanjutnya digunakan untuk menyuplai daya ke seluruh rangkaian pendukung sistem. Tegangan keluaran 12 V kemudian dimanfaatkan secara langsung oleh komponen yang memerlukan catu daya 12 V serta menjadi sumber masukan bagi regulator tegangan lain untuk menghasilkan tegangan kerja 5 V dan 3,3 V yang dibutuhkan oleh mikrokontroler ESP32, sensor, modul komunikasi, dan perangkat elektronika lainnya.

2.6.15 Arduino IDE

Arduino Integrated Development Environment (IDE) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke papan mikrokontroler Arduino. Arduino IDE dirancang dengan antarmuka yang sederhana dan mudah digunakan, sehingga cocok untuk pemula maupun pengguna tingkat lanjut dalam pengembangan sistem embedded. Bahasa pemrograman yang digunakan pada Arduino IDE berbasis bahasa C/C++ yang telah disederhanakan dengan berbagai library bawaan untuk mempermudah akses terhadap perangkat keras seperti sensor, aktuator, dan modul komunikasi.



Gambar 2. 24 Tampilan Software Arduino IDE

(Sumber: <https://www.arduino.cc/en/software>)

Arduino IDE menyediakan beberapa fitur utama, antara lain text editor untuk penulisan kode program (sketch), compiler untuk menerjemahkan kode ke dalam bahasa mesin, serta uploader yang berfungsi untuk mengirimkan program ke mikrokontroler melalui komunikasi serial. Selain itu, Arduino IDE juga dilengkapi dengan Serial Monitor dan Serial Plotter yang digunakan untuk memantau serta menganalisis data komunikasi antara mikrokontroler dan komputer secara real-time. Fleksibilitas Arduino IDE memungkinkan pengembangan berbagai aplikasi, seperti sistem kontrol, otomasi, Internet of Things (IoT), dan sistem kendaraan listrik berbasis mikrokontroler (Arduino,2023).

2.6.15 MATLAB 2018 (Matrix Laboratory)

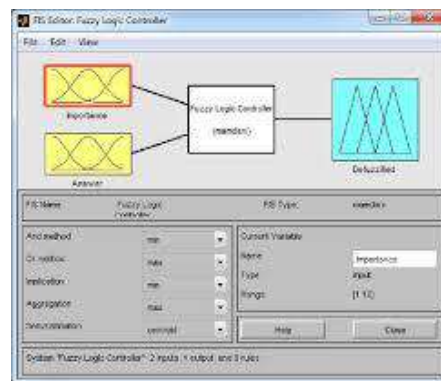
MATLAB (Matrix Laboratory) merupakan perangkat lunak komputasi numerik dan pemrograman tingkat tinggi yang dikembangkan oleh MathWorks, Inc. MATLAB banyak digunakan dalam bidang teknik, sains, dan matematika untuk analisis data, pemodelan sistem, simulasi, serta pengembangan algoritma. Lingkungan kerja MATLAB menyediakan bahasa pemrograman berbasis matriks yang memungkinkan pengguna melakukan perhitungan kompleks, visualisasi data, dan simulasi sistem dinamis secara efisien dan terintegrasi.



Gambar 2. 25 Matlab 2018a

(Sumber: logos-world.net/matlab-logo)

Salah satu keunggulan MATLAB adalah tersedianya berbagai *toolbox* yang dirancang khusus untuk aplikasi tertentu, seperti kontrol sistem, pengolahan sinyal, kecerdasan buatan, dan logika fuzzy. Dalam pengembangan sistem kontrol adaptif, MATLAB menyediakan *Fuzzy logic Toolbox* yang digunakan untuk merancang, menganalisis, dan mensimulasikan sistem berbasis *Fuzzy logic*. Toolbox ini mendukung pembuatan *Fuzzy Inference System* (FIS) dengan metode Mamdani dan Sugeno, serta menyediakan fasilitas untuk mendefinisikan fungsi keanggotaan (*membership function*), aturan fuzzy (*rule base*), proses inferensi, dan defuzzifikasi.



Gambar 2. 26 ToolBox *Fuzzy logic* di MATLAB

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Fuzzy logic Toolbox pada MATLAB juga dilengkapi dengan antarmuka grafis seperti *Fuzzy logic Designer*, yang memudahkan pengguna dalam merancang dan memodifikasi sistem fuzzy secara visual tanpa harus menulis kode secara manual. Selain itu, MATLAB memungkinkan integrasi sistem fuzzy dengan simulasi dinamis melalui Simulink, sehingga performa sistem dapat diuji dalam berbagai kondisi operasi. Kemampuan ini menjadikan MATLAB sebagai perangkat lunak yang sangat sesuai untuk perancangan dan pengujian sistem kontrol cerdas, termasuk sistem *Cruise control* adaptif berbasis *Fuzzy logic* (MathWorks, 2023).

2.3 Persentase Error Total

Persentase error total merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat akurasi suatu sistem pengukuran atau sistem kendali dengan membandingkan nilai hasil pengukuran terhadap nilai acuan. Nilai ini menunjukkan besarnya penyimpangan hasil pengukuran secara keseluruhan terhadap nilai referensi yang digunakan. Semakin kecil persentase error total yang

diperoleh, maka semakin tinggi tingkat ketelitian dan akurasi sistem yang diuji. Pada penelitian ini, persentase error total digunakan untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara kecepatan yang dihasilkan oleh sistem Adaptive Cruise Control dengan kecepatan acuan yang ditetapkan. Perhitungan dilakukan berdasarkan akumulasi seluruh nilai error dibandingkan dengan akumulasi seluruh nilai acuan sehingga memberikan gambaran akurasi sistem secara menyeluruh. Persentase error total dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Persentase Error Total} = \frac{\sum \text{Error}}{\sum \text{Nilai Acuan}} \times 100\% \quad (2.12)$$

Dengan,

- $\sum \text{Error}$ = jumlah seluruh nilai selisih absolut antara nilai hasil pengukuran dan nilai acuan.
- $\sum \text{Nilai Acuan}$ = jumlah seluruh nilai acuan dari setiap data pengujian.
- 100% = faktor konversi untuk menyatakan hasil dalam bentuk persentase.

Melalui persamaan tersebut, nilai error pada setiap data pengujian diakumulasikan terlebih dahulu, kemudian dibandingkan dengan total nilai acuan. Metode ini menghasilkan satu nilai persentase yang merepresentasikan tingkat error sistem secara keseluruhan, sehingga lebih tepat digunakan untuk mengevaluasi performa sistem dibandingkan hanya melihat persentase error pada masing-masing data pengujian. Nilai persentase error total yang semakin kecil menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang semakin baik terhadap nilai acuan yang ditetapkan.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Konsep Penelitian

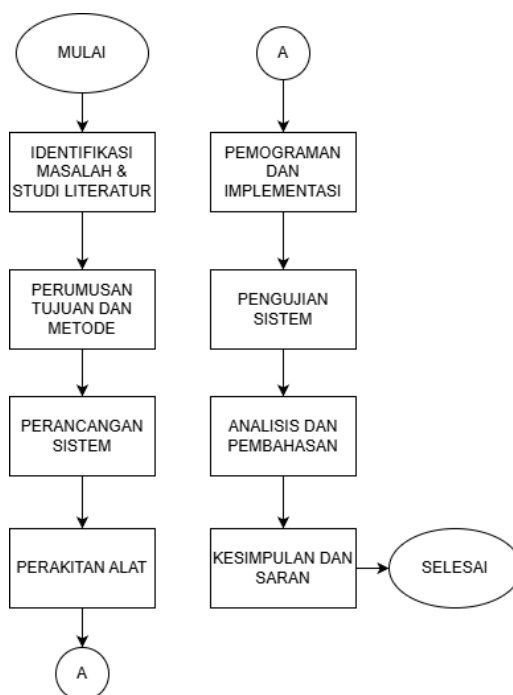
Konsep penelitian merupakan kerangka dasar yang digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian ini. Konsep tersebut mencakup pemahaman terhadap permasalahan, tujuan penelitian, serta pendekatan dan metode yang digunakan dalam merancang sistem *Adaptive cruise control* (ACC) pada sepeda motor listrik. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem *Cruise control* adaptif yang mampu menjaga kecepatan sepeda motor listrik tetap stabil sesuai dengan nilai setpoint yang ditentukan oleh pengendara. Sistem dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 dengan metode *Fuzzy logic* sebagai pengendali utama, yang dipilih karena kemampuannya dalam menangani kondisi nonlinier dan perubahan lingkungan berkendara.

Masukan sistem diperoleh dari beberapa sensor, yaitu sensor GPS untuk mendeteksi kecepatan kendaraan, sensor LIDAR untuk mengukur jarak objek di depan, serta sensor inclinometer untuk mendeteksi kondisi tanjakan dan turunan. Data tersebut diproses menggunakan *Fuzzy logic* untuk menentukan penyesuaian sinyal *throttle* melalui modul Digital to Analog (DAC) MCP4725 yang menghasilkan sinyal analog menuju pengendali motor listrik. Selain pengendalian kecepatan, sistem juga dirancang dengan memperhatikan aspek keselamatan.

Cruise control akan dinonaktifkan secara otomatis ketika terdeteksi jarak objek di depan yang berada di bawah batas aman, kondisi jalan menurun, pengendara menekan rem, atau pengendara mengoperasikan *throttle* secara manual. Sistem juga dilengkapi dengan saklar pemilih mode antara *throttle* manual dan *throttle* berbasis *Cruise control* sebagai langkah pengamanan tambahan. Konsep penelitian ini disusun berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dibahas pada Bab II, sehingga posisi penelitian terhadap penelitian sebelumnya serta unsur keterbaruan (state of the art) dapat ditentukan, khususnya pada integrasi *Fuzzy logic* dengan berbagai sensor pendukung untuk meningkatkan kenyamanan dan keselamatan berkendara.

3.2 Tahapan Penelitian

Penentuan alur penelitian bertujuan untuk mempermudah dalam memahami alur tindakan dan tahapan penelitian tahapan penelitian penyusunan. Diagram alir penelitian adalah representasi visual dari langkah-langkah yang diambil dalam sebuah penelitian dari awal hingga akhir. Diagram alir penelitian membantu memvisualisasikan langkah-langkah ini dalam urutan yang logis, sehingga memudahkan pemahaman tentang bagaimana penelitian tersebut dilakukan dan bagaimana setiap tahapan berhubungan satu sama lain.



Gambar 3. 1 flowchart tahapan penelitian

3.2.1 Identifikasi Masalah dan studi Literatur.

Identifikasi masalah dilakukan untuk mengetahui permasalahan utama yang menjadi dasar dilakukannya penelitian ini. Pada sepeda motor listrik, pengendara harus terus mengatur *throttle* secara manual untuk menjaga kecepatan, terutama saat kondisi jalan berubah seperti tanjakan, turunan, atau adanya kendaraan di depan. Hal ini dapat mengurangi kenyamanan berkendara dan berpotensi menimbulkan risiko keselamatan. Selain itu, sistem *Cruise control* konvensional belum mampu beradaptasi terhadap kondisi lingkungan dan perubahan beban kendaraan. Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem *Cruise control* adaptif yang

mampu menjaga kestabilan kecepatan secara otomatis dengan tetap memperhatikan aspek keselamatan pengendara

3.2.2 Perumusan Tujuan dan Metode

Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi, tujuan penelitian ini adalah merancang dan membangun sistem *Adaptive cruise control* pada sepeda motor listrik berbasis *Fuzzy logic* yang mampu menyesuaikan bukaan *throttle* secara otomatis terhadap perubahan kondisi jalan dan jarak objek di depan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode rancang bangun (*design and development*), yang meliputi tahap perancangan sistem, perakitan perangkat keras, pemrograman, hingga pengujian dan analisis kinerja sistem. Pendekatan *Fuzzy logic* dipilih karena mampu menangani ketidakpastian dan variasi kondisi jalan secara lebih fleksibel dibandingkan metode kontrol konvensional.

3.2.3 Perancangan sistem

Tahap perancangan sistem bertujuan untuk menentukan arsitektur kerja sistem secara keseluruhan. Perancangan meliputi diagram blok sistem yang menggambarkan hubungan antara ESP32 sebagai pengendali utama dengan sensor GPS, sensor LIDAR, dan sensor inclinometer sebagai masukan sistem. Selain itu, dirancang pula sistem keluaran berupa modul Digital to Analog (DAC) MCP4725 sebagai pengatur *throttle*, LCD Nextion sebagai media tampilan informasi, serta buzzer sebagai peringatan keselamatan. Pada tahap ini juga ditentukan alur kerja *Fuzzy logic*, termasuk variabel input, variabel *Output*, dan aturan (*rule base*) yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan kendaraan.

3.2.4 Perakitan Alat

Setelah perancangan sistem selesai, tahap selanjutnya adalah perakitan alat. Perakitan dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen perangkat keras sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. ESP32 dihubungkan dengan sensor-sensor, modul *Digital to Analog (DAC) MCP4725*, LCD Nextion, buzzer, serta saklar pemilih mode. Proses perakitan memperhatikan kerapian instalasi, keamanan sambungan, dan keandalan sistem agar alat dapat bekerja secara stabil saat digunakan pada sepeda motor listrik.

3.2.5 Pemograman dan Implementasi

Tahap pemrograman dilakukan untuk mengimplementasikan algoritma *Fuzzy logic* dan logika kerja sistem ke dalam mikrokontroler ESP32. Program mencakup pembacaan data sensor, proses fuzzifikasi, inferensi fuzzy, dan defuzzifikasi untuk menghasilkan nilai keluaran berupa sinyal pengaturan *throttle*. Selain itu, pada tahap ini juga diimplementasikan logika keselamatan, seperti pemutusan *Cruise control* saat jarak objek terlalu dekat, saat pengendara menekan rem, atau saat sistem mendeteksi kondisi turunan. Implementasi dilakukan secara bertahap dan diuji

3.2.6 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa sistem *Cruise control* adaptif bekerja sesuai dengan perancangan. Pengujian meliputi pengujian sensor, pengujian respon sistem terhadap perubahan kecepatan setpoint, kondisi tanjakan dan turunan, serta pengujian fitur keselamatan seperti deteksi jarak dan pemutusan sistem. Data hasil pengujian dicatat untuk mengetahui tingkat akurasi sensor, respon pengendalian *throttle*, dan stabilitas kecepatan kendaraan.

3.2.7 Analisis dan Pembahasan

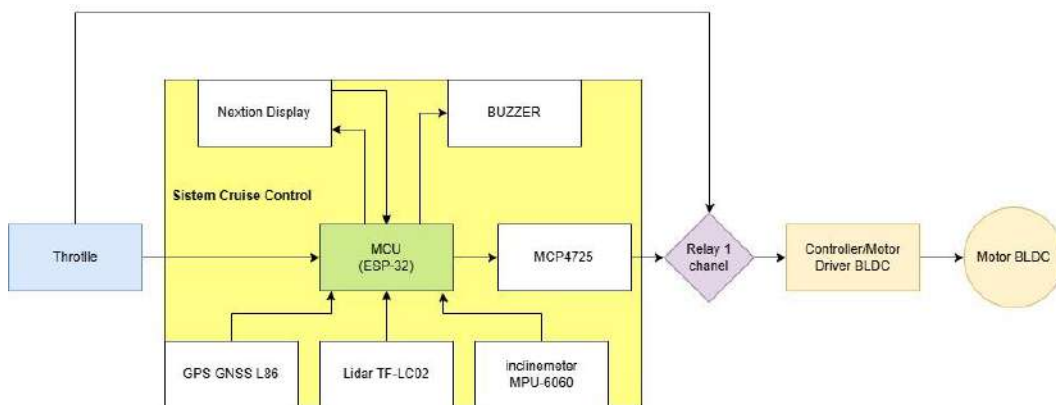
Data yang diperoleh dari hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem secara keseluruhan. Analisis dilakukan dengan membandingkan kecepatan aktual terhadap kecepatan setpoint serta melihat respon sistem pada berbagai kondisi jalan. Pada tahap ini juga dibahas kelebihan dan keterbatasan sistem, termasuk efektivitas penggunaan *Fuzzy logic* dalam menjaga kestabilan kecepatan dan aspek keselamatan yang dihasilkan. Hasil analisis ini menjadi dasar untuk menilai keberhasilan sistem yang dirancang.

3.3 Perencanaan dan Desain

Subbab ini membahas tahapan perencanaan dan desain sistem *Adaptive cruise control* pada sepeda motor listrik berbasis *Fuzzy logic*. Perencanaan dan desain dilakukan sebagai tindak lanjut dari konsep penelitian yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya, dengan tujuan menerjemahkan konsep tersebut ke dalam bentuk rancangan teknis yang dapat diimplementasikan. Pada tahap ini disusun

desain arsitektur sistem, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, serta alur kerja sistem yang menjadi acuan dalam proses perakitan dan pengujian.

3.3.1 Prinsip Kerja Sistem

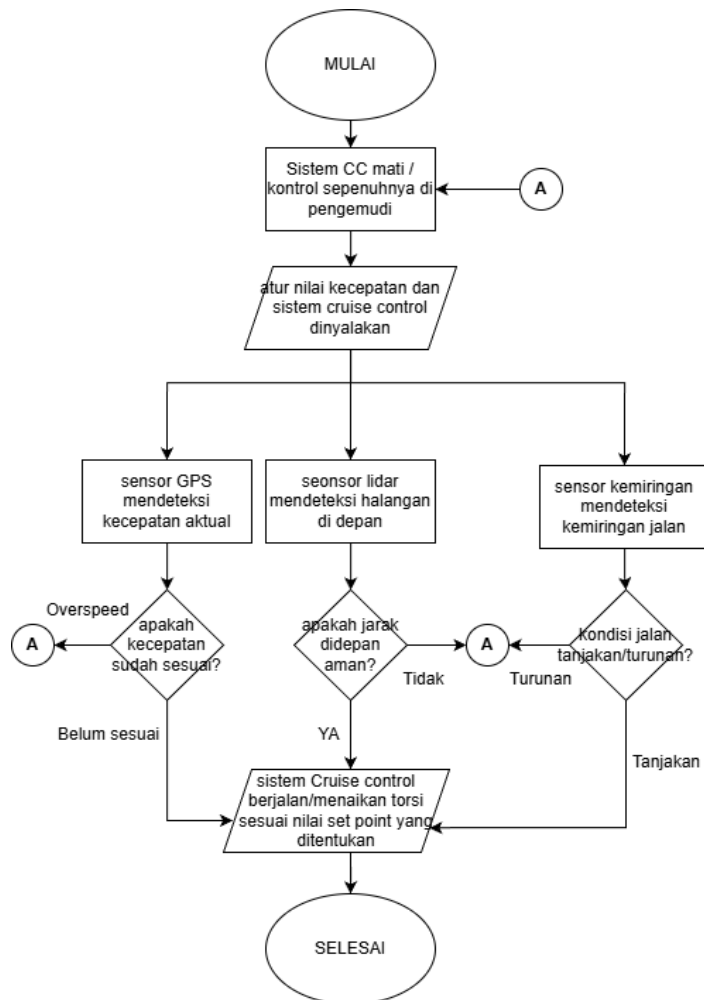


Gambar 3. 2 Prinsip kerja sistem dalam Blok diagram

Gambar 3.2 menunjukkan blok diagram sistem *Cruise control* adaptif pada sepeda motor listrik yang terdiri dari sensor, mikrokontroler, aktuator, dan antarmuka pengguna. Sistem menerima masukan dari *throttle* pengendara, kemudian data diproses oleh mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali utama. ESP32 memperoleh informasi dari GPS GNSS L66 untuk mengukur kecepatan kendaraan, LiDAR TF-LC02 untuk mendeteksi jarak objek di depan, serta MPU-6050 untuk membaca kemiringan jalan. Data dari ketiga sensor tersebut diolah oleh ESP32 untuk menghasilkan sinyal kendali yang sesuai dengan kondisi kendaraan dan lingkungan. Sinyal kendali kemudian dikirim ke modul MCP4725 yang berfungsi mengubah data digital menjadi tegangan analog menyerupai sinyal *throttle*. Selanjutnya, sinyal diteruskan melalui relay 1 channel yang berfungsi sebagai pemilih antara mode pengendalian manual dan mode *Cruise control* sebelum masuk ke kontroler atau motor driver BLDC untuk mengatur putaran motor. Sebagai antarmuka pengguna, sistem dilengkapi dengan Nextion Display untuk menampilkan informasi seperti kecepatan, jarak objek, kemiringan jalan, dan status *Cruise control*. Selain itu, buzzer digunakan sebagai indikator peringatan ketika terjadi kondisi tertentu, seperti jarak objek yang terlalu dekat atau gangguan pada sistem. Dengan integrasi komponen-komponen tersebut, sistem *Cruise control* adaptif mampu mengatur kecepatan kendaraan secara otomatis, menyesuaikan

kondisi jalan dan lingkungan, serta meningkatkan kenyamanan dan keselamatan pengendara.

3.3.2 Diagram Alir Cara Kerja Sistem

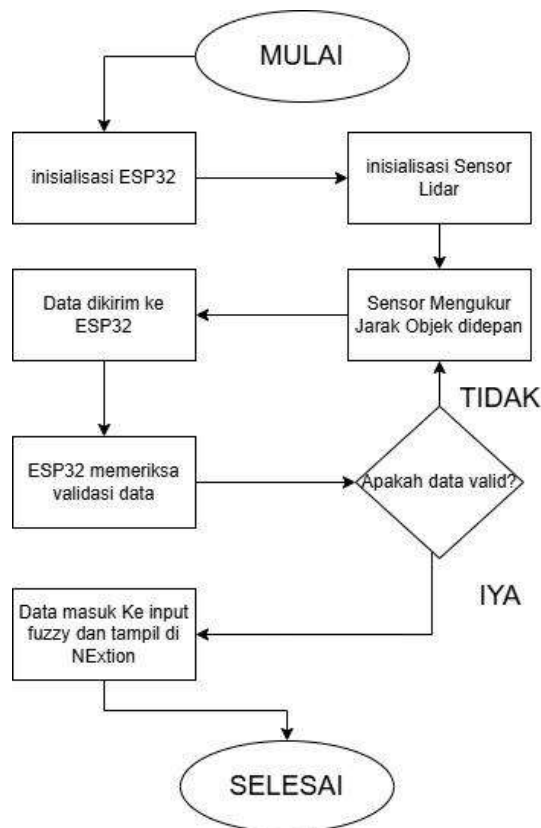


Gambar 3. 3 Flowchart Kerja Sistem

Gambar 3.3 menjelaskan tentang flowchart kerja sistem *Cruise control* Adaptif (ACC) , dimulai saat pengemudi mengatur kecepatan yang akan di tahan oleh sistem, kemudia sensor sensor input seperti GPS, sensor Lidar , dan sensor Kemiringan akan mendeteksi nilai nilai yang ada . Sensor GPS akan membaca kecepatan aktual dan mengirimnnya ke ESP32, sensor Lidar akan mendeteksi halangan didepan , dan sensor kemiringan akan mendeteksi tingkat kemiringan jalan. Jika setpoint kecepatan sudah di tentukan , maka *Cruise control* akan bekerja, sensor Lidar mendeteksi area depan kendaraan , jika pada area tersebut aman / tidak ada halangan maka kecepatan motor akan tetap sesuai set point awal,

dan jika ada halangan di depan (dalam jangka minimal yang ditentukan) , maka sistem akan mati secara otomatis dan mengembalikan kontrol manual ke pengemudi secara manual sekaligus menyalakan buzzer sebagai peringatan. Pada saat *Cruise control* aktif kemudian kendaraan melewati jalan yang menanjak , maka sensor kemiringan akan membaca tingkat kemiringan yang akan dilewati dan akan otomatis meningkatkan kecepatan, jika kendaraan melewati jalan yang menurun maka sensor kemiringan akan membaca tingkat kemiringan dan akan otomatis mematikan sistem *Cruise control* sekaligus menyalakan buzzer sebagai tanda peringatan.

3.3.3 Diagram Alir Sensor Lidar TF-LC02

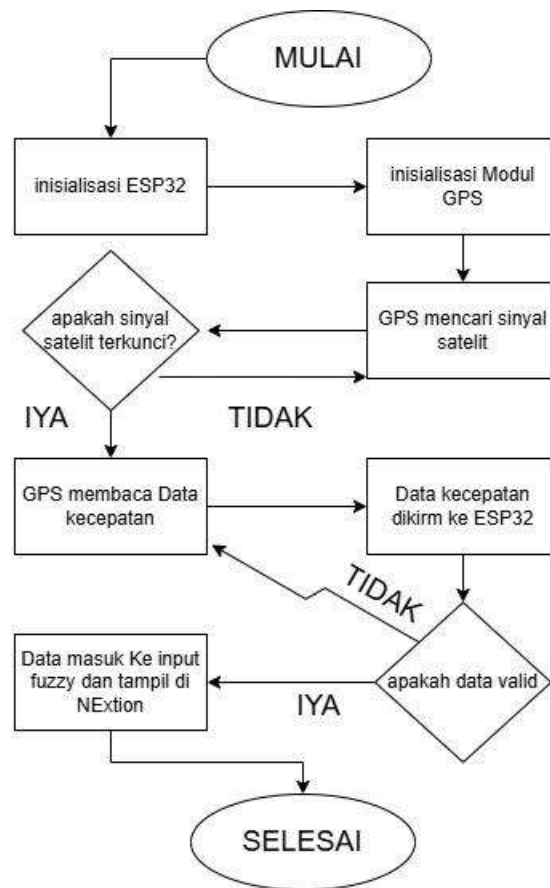


Gambar 3. 4 Diagram Alir Sensor Lidar TF-LC02

Gambar 3.4 adalah diagram alir sensor LiDAR TF-LC02 menjelaskan proses pembacaan jarak antara sepeda motor listrik dengan objek atau kendaraan di depannya. Proses diawali dengan inisialisasi komunikasi UART antara ESP32 dan sensor LiDAR. Setelah berhasil diinisialisasi, sensor secara kontinu mengukur jarak objek di depan kendaraan dan mengirimkan hasil pengukuran ke ESP32.

Selanjutnya, ESP32 melakukan pemeriksaan validitas data untuk memastikan data yang diterima tidak mengalami kesalahan komunikasi. Apabila data tidak valid, sistem akan mengulangi proses pembacaan hingga diperoleh data yang benar. Data jarak yang valid kemudian digunakan sebagai salah satu variabel masukan pada sistem *fuzzy logic* dan ditampilkan pada layar Nxtion sebagai informasi bagi pengguna.

3.3.4 Diagram Alir Sensor GPS GNSS L86

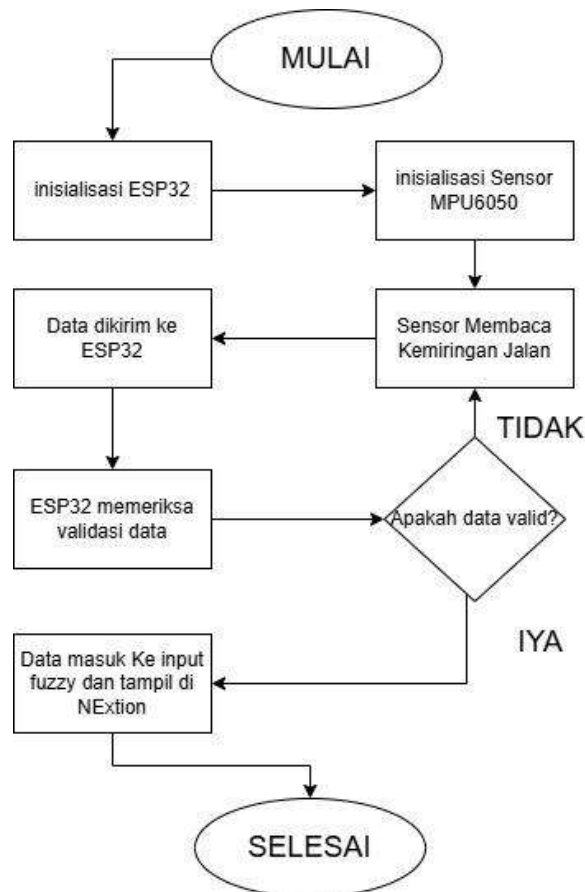


Gambar 3. 5 Diagram Alir Sensor GPS

Gambar 3.5 adalah diagram alir sensor GPS GNSS L86 menunjukkan proses pembacaan kecepatan kendaraan menggunakan data satelit GPS. Tahapan dimulai dengan inisialisasi komunikasi UART antara ESP32 dan modul GPS. Setelah proses inisialisasi selesai, modul GPS akan mencari sinyal satelit hingga memperoleh status *GPS Fix*. Apabila sinyal belum terkunci, sistem akan menunggu hingga koordinat dan kecepatan dapat diperoleh secara akurat. Setelah memperoleh data yang valid, ESP32 membaca nilai kecepatan kendaraan dan melakukan

pemeriksaan validitas data. Data kecepatan yang telah valid kemudian digunakan sebagai masukan sistem *fuzzy logic* serta ditampilkan pada layar Nxtion untuk memudahkan proses pemantauan kondisi kendaraan.

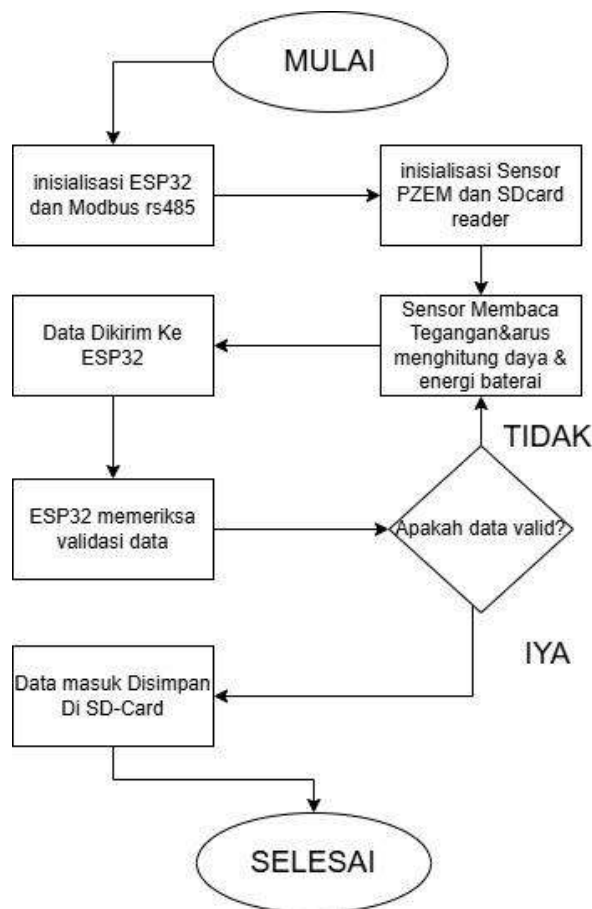
3.3.5 Diagram Alir Sensor MPU6050



Gambar 3. 6 Diagram Alir Sensor MPU6050

Gambar 3.6 adalah Diagram alir sensor MPU6050 menggambarkan proses pengukuran kemiringan jalan yang dilalui kendaraan. Proses dimulai dengan inisialisasi komunikasi I2C antara ESP32 dan sensor MPU6050. Selanjutnya, sensor membaca data percepatan dari accelerometer yang kemudian diolah oleh ESP32 untuk memperoleh nilai sudut kemiringan (pitch). Agar hasil pembacaan lebih stabil, dilakukan proses penyaringan (filtering) sehingga pengaruh getaran kendaraan dapat dikurangi. Setelah data dinyatakan valid, nilai kemiringan digunakan sebagai salah satu variabel masukan pada sistem *fuzzy logic* dan ditampilkan pada layar Nxtion sebagai informasi kondisi jalan yang sedang dilalui.

3.3.6 Diagram Alir Sensor PZEM-017 dan Logger Data



Gambar 3. 7 Diagram Alir Sensor PZEM dan Logger Data

Gambar 3.7 adalah diagram alir sensor PZEM-017 menjelaskan proses pemantauan parameter kelistrikan pada sepeda motor listrik. Tahapan diawali dengan inisialisasi komunikasi Modbus RTU melalui modul RS485 antara ESP32 dan PZEM-017. Setelah komunikasi berhasil, sensor membaca nilai tegangan baterai dan arus yang mengalir pada sistem. Berdasarkan kedua parameter tersebut, PZEM-017 secara otomatis menghitung daya listrik dan energi yang telah digunakan selama pengujian. Seluruh data hasil pengukuran kemudian dikirimkan ke ESP32 untuk diperiksa validitas komunikasinya. Apabila komunikasi berhasil, data ditampilkan pada layar Nextion serta disimpan ke dalam SD Card sebagai data logger untuk keperluan analisis konsumsi daya dan energi pada Bab 4.

3.3.7 Analisis Kebutuhan Sistem

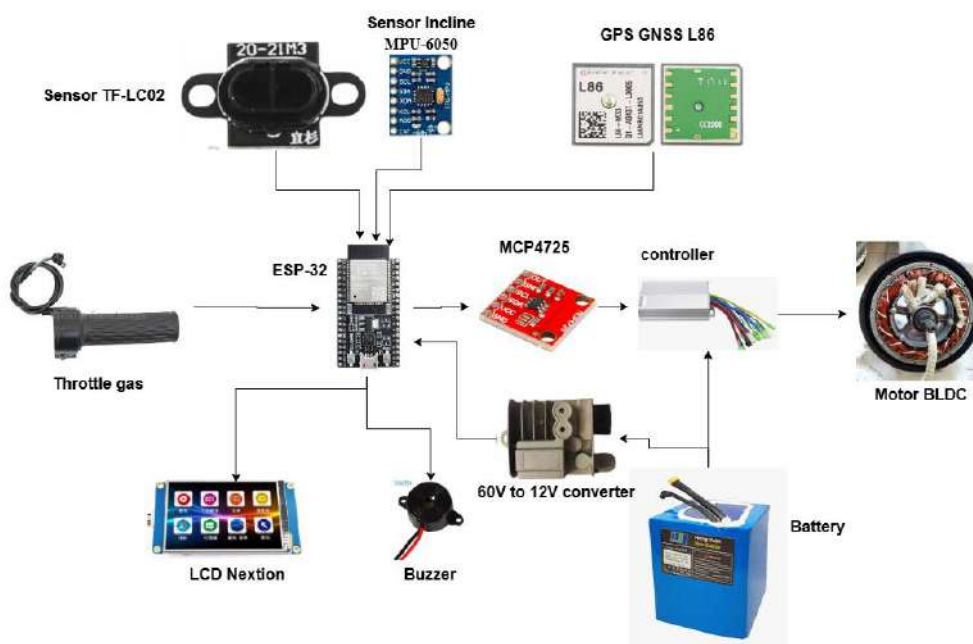
Analisis kebutuhan sistem dilakukan untuk mengidentifikasi seluruh komponen yang diperlukan dalam perancangan dan implementasi sistem *adaptive*

cruise control pada sepeda motor listrik. Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap komponen yang digunakan telah sesuai dengan fungsi dan kebutuhan sistem, sehingga mampu mendukung proses akuisisi data, pengolahan informasi, serta pengendalian sistem secara optimal. Daftar komponen yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Tabel Komponen yang Dibutuhkan

No	Komponen yang Dibutuhkan	Tipe	Jumlah
1	Sepeda Listrik	Viar Q1	1 Unit
2	ESP 32	30 Pin	1 Unit
3	LCD Nxtion	NX8048T050	1 Unit
4	Sensor GPS	GNSS L86	1 Unit
5	Sensor Lidar / jarak	TF-LC02	1 Unit
6	Sensor kemiringan	MPU6050	1 Unit
7	Modul <i>Digital To Analog</i>	MCP4725	1 Unit
8	Baterai	Litihium-Ion	1 Unit
9	Buzzer	DC	1 Unit
10	Sensor PZEM	PZEM-017	1 Unit

3.3.8 Perencanaan Perangkat keras



Gambar 3. 8 Perencanaan Perangkat keras

Gambar 3.8 menunjukkan diagram keterhubungan komponen perangkat keras pada sistem *Cruise control* adaptif sepeda motor listrik berbasis *Fuzzy logic*. Pada diagram ini, ESP32 berperan sebagai pusat kendali yang menerima masukan

dari berbagai sensor, memproses data menggunakan algoritma *Fuzzy logic*, dan menghasilkan sinyal kendali untuk aktuator *throttle*.

Masukan utama sistem berasal dari *throttle* gas, yang merepresentasikan perintah kecepatan dari pengendara. Sinyal *throttle* ini dibaca oleh ESP32 sebagai referensi setpoint ketika sistem *Cruise control* diaktifkan. Selain itu, ESP32 menerima data kecepatan aktual dari sensor GPS Ublox Neo-8M, yang digunakan untuk membandingkan kecepatan kendaraan terhadap nilai setpoint. Informasi kondisi jalan diperoleh dari sensor inclinometer MPU-6050, yang mendeteksi sudut kemiringan kendaraan sehingga sistem dapat mengenali kondisi tanjakan atau turunan. Untuk aspek keselamatan, sensor LIDAR Lite digunakan untuk mengukur jarak objek di depan kendaraan secara real-time.

Seluruh data sensor tersebut diproses oleh ESP32 menggunakan metode *Fuzzy logic* untuk menentukan besaran koreksi *throttle* yang diperlukan. Keluaran dari ESP32 kemudian dikirimkan ke modul Digital to Analog (DAC) MCP4725, yang berfungsi mengubah sinyal digital menjadi sinyal analog yang merepresentasikan bukaan gas. Sinyal analog ini diteruskan ke *kontroler* atau motor *driver* BLDC, yang selanjutnya mengatur kerja motor BLDC sebagai penggerak utama sepeda motor listrik. Sumber daya sistem disuplai oleh baterai, yang menyuplai energi ke motor driver dan motor BLDC.

Sebagai antarmuka pengguna, sistem dilengkapi dengan LCD Nextion yang menampilkan informasi seperti kecepatan, status *Cruise control*, dan kondisi sistem. Selain itu, buzzer digunakan sebagai indikator peringatan apabila terjadi kondisi tidak aman, seperti jarak objek terlalu dekat, sistem dinonaktifkan otomatis, atau gangguan tertentu. Dengan konfigurasi ini, Gambar 3.3 memperlihatkan integrasi lengkap antara sensor, pengendali, aktuator, dan sistem antarmuka yang memungkinkan *Cruise control* adaptif bekerja secara stabil, adaptif, dan aman.

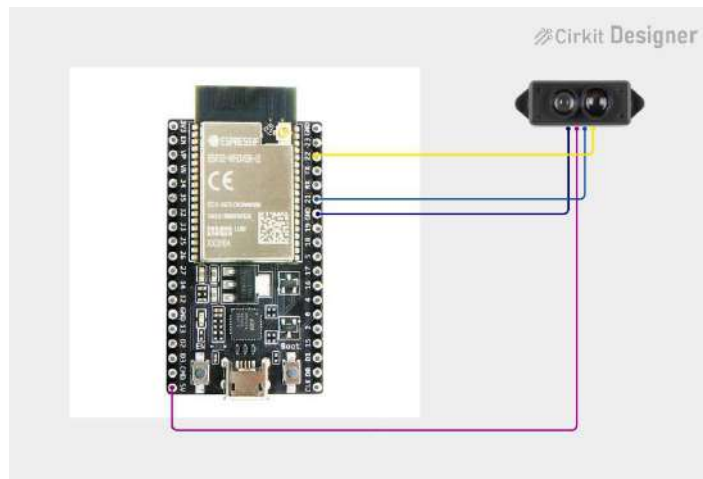
3.4 Wiring Diagram perangkat keras

Perancangan dan wiring sistem perangkat keras dilakukan untuk mengintegrasikan seluruh sensor, aktuator, dan modul pendukung ke dalam satu sistem kendali berbasis ESP32. Sumber daya sistem berasal dari baterai sepeda motor listrik yang diturunkan tegangannya menggunakan buck converter agar sesuai dengan kebutuhan sistem kontrol. Keluaran buck converter digunakan untuk

mencatu ESP32, sementara sensor-sensor memperoleh catu daya dari ESP32 untuk menjaga kestabilan tegangan dan kesamaan referensi ground.

ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang membaca data dari sensor GPS, sensor kemiringan MPU-6050, dan sensor jarak, kemudian memproses data tersebut menggunakan algoritma kendali. Sensor GPS dan display Nextion dihubungkan ke ESP32 melalui komunikasi serial UART, sedangkan MPU-6050 terhubung menggunakan komunikasi I2C. *Throttle* sepeda motor listrik digunakan sebagai masukan manual pengendara dan dibaca oleh ESP32 melalui pin ADC. Untuk menghasilkan sinyal *throttle* keluaran yang sesuai dengan kontroler motor, digunakan modul Digital to Analog (DAC) MCP4725 yang dikendalikan oleh ESP32 melalui pin digital. Kontroler motor dihubungkan langsung ke baterai melalui saklar utama sebagai jalur daya utama sistem tenaga, sedangkan ESP32 tidak terhubung langsung ke jalur daya motor, melainkan hanya mengatur sinyal *throttle* yang masuk ke kontroler. Secara keseluruhan, konfigurasi wiring ini dirancang agar sistem bekerja secara aman, stabil, dan mendukung implementasi sistem *Cruise control* adaptif berbasis *Fuzzy logic*.

3.4.1 Wiring Diagram Sensor Lidar TF-LC02



Gambar 3. 9 Wiring ESP32 ke Sendor Lidar

Sensor LIDAR TF-LC02 digunakan sebagai perangkat pengukur jarak objek di depan sepeda motor listrik dalam sistem *Cruise control* adaptif. Sensor ini diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP32 menggunakan komunikasi Inter-Integrated Circuit (I²C) karena memiliki kestabilan yang baik dan efisien dalam penggunaan pin. LIDAR TF-LC02 bekerja pada tegangan 5 V, sedangkan ESP32

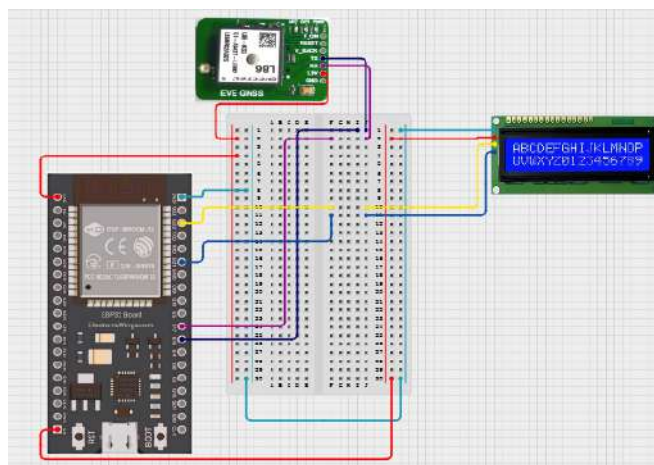
menggunakan level logika 3,3 V. Perbedaan level tegangan tersebut tidak menjadi kendala karena sensor telah dilengkapi dengan level shifter internal pada jalur I²C, sehingga memungkinkan koneksi langsung tanpa rangkaian tambahan.

Koneksi I²C dilakukan melalui pin SDA (GPIO 21) dan SCL (GPIO 22) pada ESP32 yang dihubungkan ke pin SDA dan SCL sensor. Pin MODE pada sensor dihubungkan ke ground untuk mengaktifkan mode I²C, sedangkan pin PWR EN dihubungkan ke tegangan 5 V agar sensor selalu aktif. Catu daya sistem diperoleh dari baterai sepeda motor listrik yang diturunkan menggunakan DC-DC buck converter menjadi tegangan 5 V. Tegangan ini digunakan untuk mensuplai sensor LIDAR TF-LC02 dan pin VIN ESP32, dengan seluruh sistem menggunakan ground yang sama untuk menjaga kestabilan komunikasi. Dengan konfigurasi tersebut, sensor LIDAR TF-LC02 dapat bekerja secara optimal sebagai input jarak yang selanjutnya diproses oleh ESP32 sebagai bagian dari pengendalian kecepatan berbasis *Fuzzy logic*. Berikut adalah Tabel perencanaan wiring :

Tabel 3. 2 wiring sensor lidar ke esp32

Sensor	ESP32
VCC	3.3V
GND	GND
RX	GPIO 17
TX	GPIO 16
CS	GND
NC	X (tidak digunakan)

3.4.2 Wiring Diagram GPS GNSS L86



Gambar 3. 10 Wiring ESP32 ke Sensor GPS GNSS L86

Sensor GPS GNSS L86 digunakan dalam penelitian ini untuk memperoleh informasi posisi dan kecepatan kendaraan sebagai bagian dari sistem *Cruise control*

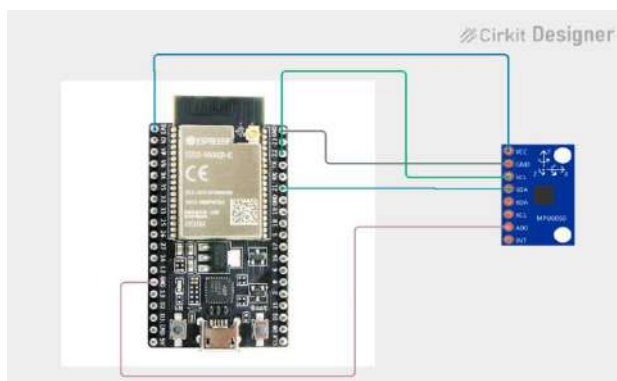
adaptif. Data dari sensor GPS dikirimkan dalam format NMEA dan dimanfaatkan oleh mikrokontroler ESP32 sebagai masukan sistem pengendalian. Komunikasi antara ESP32 dan sensor GPS GNSS L86 dilakukan menggunakan antarmuka Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART). Pemilihan UART didasarkan pada kemudahan implementasi serta kompatibilitas penuh antara sensor GPS dan ESP32. Untuk menghindari gangguan pada proses pemrograman dan debugging, komunikasi GPS tidak menggunakan UART bawaan USB, melainkan UART2 pada ESP32.

Koneksi UART dilakukan dengan menghubungkan pin TX pada sensor GPS ke pin RX (GPIO 16) pada ESP32, serta pin RX pada sensor GPS ke pin TX (GPIO 17) pada ESP32. Sensor GPS disuplai menggunakan tegangan 3,3 V atau 5 V sesuai dengan spesifikasi modul yang digunakan, dengan level logika komunikasi sebesar 3,3 V sehingga dapat dihubungkan langsung ke ESP32 tanpa memerlukan rangkaian konversi level tambahan. Seluruh sistem menggunakan ground yang sama untuk menjaga kestabilan komunikasi data. Berikut adalah Tabel perencanaan wiring :

Tabel 3. 3 Wiring GPS GNSS L86 ke ESP32

Sensor	ESP32
VCC	5V
GND	GND
RX	GPIO 17
TX	GPIO 16

3.4.3 Wiring Diagram sensor MPU6050 ke sensor ESP32



Gambar 3. 11 Wiring ESP32 ke Sensor MPU-6050

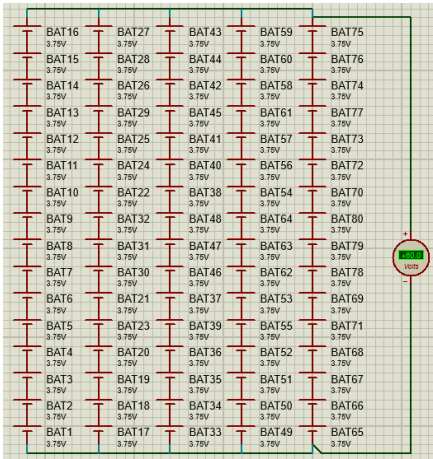
Sensor MPU-6050 digunakan dalam penelitian ini sebagai perangkat untuk mengukur percepatan dan kecepatan sudut yang merepresentasikan kondisi

kemiringan dan dinamika gerak sepeda motor listrik. Data yang dihasilkan sensor ini dimanfaatkan sebagai salah satu masukan pendukung dalam sistem *Cruise control* adaptif berbasis *Fuzzy logic*. Komunikasi antara sensor MPU-6050 dan mikrokontroler ESP32 dilakukan menggunakan antarmuka Inter-Integrated Circuit (I²C) karena memiliki keandalan yang baik serta efisiensi penggunaan pin. Sensor MPU-6050 dioperasikan pada tegangan kerja 3,3 V, yang sesuai dengan level logika ESP32, sehingga dapat dihubungkan secara langsung tanpa memerlukan rangkaian konversi level tambahan. Koneksi I²C dilakukan dengan menghubungkan pin Serial Data (SDA) pada sensor ke pin GPIO 21 ESP32 dan pin Serial Clock (SCL) ke GPIO 22 ESP32. Pin AD0 pada sensor dihubungkan ke ground untuk menetapkan alamat I²C default 0x68, sedangkan pin INT tidak digunakan dalam penelitian ini. Seluruh sistem menggunakan ground yang sama (common ground) untuk menjaga kestabilan komunikasi data. Berikut adalah Tabel perencanaan wiring :

Tabel 3. 4 Wiring MPU6050 ke ESP32

Sensor	ESP32
VCC	3.3V
GND	GND
SCL	GPIO 22
SDA	GPIO 21
INT	X (tidak digunakan)

3.4.4 Wiring Diagram Battery

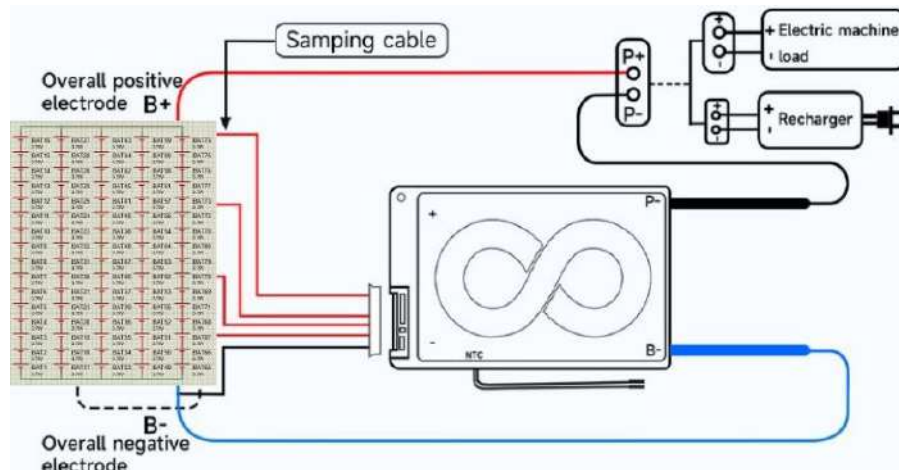


Gambar 3. 12 Wiring Batterai

Wiring diagram baterai pada sistem ini dirancang menggunakan beberapa sel baterai dengan tegangan nominal sebesar 3,7 V yang disusun secara seri dan

paralel untuk mencapai kebutuhan tegangan dan kapasitas yang diinginkan. Berdasarkan gambar, baterai-baterai tersebut disusun dalam beberapa kelompok paralel, kemudian masing-masing kelompok dihubungkan secara seri sehingga menghasilkan tegangan total sekitar 60 V. Baterai yang dirangkai seri digunakan untuk meningkatkan tegangan total sistem, di mana tegangan tiap sel dijumlahkan, sedangkan rangkaian paralel digunakan untuk meningkatkan kapasitas (Ah) dan kemampuan arus dari baterai. Dengan kombinasi ini, sistem tidak hanya memperoleh tegangan yang sesuai, tetapi juga daya tahan yang lebih lama saat digunakan.

3.4.5 Wiring Diagram Battery Management System (BMS)

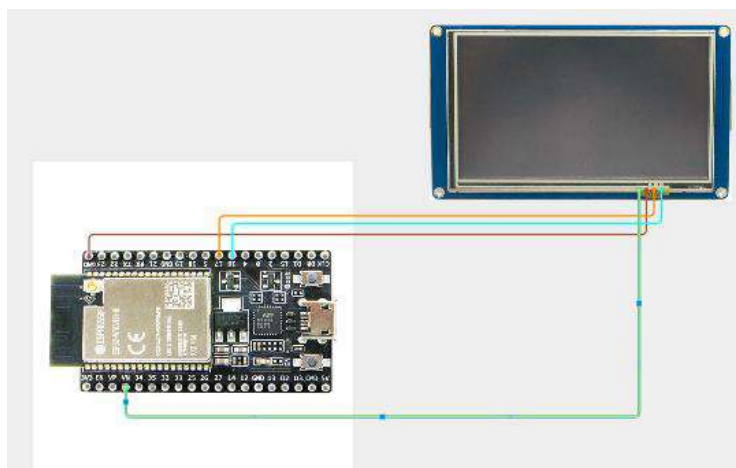


Gambar 3. 13 Wiring Battery Management System

Wiring antara baterai dan *Battery Management System* (BMS) dilakukan untuk memastikan proses monitoring dan proteksi pada setiap sel baterai dapat berjalan dengan baik. Berdasarkan diagram, setiap kelompok sel baterai yang telah disusun secara seri dihubungkan ke BMS melalui kabel sensing (*sampling cable*). Kabel ini berfungsi untuk membaca tegangan pada tiap titik sambungan antar sel, sehingga BMS dapat memantau kondisi masing-masing sel secara individual. Terminal utama baterai (B+ dan B-) dihubungkan langsung ke BMS sebagai sumber tegangan, sedangkan kabel balancing terhubung ke setiap sel untuk memungkinkan proses penyeimbangan tegangan. Pada sisi keluaran, terminal P+ dan P- digunakan untuk menghubungkan beban dan charger sehingga seluruh arus melewati BMS dan dapat diproteksi dari kondisi abnormal. Selain itu, BMS dilengkapi sensor suhu

(NTC) untuk memantau temperatur baterai. Dengan konfigurasi ini, sistem baterai dapat bekerja secara optimal dan aman.

3.4.6 Wiring Diagram Nextion Display ke ESP32



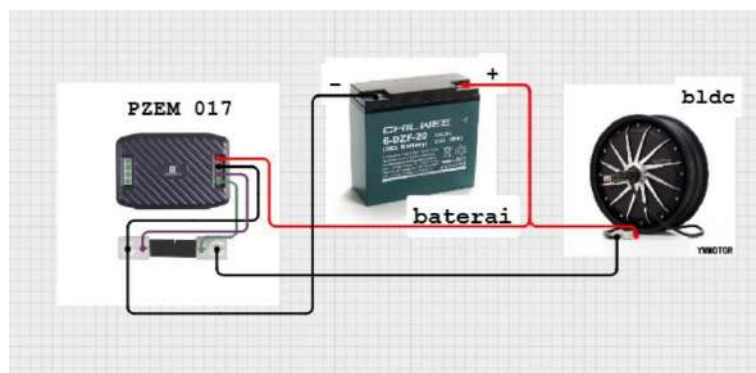
Gambar 3. 14 Wiring ESP32 ke Nextion Display

Nextion *Display* digunakan dalam penelitian ini sebagai antarmuka tampilan (*Human Machine Interface/HMI*) untuk menampilkan informasi kerja sistem *Cruise control* adaptif, seperti kecepatan kendaraan, jarak objek di depan, serta status pengendalian. Selain itu, Nextion Display juga memungkinkan interaksi pengguna dengan sistem melalui elemen tombol dan indikator yang ditampilkan pada layar. Komunikasi antara ESP32 dan Nextion *Display* dilakukan menggunakan antarmuka *Universal Asynchronous Receiver Transmitter* (UART). Antarmuka ini dipilih karena memiliki kestabilan komunikasi yang baik serta kemudahan dalam pertukaran data antara mikrokontroler dan modul tampilan. Untuk menghindari gangguan pada proses pemrograman dan *debugging* ESP32, komunikasi Nextion Display tidak menggunakan UART utama, melainkan UART2. Koneksi UART dilakukan dengan menghubungkan pin TX pada Nextion Display ke pin RX (GPIO 16) pada ESP32, serta pin RX pada Nextion Display ke pin TX (GPIO 17) pada ESP32. Nextion Display dioperasikan pada tegangan 5 V, yang disuplai dari sistem catu daya utama melalui DC-DC buck converter. Meskipun Nextion Display menggunakan level logika 5 V, komunikasi serial tetap dapat dilakukan secara langsung dengan ESP32 yang bekerja pada level logika 3,3 V. Seluruh rangkaian menggunakan ground yang sama (*common ground*) untuk menjaga kestabilan komunikasi data. Berikut adalah Tabel perencanaan wiring:

Tabel 3. 5 Tabel perencanaan Wiring Nextion Display ke ESP32

Nextion	ESP32
VCC	5V
GND	GND
RX	GPIO17
TX	GPIO16

3.4.7 Wiring Diagram PZEM-017



Gambar 3. 15 Wiring Diagram Sensor PZEM-017

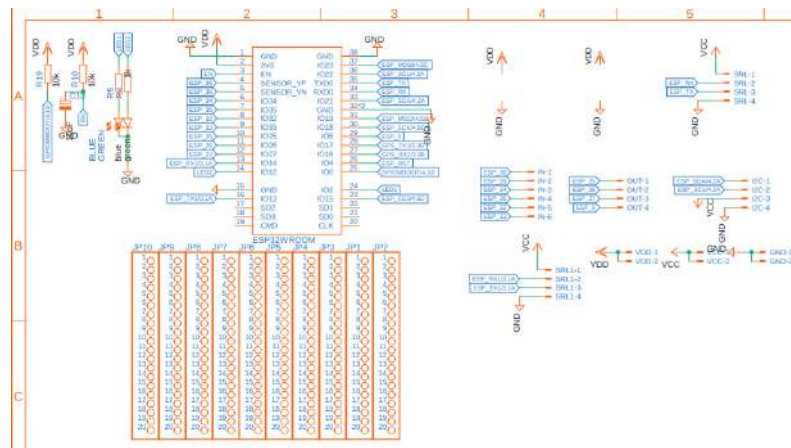
Gambar tersebut menunjukkan alur pengukuran tegangan dan arus baterai sepeda listrik yang disalurkan ke motor BLDC, dengan PZEM-017 sebagai sensor utama. Alur dimulai dari baterai yang berfungsi sebagai sumber energi. Terminal positif baterai (garis merah) mengalirkan daya menuju motor BLDC sebagai beban utama, sementara terminal negatif (garis hitam) menjadi jalur arus balik. PZEM-017 dipasang secara seri pada jalur arus menggunakan shunt resistor yang terletak pada sisi negatif (*low-side*). Ketika motor BLDC beroperasi, arus yang mengalir dari baterai menuju motor akan melewati shunt tersebut. Penurunan tegangan kecil pada shunt inilah yang digunakan oleh PZEM-017 untuk menghitung besar arus yang mengalir. Dibawah ini adalah table untuk menghubungkan dari Pzem-017 (max485) ke ESP32:

Tabel 3. 6 Wiring PZEM-017 ke ESP32

PZEM-017(max485)	ESP32
VCC	5V
GND	GND
RO	GPIO16
DI	GPIO17
RE & DE	GPIO4

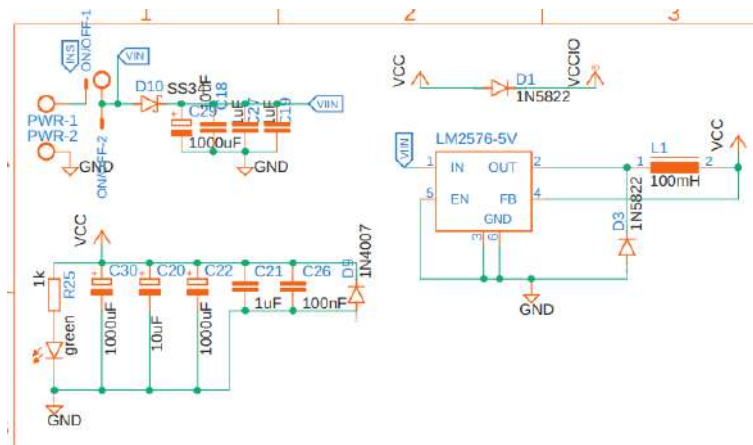
3.5 Perencanaan Desain Skematik *Printed Circuit Board (PCB)*

Perancangan skematik PCB merupakan tahap awal dalam proses pengembangan perangkat keras yang bertujuan untuk menyusun hubungan antar komponen elektronik sesuai dengan fungsi sistem yang dirancang. Pada tahap ini, seluruh komponen seperti mikrokontroler, sensor, aktuator, modul komunikasi, serta rangkaian catu daya dihubungkan berdasarkan diagram kelistrikan sehingga setiap sinyal dan jalur daya dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan sistem *Adaptive cruise control*. Skematik yang telah dirancang kemudian menjadi acuan dalam proses pembuatan layout PCB, sehingga posisi komponen dan jalur koneksi pada papan rangkaian dapat direalisasikan dengan benar.



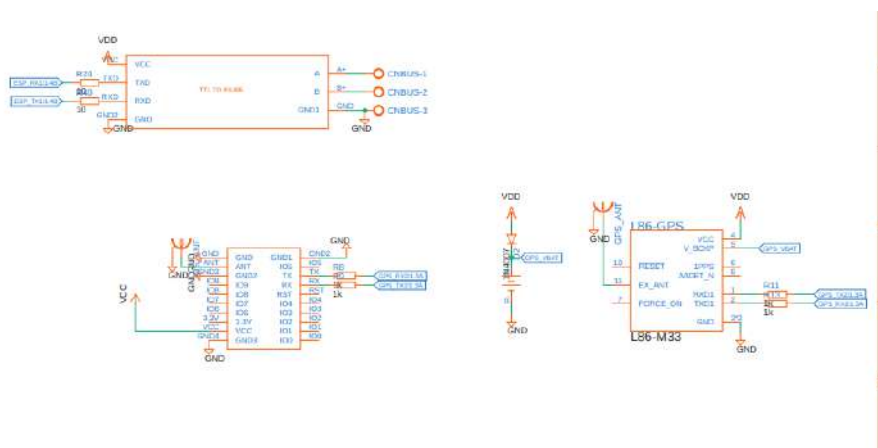
Gambar 3. 16 Desain PCB Input dan Output

Gambar 3.16 menunjukkan skematik rangkaian PCB yang dirancang sebagai pusat integrasi seluruh komponen pada sistem *Adaptive cruise control* (ACC) berbasis ESP32. ESP32 berfungsi sebagai mikrokontroler utama yang mengendalikan proses pembacaan sensor, pengolahan data, serta pengiriman sinyal kendali ke aktuator. Selain itu, pada PCB juga terdapat rangkaian catu daya, rangkaian indikator LED, konektor input dan output, serta header untuk menghubungkan berbagai modul eksternal seperti sensor GNSS L86, LiDAR, MPU6050, PZEM-017, modul MCP4725, relay, Nextion HMI, dan SD Card Reader. Seluruh komponen dirancang pada satu papan PCB untuk menghasilkan sistem yang lebih ringkas, rapi, mudah dipasang, serta meningkatkan keandalan koneksi antarperangkat.



Gambar 3. 17 Desain Skematik Power Supply

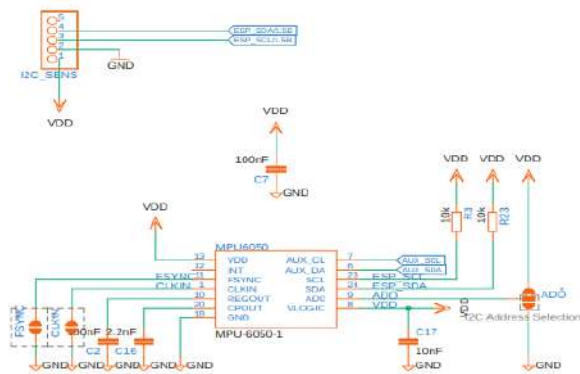
Gambar 3.17 menunjukkan rangkaian catu daya yang digunakan untuk menyuplai seluruh sistem *Adaptive cruise control*. Sumber tegangan berasal dari DC-DC Step-Down Converter 60 V ke 12 V, kemudian diturunkan kembali menjadi 5 V untuk memenuhi kebutuhan tegangan kerja mikrokontroler dan seluruh modul pendukung. Rangkaian ini dirancang untuk menghasilkan tegangan yang stabil sehingga seluruh komponen dapat beroperasi secara optimal selama sistem dijalankan.



Gambar 3. 18 Desain Skematik Komunikasi dan GPS

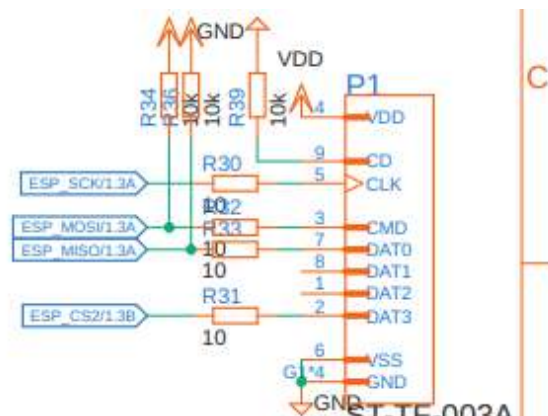
Gambar 3.18 menunjukkan skematik rangkaian komunikasi dan sistem navigasi yang digunakan pada penelitian. Rangkaian ini terdiri dari modul GNSS L86 sebagai sensor untuk memperoleh data posisi dan kecepatan kendaraan, antenna GPS aktif untuk meningkatkan kualitas penerimaan sinyal satelit, serta modul TTL to RS485 sebagai antarmuka komunikasi serial dengan perangkat yang

menggunakan protokol RS485. Seluruh modul dihubungkan dengan mikrokontroler ESP32 melalui antarmuka UART sehingga proses pertukaran data dapat berlangsung secara stabil dan mendukung kinerja sistem *Adaptive cruise control*.



Gambar 3. 19 Desain Skematik Sensor MPU6050

Gambar 3.19 menunjukkan skematik rangkaian antarmuka sensor MPU6050 yang digunakan untuk mengukur kemiringan kendaraan. Sensor MPU6050 berkomunikasi dengan mikrokontroler ESP32 menggunakan antarmuka I²C, sehingga proses pengiriman data dapat dilakukan melalui dua jalur komunikasi, yaitu SDA dan SCL. Data kemiringan yang diperoleh dari sensor selanjutnya digunakan sebagai salah satu parameter masukan pada sistem *Adaptive cruise control* berbasis *Fuzzy logic*. Selain itu, rangkaian juga dilengkapi dengan konektor I²C sehingga memudahkan proses pemasangan dan pemeliharaan sensor.

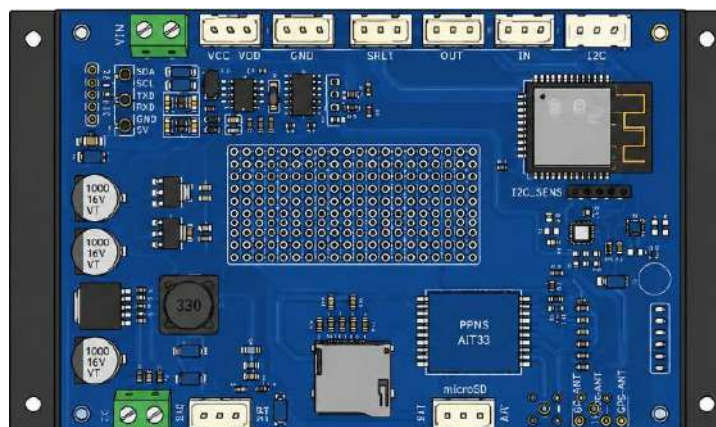


Gambar 3. 20 Desain Skematik SD-Card Reader

Gambar 3.20 menunjukkan skematik rangkaian modul SD Card yang dihubungkan dengan mikrokontroler ESP32 menggunakan antarmuka Serial Peripheral Interface (SPI). Antarmuka SPI memanfaatkan jalur MOSI, MISO, SCK, dan CS sebagai media komunikasi antara ESP32 dan kartu memori. Pada penelitian ini, modul SD Card berfungsi sebagai data logger untuk menyimpan data hasil pengujian sistem, seperti data sensor, kecepatan kendaraan, jarak objek, kemiringan jalan, serta parameter kelistrikan yang diperoleh selama pengujian. Dengan adanya media penyimpanan ini, seluruh data dapat direkam secara otomatis sehingga memudahkan proses analisis dan evaluasi kinerja sistem *Adaptive cruise control*.

3.5.1 Perencanaan *Layout Desain PCB*

Perancangan Layout atau tata letak pada *Printed Circuit Board* (PCB) dilakukan untuk mengintegrasikan seluruh komponen elektronik yang digunakan pada sistem *Adaptive cruise control* ke dalam satu papan rangkaian yang terstruktur. Tahap ini bertujuan untuk menghasilkan tata letak komponen yang rapi, meminimalkan panjang jalur (*routing*), mempermudah proses perakitan, serta meningkatkan keandalan sistem. Selain mempertimbangkan aspek elektrik, perancangan layout PCB juga disesuaikan dengan kebutuhan pemasangan pada kendaraan sehingga konektor, antarmuka komunikasi, dan komponen utama dapat diakses dengan mudah.



Gambar 3. 21 Perencanaan Layout

Gambar 3.21 menunjukkan hasil perancangan layout PCB yang digunakan pada sistem *Adaptive cruise control*. Pada bagian kanan atas terdapat modul ESP32 sebagai mikrokontroler utama yang berfungsi mengolah data dari seluruh sensor

dan mengendalikan aktuator. Di bagian tengah bawah disediakan slot microSD yang digunakan sebagai media penyimpanan data hasil pengujian (*data logging*). Beberapa konektor JST ditempatkan pada sisi atas dan bawah PCB untuk menghubungkan sensor, aktuator, catu daya, serta antarmuka komunikasi seperti I2C, UART, dan Serial. Selain itu, area prototype disediakan pada bagian tengah papan sebagai ruang pengembangan atau penambahan rangkaian apabila diperlukan. Tata letak komponen dirancang agar jalur PCB lebih ringkas, memudahkan proses perakitan, serta mempermudah pemeliharaan dan pengujian sistem.

3.6 Perencanaan Desain Alat



Gambar 3. 22 Perencanaan Desain Alat

Pada gambar 3.22 (Atas) adalah perencanaan implementasi *Nextion Display* pada sepeda motor listrik, *Nextion Display* di letakkan sejajar dengan spion kendaraan listrik menggunakan *phone holder*, agar tampilan bisa terlihat jelas oleh pengendara, dan pada stang bagian kiri motor terdapat saklar *selector* untuk memilih mengaktifkan *Cruise control* atau manual. Dan di gambar (bawah) adalah perencanaan implementasi dari sensor LiDAR , sensor ini ditempatkan menghadap

ke depan searah dengan laju kendaraan, sensor LiDAR berfungsi untuk mendeteksi jarak antara sepeda motor listrik dan objek didepannya.

3.6.1 Perencanaan Desain Tampilan pada Nextion



Gambar 3. 23 Perencanaan tampilan *Nextion*

Gambar 3.23 menunjukkan perencanaan tampilan *Nextion Display* yang digunakan sebagai media informasi dan kontrol pada sistem *Cruise control* adaptif. Tampilan ini menampilkan indikator kecepatan aktual terhadap setpoint, status sistem (*Active* atau *Standby*), serta visual alert jarak/bahaya sebagai peringatan kepada pengendara. Selain itu, terdapat indikator penambahan dan pengurangan kecepatan yang menunjukkan respon sistem terhadap kondisi jarak dan kecepatan kendaraan secara adaptif.

3.8 Rencana Pengujian Pengujian Parsial

Pengujian sistem merupakan tahapan penting untuk memastikan bahwa sistem *Cruise control* adaptif pada sepeda motor listrik dapat bekerja sesuai dengan perancangan dan tujuan penelitian. Pengujian dilakukan secara bertahap, dimulai dari pengujian masing-masing sensor, pengujian modul sistem, hingga pengujian sistem secara keseluruhan. Hasil pengujian digunakan sebagai dasar evaluasi kinerja, keandalan, serta aspek keselamatan sistem.

3.8.1 Tujuan Pengujian Parsial

Tujuan dari pengujian sistem ini adalah untuk:

1. Memastikan setiap sensor bekerja dengan baik dan menghasilkan data yang akurat.

2. Mengetahui respon sistem terhadap perubahan kecepatan, kondisi jalan, dan jarak objek di depan.
3. Mengevaluasi kinerja algoritma *Fuzzy logic* dalam menjaga kestabilan kecepatan kendaraan.
4. Memastikan fitur keselamatan sistem berfungsi sesuai dengan perancangan.

3.8.2 Skenario Pengujian Parsial Tegangan Baterai

Pada tahap ini dilakukan pengujian tegangan baterai untuk mengetahui nilai tegangan aktual serta memastikan kesesuaiannya dengan spesifikasi yang telah dirancang. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi baterai, baik dalam keadaan tanpa beban maupun saat diberikan beban, sehingga dapat diketahui kestabilan tegangan dan performa baterai dalam sistem. Hasil pengujian ini akan digunakan sebagai acuan dalam menilai kelayakan baterai sebelum digunakan pada tahap pengujian sistem secara keseluruhan.

Langkah-langkah pengujian:

1. Kutub positif baterai dihubungkan ke sisi positif volt meter (kabel berwarna merah dan kutub negative baterai dihubungkan pada sisi negative volt meter (kabel berwarna hitam).
2. Avo Meter / Multimeter dihubungkan ke baterai sebagai pembanding tegangan



Gambar 3. 24 Pengujian Baterai

3.8.3 Skenario Pengujian Parsial Sensor GPS GNSS L86

Pengujian sensor GPS bertujuan untuk mengetahui akurasi pembacaan kecepatan kendaraan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai kecepatan yang dibaca oleh sensor GPS dengan kecepatan aktual kendaraan yang diperoleh

dari alat ukur pembeding. Parameter yang diamati meliputi tingkat akurasi, waktu respon, dan kestabilan data kecepatan pada berbagai kondisi kecepatan.

Langkah-langkah pengujian :

1. GPS GNSS L86 dan LCDI2C dihubungkan ke ESP32 seperti pada gambar 3.7
2. ESP32 diprogram untuk dapat mengakses GPS L86 dan dapat menampilkan informasi kecepatan pada LCDI2C
3. Tunggu hingga GPS mendapatkan signal satelit dan menampilkan kecepatan dalam bentuk Km/h
4. Kendaraan dinyalakan kemudian di kendarai dengan kecepatan tertentu



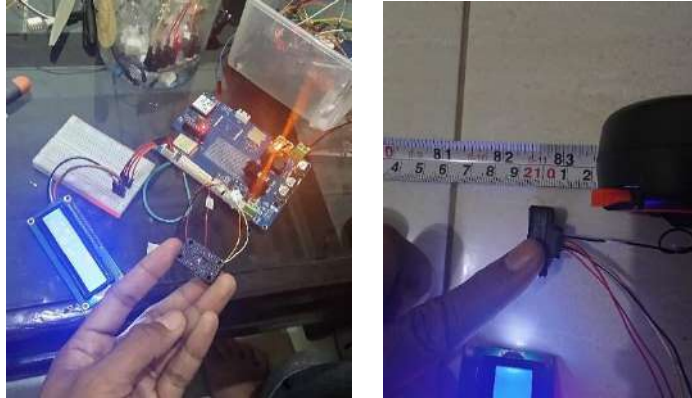
Gambar 3. 25 Pengujian Sensor GPS GNSS L86

3.7.4 Skenario Pengujian Parsial Sensor LIDAR TF-LC02

Pengujian sensor LIDAR dilakukan untuk memastikan kemampuan sensor dalam mendeteksi jarak objek di depan kendaraan. Pengujian dilakukan dengan meletakkan objek pada jarak tertentu dan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan jarak aktual. Parameter yang diuji meliputi akurasi pengukuran jarak, jarak maksimum dan minimum yang dapat dideteksi, serta respon sensor terhadap perubahan jarak secara cepat. Berikut adalah langkah-langkah pengujian :

1. Hubungkan sensor TF-LC02 dan LCDI2C ke ESP32 seperti pada gambar 3.6
2. Program ESP32 agar sensor TF-LC02 dapat mengukur objek didepan dan hasil pengukuran dapat ditampilkan pada LCDI2C
3. Arahkan Sensor TF-LC02 ke objek didepan dengan jarak tertentu.

4. Bandingkan hasil pengukuran yang ditampilkan pada LCDI2C dan alat ukur meteran.



Gambar 3. 26 Pengujian Sensor LIDAR TF-LC02

3.8.5 Skenario Pengujian Parsial Sensor *Inclinometer* MPU6050

Pengujian sensor inclinometer bertujuan untuk memastikan sensor mampu mendeteksi kemiringan jalan dengan benar. Pengujian dilakukan pada beberapa kondisi kemiringan yang berbeda, seperti jalan datar, tanjakan, dan turunan. Parameter yang diamati meliputi nilai sudut kemiringan yang terbaca, kestabilan data, serta kemampuan sistem dalam mengklasifikasikan kondisi jalan berdasarkan nilai kemiringan tersebut. Berikut adalah langkah-langkah pengujian sensor :

1. Hubungkan sensor MPU6050 ke ESP32 seperti pada gambar 3.8
2. Program ESP32 agar dapat membaca sudut derajat
3. Letakkan sensor pada tempat yang datar untuk melakukan set point awal
4. Miringkan sensor dengan sudut kemiringan tertentu
5. Bandingkan dengan alat *Inclinometer Digital*



Gambar 3. 27 Pengujian sensor MPU6050

3.8.6 Skenario Pengujian Modul MCP4725

Pengujian modul MCP4725 bertujuan untuk memastikan bahwa modul *Digital-to-Analog Converter* yang memanfaatkan fitur antar muka I2C mampu menghasilkan tegangan analog yang sesuai dengan karakteristik sinyal *throttle* sepeda listrik. Pengujian dilakukan dengan memberikan beberapa variasi nilai DAC untuk menghasilkan tegangan pada rentang sekitar 0,8 V hingga 4,2 V, yang merepresentasikan kondisi idle, setengah gas, dan gas penuh. Parameter yang diamati meliputi besar tegangan *Output* yang dihasilkan, respons *kontroler* terhadap perubahan tegangan, serta kemampuan motor dalam beroperasi sesuai dengan kondisi *throttle* yang disimulasikan. Hasil pengujian ini digunakan untuk memverifikasi bahwa modul MCP4725 dapat menggantikan fungsi *throttle* konvensional sebagai sinyal kendali kecepatan motor. Berikut adalah langkah-langkah pengujian simulasi sinyal *throttle* menggunakan ESP32:

1. Hubungkan Pin Out modul MCP4725 ke kabel sinyal *throttle* pada kontroler sepeda motor listrik.
2. Program ESP32 agar Modul MCP4725 dapat mengeluarkan tegangan DAC dari rentang 0.8V (posisi idle) hingga 4,2V (posisi gas penuh)
3. Atur nilai DAC dari rentang 0.8 V hingga 4.2V
4. Amati kondisi putaran motor BLDC sepeda motor



Gambar 3. 28 Pengujian Signal DAC MCP4725 sebagai pengganti *Throttle*

3.8.7 Skenario Pengujian HMI Nextion Display

Pengujian Nextion *display* bertujuan untuk memastikan bahwa layar dapat menampilkan data dan menerima input sentuh dengan baik. Pengujian dilakukan untuk memverifikasi komunikasi serial antara Nextion *display* dan ESP32, serta memastikan setiap komponen pada tampilan berfungsi sesuai dengan program yang telah dirancang. Berikut adalah langkah-langkah pengujian Nextion display.

1. Hubungkan Nextion *Display* ke ESP32 seperti pada gambar 3.11.
2. Desain tampilan Nextion menggunakan *software* Nextion *Editor* sesuai dengan kebutuhan pengguna.
3. Upload desain di Nextion *Editor* ke Nextion.
4. Program ESP32 agar dapat berkomunikasi dengan Nextion



Gambar 3. 29 Pengujian Nextion *Display*

3.8.8 Skenario Pengujian Tegangan Signal *Throttle* dari Sepeda Motor Listrik

Pengujian tegangan sinyal *throttle* bertujuan untuk mengetahui besar tegangan keluaran *throttle* pada setiap posisi bukaan. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa *throttle* menghasilkan perubahan tegangan yang sesuai dengan karakteristik sensor Hall Effect serta dapat diterima oleh *kontroler* VOTOL sebagai sinyal pengendali kecepatan motor. Berikut adalah langkah-langkah pengujian tegangan sinyal *throttle*.

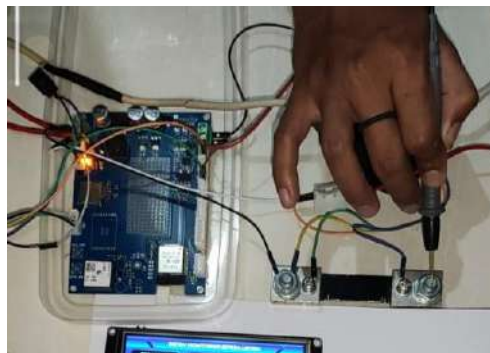
1. Hubungkan *throttle* Hall Effect ke kontroler VOTOL sesuai dengan diagram pengkabelan yang telah ditentukan.

2. Hubungkan kontroler VOTOL ke baterai sebagai sumber tegangan, kemudian nyalakan sistem.
3. Atur multimeter pada mode pengukuran tegangan DC (VDC).
4. Hubungkan probe hitam multimeter ke terminal *Ground* (GND) dan probe merah ke kabel *Signal throttle*.
5. Ukur dan catat tegangan keluaran *throttle* pada posisi bukaan 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%.
6. Bandingkan hasil pengukuran pada setiap posisi *throttle* untuk mengetahui karakteristik perubahan tegangan yang dihasilkan.

3.8.9 Skenario Pengujian Sensor PZEM-017

Pengujian parsial sensor PZEM-017 dilakukan untuk memastikan bahwa sensor mampu mengukur parameter kelistrikan berupa tegangan, arus, daya, dan energi dengan baik sebelum diintegrasikan ke dalam sistem *cruise control* adaptif. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sensor serta memverifikasi hasil pengukuran dengan membandingkannya terhadap alat ukur referensi sehingga tingkat akurasi sensor dapat diketahui. Berikut adalah langkah langkah pengujian sensor PZEM-017.

1. Hubungkan Sensor PZEM ke Baterai seperti pada gambar 3.11
2. Hubungkan Max585 ke ESP32.
3. Upload kodingan ke Arduino IDE
4. Amati tegangan (V) , arus (I) dan daya (W) pada *serial monitor*



Gambar 3. 30 Pengujian Sensor PZEM-017

3.8.10 Skenario Pengujian SD-Card sebagai *Data Logger*

Pengujian SD Card sebagai *data logger* dilakukan untuk memastikan bahwa modul SD Card mampu menyimpan data hasil pembacaan sensor PZEM-017 secara

kontinu selama sistem beroperasi. Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi keberhasilan proses pencatatan data, meliputi waktu pengambilan data, tegangan, arus, daya, dan energi ke dalam berkas berformat .csv, sehingga data yang diperoleh dapat digunakan sebagai bahan analisis pada tahap pengujian dan pembahasan. Berikut adalah langkah-langkah untuk pengujian.

1. Hubungkan Modul SD-card Reader dan Max485 ke ESP32.
2. Sambungkan pin A dan B dari sensor PZEM ke pin A dan B Max485.
3. Program ESP32 agar SD-Card dapat menyimpan data dari PZEM-017.
4. Masukkan SD-Card , kemudian nyalakan PZEM, lalu nyalakan sepeda motor listrik agar tegangan, arus ,daya dan energy dapat terbaca oleh sensor
5. Pindahkan Data csv dari SD-Card ke penyimpanan local pada computer.
6. Buka file CSV pada *software Microsoft Excel*



	A	B	C	D	E
	Waktu (s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (Wh)
1	00:00:04	64,47	0,34	9	0,002
2	00:00:05	64,48	0,37	10,5	0,003
3	00:00:06	64,47	0,38	11,5	0,008
4	00:00:07	64,47	0,36	10,3	0,011
5	00:00:08	64,48	0,33	8,3	0,013
6	00:00:09	64,48	0,31	7	0,015
7	00:00:10	64,46	0,36	13,2	0,033
8	00:00:11	65,22	0,35	22,8	0,029
9	00:00:12	64,46	0,34	21,5	0,035
10	00:00:13	64,46	0,36	10,3	0,038
11	00:00:14	64,47	0,34	9	0,04
12	00:00:15	64,48	0,33	8,3	0,043
13	00:00:16	64,48	0,33	8,3	0,045
14	00:00:17	64,47	0,32	7,7	0,047
15	00:00:18	65,22	1,42	86	0,071
16	00:00:19	65,1	0,39	12,3	0,074
17	00:00:20	64,47	0,37	10,5	0,077
18	00:00:21	65,22	0,29	14,8	0,082
19	00:00:22	65,17	3,5	123,3	0,116
20	00:00:23	64,02	8,8	568,8	0,271
21	00:00:24	64,05	12,1	775	0,488

Gambar 3. 31 Pengujian SD-card sebagai *Data Logger*

3.8.11 Skenario Simulasi *Fuzzy logic* Sistem Cruise Control pada Software MATLAB Toolbox

Sebelum algoritma *Fuzzy logic* diimplementasikan pada mikrokontroler ESP32, dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB *Fuzzy logic Toolbox*. Simulasi ini bertujuan untuk memverifikasi bahwa fungsi keanggotaan (*membership function*), basis aturan (*rule base*), serta proses inferensi yang telah dirancang mampu menghasilkan keluaran yang sesuai dengan kondisi masukan sistem. Melalui simulasi ini, hubungan antara parameter masukan dan keluaran dapat diamati sehingga perilaku sistem dapat dievaluasi sebelum diterapkan pada perangkat keras. Berikut adalah langkah langkah nya

1. Membuka perangkat lunak MATLAB kemudian menjalankan *Fuzzy logic Toolbox*.
2. Membuat sistem inferensi fuzzy (*Fuzzy Inference System/FIS*) menggunakan metode Mamdani.
3. Menentukan variabel masukan (*input*), yaitu Error Kecepatan, Jarak Kendaraan di Depan, dan Kemiringan Jalan.
4. Menentukan variabel keluaran (*output*), yaitu nilai kendali *throttle* yang akan digunakan sebagai acuan pengaturan kecepatan kendaraan.
5. Menentukan fungsi keanggotaan (*membership function*) pada setiap variabel masukan dan keluaran sesuai dengan perancangan sistem.
6. Menyusun basis aturan (*rule base*) yang menghubungkan setiap kombinasi variabel masukan terhadap variabel keluaran berdasarkan logika kendali yang telah dirancang.
7. Memasukkan beberapa kombinasi nilai masukan sebagai skenario pengujian untuk mengamati respons sistem.
8. Menggunakan *Rule Viewer* untuk mengamati proses inferensi dan keluaran yang dihasilkan oleh sistem *Fuzzy logic*.

3.9 Skenario Pengujian Sistem Daya Kendaraan Listrik

Subbab ini mempunyai tujuan untuk mengevaluasi pengaruh penerapan *Cruise control* adaptif berbasis *Fuzzy logic* terhadap kinerja sistem daya kendaraan listrik, khususnya pada respon arus, konsumsi daya, dan penggunaan energi yang terbaca di sensor PZEM-017.

3.9.1 Pengujian Sistem Daya

Pengujian dilakukan untuk:

- Menganalisis karakteristik sistem daya sepeda motor listrik.
- Mengetahui pengaruh *Cruise control* adaptif terhadap respon arus yang mengalir
- Membandingkan konsumsi daya dan energi kendaraan listrik dengan dan tanpa *Cruise control* adaptif
- Mengevaluasi respon sistem daya terhadap perubahan beban, khususnya pada kondisi jalan menanjak dan menurun.

3.9.2 Konfigurasi Sistem Pengujian

Sistem pengujian terdiri dari:

1. Baterai sebagai sumber daya utama kendaraan sepeda motor listrik
2. *Kontroler* sebagai pengatur daya motor BLDC
3. Motor BLDC sebagai beban sistem daya
4. ESP32 sebagai pengendali *Cruise control* adaptif yang mengatur sinyal referensi ke *kontroler*
5. Sensor arus dan tegangan (PZEM-017) untuk mengukur parameter kelistrikan
6. Data logger / serial monitor untuk pencatatan data pengujian

Parameter Kelistrikan yang diamati:

- Tegangan baterai (V)
- Arus (I)
- Daya listrik (W)
- Energi listrik (Wh)

3.9.3 Skenario Pengujian Tanpa *Cruise control*

Pada skenario ini, kendaraan listrik dioperasikan tanpa mengaktifkan *Cruise control* adaptif, sehingga kecepatan kendaraan dikendalikan secara manual oleh pengemudi. Pengujian dilakukan pada beberapa kondisi jalan, yaitu jalan datar, menanjak, dan menurun. Parameter kelistrikan yang diamati meliputi arus yang mengalir pada kontroler, tegangan baterai, serta konsumsi energi selama pengujian. Hasil pengujian ini digunakan sebagai kondisi pembandingan (*baseline*) terhadap sistem dengan *Cruise control* adaptif.

3.9.4 Skenario Pengujian Dengan *Cruise control*

Pada skenario ini, sistem *Cruise control* adaptif berbasis *Fuzzy logic* diaktifkan untuk menjaga kecepatan kendaraan sesuai nilai referensi yang telah ditentukan. ESP32 mengatur sinyal kendali ke *kontroler* VOTOL berdasarkan kondisi kecepatan dan perubahan beban. Pengujian dilakukan pada kondisi jalan yang sama dengan skenario tanpa *Cruise control*, yaitu jalan datar, menanjak, dan menurun, dengan tujuan untuk membandingkan karakteristik arus, konsumsi daya, dan efisiensi energi sistem.

3.9.5 Metode Analisis Daya dan Efisiensi

Analisis daya dan efisiensi energi dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh penerapan sistem *Adaptive cruise control* (ACC) berbasis *Fuzzy logic* terhadap karakteristik konsumsi energi sepeda motor listrik. Data yang digunakan pada analisis ini diperoleh dari sensor PZEM-017 yang terhubung dengan ESP32 dan direkam secara otomatis menggunakan modul SD Card Logger selama proses pengujian berlangsung. Parameter yang diamati meliputi tegangan baterai, arus, daya sesaat, energi listrik, waktu tempuh, dan kecepatan rata-rata kendaraan. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian kendaraan tanpa menggunakan sistem *Adaptive cruise control* (pengendalian manual) dan menggunakan sistem *Adaptive cruise control* pada kondisi lintasan yang sama. Setiap pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan dan beban pengendara sehingga diperoleh karakteristik penggunaan energi pada masing-masing kondisi. Parameter pertama yang dianalisis adalah nilai tegangan rata-rata baterai (*Average Voltage*) dan arus rata-rata (*Average Current*) selama kendaraan beroperasi. Kedua parameter tersebut digunakan untuk mengetahui karakteristik beban yang diterima oleh sistem penggerak kendaraan selama proses pengujian.

Selanjutnya dilakukan analisis terhadap daya listrik rata-rata (*Average Power*). Daya listrik merupakan besarnya energi listrik yang digunakan setiap satuan waktu dan dihitung berdasarkan hasil perkalian antara tegangan dan arus sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2.4). Setelah diperoleh nilai daya rata-rata, selanjutnya dihitung energi listrik yang digunakan selama kendaraan menempuh lintasan pengujian. Energi listrik menunjukkan total konsumsi energi baterai selama kendaraan beroperasi dan dinyatakan dalam satuan Watt-hour (Wh). Perhitungan energi dilakukan menggunakan Persamaan (2.5). Selain itu, dilakukan analisis terhadap kecepatan rata-rata kendaraan yang diperoleh dari hasil pengukuran sensor GNSS menggunakan persamaan (3.1). Hasil pengukuran tersebut selanjutnya digunakan untuk membandingkan performa sistem *Adaptive cruise control* dengan pengendalian manual berdasarkan kestabilan kecepatan kendaraan, karakteristik penggunaan arus, daya listrik rata-rata, serta total energi listrik yang dikonsumsi selama pengujian. Nilai konsumsi energi yang lebih rendah pada kondisi lintasan dan jarak tempuh yang sama menunjukkan bahwa sistem

Adaptive cruise control mampu meningkatkan efisiensi penggunaan energi kendaraan listrik. Seluruh data hasil pengujian kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah proses analisis serta membandingkan karakteristik konsumsi daya antara kedua metode pengendalian.

3.9.6 Perencanaan Perhitungan Kecepatan Kendaraan

Kecepatan kendaraan direncanakan diperoleh dari dua sumber data, yaitu sensor GPS dan sensor kecepatan roda (sensor hall). Sensor GPS digunakan sebagai sumber utama karena mampu memberikan informasi kecepatan kendaraan secara langsung, sedangkan sensor hall digunakan sebagai cadangan untuk meningkatkan keandalan sistem. Secara umum, kecepatan kendaraan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara jarak tempuh dan waktu tempuh, yaitu:

$$v = \frac{s}{t} \quad (3.1)$$

dengan:

v = *velocity*/kecepatan kendaraan (m/s)

s = jarak tempuh (meter)

t = waktu tempuh (detik)

Data kecepatan dari GPS umumnya diperoleh dalam satuan kilometer per jam (km/jam), sehingga perlu dikonversi ke satuan meter per detik (m/s) menggunakan persamaan:

$$v_{gps(m/s)} = \frac{v_{gps(km/jam)}}{3,6} \quad (3.2)$$

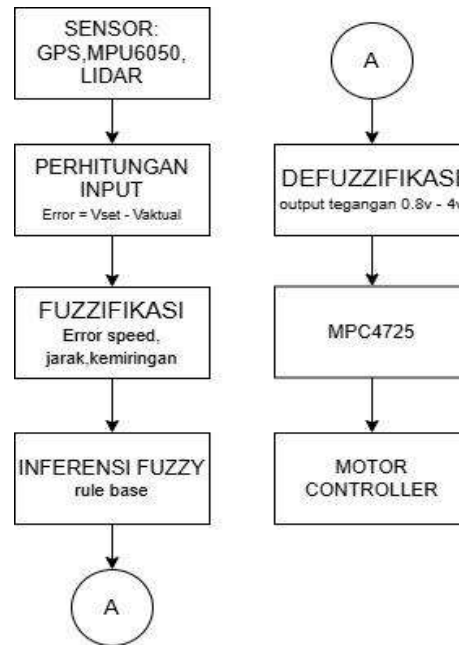
Sementara itu, kecepatan dari sensor hall dihitung berdasarkan jumlah putaran roda dalam selang waktu tertentu. Jika N menyatakan jumlah putaran roda, r adalah jari-jari roda, dan t adalah waktu pengukuran, maka kecepatan kendaraan dapat dihitung dengan persamaan:

$$v_{hall} = \frac{N \times 2\pi r}{t} \quad (3.3)$$

3.10 Penerapan Metode *Fuzzy logic*

Metode *Fuzzy logic* diterapkan pada sistem *Adaptive cruise control* (ACC) sepeda motor listrik sebagai pengendali utama untuk mengatur bukaan *throttle* secara otomatis. Penggunaan *Fuzzy logic* bertujuan untuk menghasilkan respon kontrol yang halus, adaptif, dan menyerupai cara pengendalian manusia, terutama

pada kondisi lalu lintas dan medan jalan yang berubah-ubah. Metode fuzzy yang digunakan pada penelitian ini adalah *Fuzzy Mamdani*, karena metode ini mampu merepresentasikan proses pengambilan keputusan dalam bentuk aturan linguistik (*rule base*) yang mudah dipahami dan dianalisis.



Gambar 3. 32 Blok Diagram Perencanaan Fuzzy

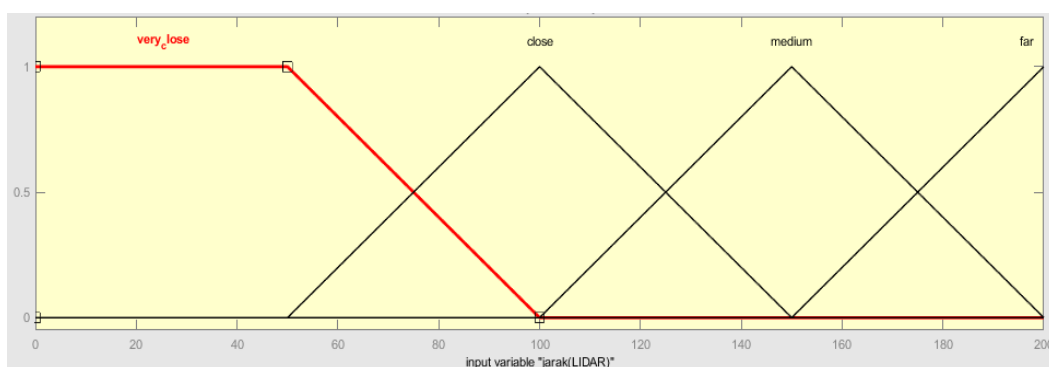
Gambar 3.33 adalah diagram blok alir tersebut menunjukkan alur kerja sistem *Fuzzy logic* pada pengendalian kecepatan sepeda motor listrik. Proses dimulai dari sensor GPS, MPU6050, dan LIDAR yang masing-masing berfungsi untuk membaca kecepatan kendaraan, kemiringan jalan, dan jarak terhadap objek di depan. Data dari sensor kemudian diolah pada tahap perhitungan input untuk mendapatkan nilai error kecepatan serta parameter pendukung lainnya. Selanjutnya, nilai input tersebut masuk ke tahap fuzzifikasi, yaitu mengubah data numerik menjadi variabel linguistik. Hasil fuzzifikasi diproses pada tahap inferensi fuzzy berdasarkan rule base yang telah ditentukan untuk menghasilkan keputusan pengendalian. Keputusan ini kemudian diubah kembali menjadi nilai numerik melalui proses defuzzifikasi, berupa tegangan *throttle* dengan rentang 0,8 V hingga 4,2 V. Tegangan hasil defuzzifikasi diterapkan melalui modul *Digital to Analog* (DAC) MCP4725 dan dikirim ke motor kontroler untuk mengatur daya motor listrik, sehingga kecepatan kendaraan dapat dikendalikan secara adaptif sesuai kondisi jalan dan jarak aman.

3.11 Perancangan Variabel Input dan Output

Perancangan variabel input dan output merupakan tahapan awal dalam penyusunan *Fuzzy logic Controller* (FLC). Pada tahap ini ditentukan parameter yang akan digunakan sebagai masukan (*input*) dan keluaran (*output*) berdasarkan karakteristik sistem *Adaptive cruise control* yang dikembangkan. Pemilihan variabel dilakukan agar sistem mampu menyesuaikan keluaran throttle terhadap kondisi kendaraan dan lingkungan di sekitarnya secara real-time. Pada penelitian ini, *Fuzzy logic Controller* menggunakan tiga variabel masukan (*input*), yaitu jarak kendaraan, kemiringan jalan, dan error kecepatan, sedangkan variabel keluarannya berupa tegangan throttle yang akan dikirimkan ke motor controller melalui modul MCP4725. Masing-masing variabel memiliki rentang nilai yang disesuaikan dengan kemampuan sensor serta karakteristik kendaraan listrik yang digunakan.

3.11.1 Variabel Jarak

Variabel jarak digunakan untuk menjaga keselamatan pengendara dengan memastikan kendaraan tidak terlalu dekat dengan objek di depan. Nilai jarak diperoleh dari sensor LiDAR TF-LC02 yang berfungsi mengukur jarak antara kendaraan dengan objek di depannya. Nilai jarak digunakan sebagai parameter utama untuk menentukan respons percepatan kendaraan agar tetap menjaga jarak aman. Pada penelitian ini, rentang nilai jarak yang digunakan pada sistem fuzzy adalah 0 cm hingga 200 cm. dan dibagi menjadi 4 fungsi keanggotaan atau *membership function*



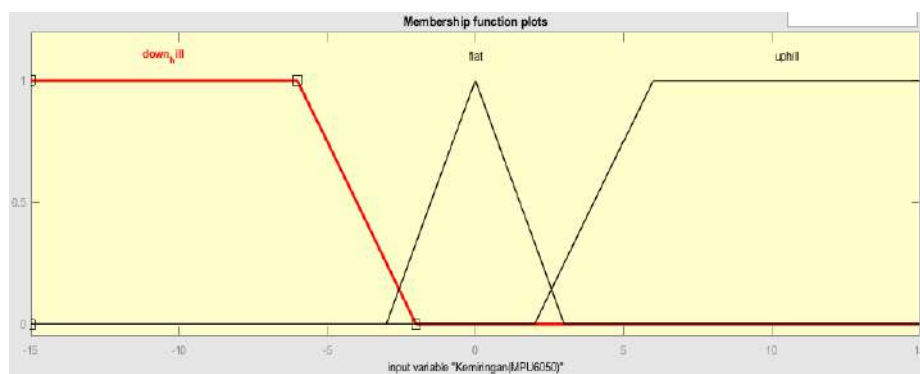
Gambar 3. 33 Membership function input jarak

Gambar 3.34 menunjukkan fungsi keanggotaan variabel jarak yang diperoleh dari sensor LiDAR dengan rentang pengukuran 0–200 cm. Variabel ini dibagi menjadi empat himpunan fuzzy, yaitu Very Close, Close, Medium, dan Far.

- **Very Close** : menggambarkan kondisi ketika kendaraan berada pada jarak yang sangat dekat dengan objek di depannya. Pada kondisi ini sistem akan memberikan respons paling konservatif dengan mengurangi bukaan throttle agar risiko tabrakan dapat diminimalkan.
- **Close** : menunjukkan bahwa kendaraan masih berada pada jarak yang relatif dekat dengan objek. Pada kondisi ini sistem mulai mengurangi akselerasi namun tetap mempertahankan pergerakan kendaraan secara halus.
- **Medium** : menunjukkan bahwa jarak kendaraan terhadap objek berada pada kondisi aman sehingga sistem dapat memberikan bukaan throttle dalam tingkat sedang sesuai dengan kondisi lalu lintas.
- **Far** : menggambarkan kondisi ketika tidak terdapat kendaraan atau objek yang berada dalam jarak dekat. Pada kondisi ini sistem dapat memberikan bukaan throttle yang lebih besar sehingga kendaraan dapat mencapai kecepatan yang diinginkan.

3.11.2 Variabel Kemiringan

Variabel kemiringan diperoleh dari sensor MPU6050 yang digunakan untuk mendeteksi kondisi jalan menanjak maupun menurun. Informasi kemiringan digunakan sebagai parameter tambahan untuk menyesuaikan respons throttle terhadap perubahan elevasi jalan. Rentang nilai kemiringan yang digunakan pada penelitian ini adalah -15° hingga 15° , dengan nilai negatif menunjukkan kondisi jalan menurun, nilai nol menunjukkan jalan datar, dan nilai positif menunjukkan jalan menanjak.



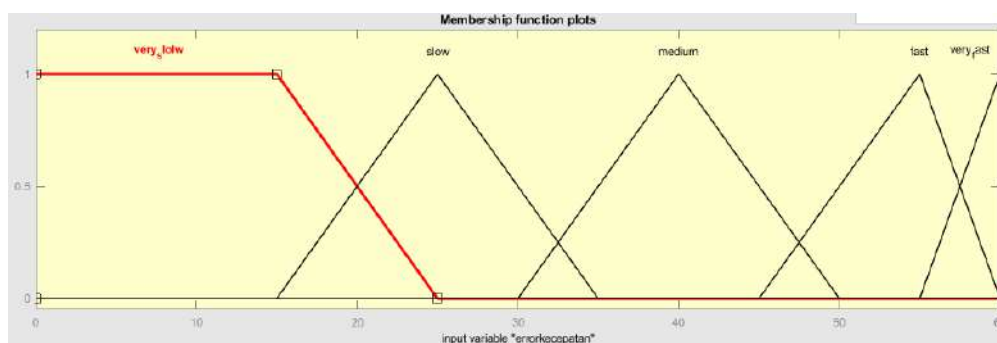
Gambar 3. 34 Membership Function Input Kemiringan

Gambar 3.35 menunjukkan fungsi keanggotaan variabel kemiringan jalan yang diperoleh dari sensor MPU6050 dengan rentang pengukuran -15° hingga 15° . Variabel ini dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy, yaitu Downhill, Flat, dan Uphill.

- Downhill: menunjukkan kondisi jalan menurun yang ditandai dengan nilai sudut negatif. Pada kondisi ini sistem akan mengurangi bukaan throttle karena kendaraan cenderung mengalami percepatan akibat gaya gravitasi.
- Flat: menunjukkan kondisi jalan datar atau mendekati 0° . Pada kondisi ini sistem mengendalikan throttle berdasarkan parameter jarak dan error kecepatan tanpa adanya pengaruh perubahan elevasi jalan.
- Uphill: menunjukkan kondisi jalan menanjak yang ditandai dengan nilai sudut positif. Pada kondisi ini sistem akan meningkatkan bukaan throttle untuk mempertahankan kecepatan kendaraan selama melewati tanjakan.

3.11.3 Variabel Kecepatan

Variabel error kecepatan diperoleh dari hasil perhitungan selisih antara kecepatan referensi (setpoint) dan kecepatan aktual yang dibaca oleh sensor GNSS L86. Besarnya nilai error menunjukkan seberapa jauh kecepatan kendaraan menyimpang dari kecepatan yang diinginkan. Pada penelitian ini, rentang nilai error kecepatan yang digunakan adalah 0 km/jam hingga 60 km/jam.



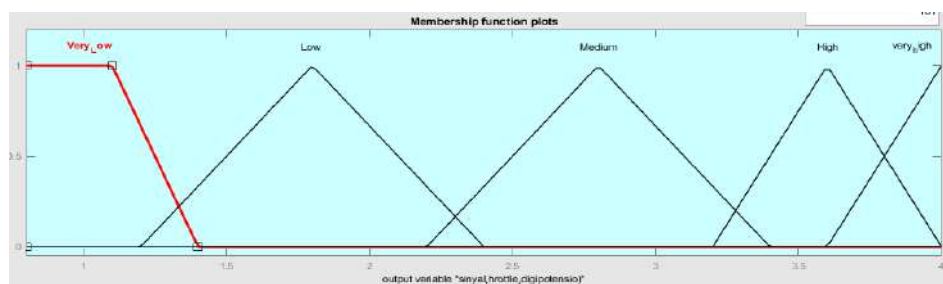
Gambar 3. 35 Membership Function Error kecepatan

Gambar 3.36 menunjukkan fungsi keanggotaan variabel error kecepatan yang diperoleh dari selisih antara kecepatan referensi dengan kecepatan aktual kendaraan. Rentang nilai yang digunakan adalah 0–60 km/jam. Variabel ini dibagi menjadi lima himpunan fuzzy, yaitu Very Slow, Slow, Medium, Fast, dan Very Fast.

- Very Slow: menunjukkan bahwa kecepatan aktual kendaraan jauh lebih rendah dibandingkan kecepatan referensi, sehingga sistem perlu memberikan peningkatan throttle yang lebih besar.
- Slow: menunjukkan bahwa kecepatan kendaraan masih berada di bawah kecepatan yang diinginkan, namun selisihnya tidak terlalu besar sehingga peningkatan throttle dilakukan secara bertahap.
- Medium: menggambarkan kondisi ketika error kecepatan berada pada tingkat sedang. Pada kondisi ini sistem memberikan penyesuaian throttle secara proporsional agar kendaraan dapat mencapai kecepatan referensi dengan halus.
- Fast: menunjukkan bahwa error kecepatan relatif besar menuju batas atas, sehingga sistem memberikan respons throttle yang lebih tinggi untuk meningkatkan kecepatan kendaraan.
- Very Fast: menunjukkan kondisi error kecepatan paling tinggi dalam rentang yang digunakan. Pada kondisi ini sistem memberikan bukaan throttle maksimum agar kendaraan dapat segera mencapai kecepatan yang telah ditetapkan.

3.11.4 Variabel Output Tegangan Throttle

Variabel keluaran pada sistem fuzzy berupa tegangan throttle yang dikirimkan ke motor controller melalui modul MCP4725. Tegangan keluaran ini berfungsi sebagai pengganti sinyal throttle pengendara ketika sistem *Adaptive cruise control* aktif. Berdasarkan karakteristik throttle kendaraan listrik yang digunakan, rentang tegangan keluaran ditetapkan sebesar 0,8 V hingga 4,2 V, di mana 0,8 V menunjukkan kondisi throttle minimum (idle), sedangkan 4,2 V menunjukkan bukaan throttle maksimum.



Gambar 3. 36 Membership Function Output

Gambar 3.37 menunjukkan fungsi keanggotaan variabel keluaran (output) berupa tegangan throttle yang dihasilkan oleh *Fuzzy logic* Controller. Nilai keluaran ini merepresentasikan besarnya bukaan throttle yang akan dikirimkan ke motor controller melalui modul MCP4725. Rentang tegangan keluaran yang digunakan berada pada kisaran 0,8 V hingga 4,2 V, yang disesuaikan dengan karakteristik throttle pada sepeda motor listrik. Variabel keluaran dibagi menjadi lima himpunan fuzzy, yaitu Very Low, Low, Medium, High, dan Very High.

- Very Low: menunjukkan kondisi ketika sistem memberikan tegangan throttle minimum. Pada kondisi ini kendaraan berada pada situasi yang memerlukan pengurangan kecepatan secara signifikan, seperti ketika jarak terhadap objek sangat dekat atau kondisi sistem tidak memungkinkan untuk melakukan akselerasi.
- Low: menunjukkan bahwa sistem memberikan bukaan throttle yang kecil sehingga kendaraan tetap bergerak dengan akselerasi yang rendah. Kondisi ini digunakan ketika kendaraan masih perlu menjaga jarak aman terhadap objek di depannya.
- Medium: menggambarkan kondisi operasi normal, di mana sistem memberikan bukaan throttle sedang untuk mempertahankan kecepatan kendaraan sesuai dengan kondisi jalan dan lalu lintas.
- High: menunjukkan bahwa sistem memberikan bukaan throttle yang lebih besar untuk meningkatkan kecepatan kendaraan. Kondisi ini umumnya terjadi ketika jarak terhadap objek cukup aman atau kendaraan sedang melewati jalan menanjak sehingga memerlukan tambahan daya.
- Very High: menunjukkan kondisi ketika sistem menghasilkan tegangan throttle maksimum. Pada kondisi ini kendaraan memerlukan akselerasi yang lebih besar untuk mencapai kecepatan referensi, seperti ketika jalan di depan kosong dan error kecepatan masih tinggi.

Berdasarkan fungsi keanggotaan tersebut, keluaran *Fuzzy logic* Controller akan menghasilkan nilai tegangan throttle yang berubah secara bertahap sesuai kombinasi kondisi jarak, kemiringan jalan, dan error kecepatan. Pendekatan ini

menghasilkan transisi akselerasi yang lebih halus dibandingkan pengendalian berbasis logika biner, sehingga kenyamanan dan stabilitas kendaraan dapat ditingkatkan selama sistem *Adaptive cruise control* beroperasi. Rangkuman variabel input dan output yang digunakan pada *Fuzzy logic Controller* ditunjukkan pada Tabel 3.x.

Tabel 3. 7 Variabel Input dan Output *Fuzzy logic Controller*

Variabel	Jenis	Sumber Data	Rentang
Jarak	Input	Sensor LiDAR TF-LC02	0–200 cm
Kemiringan	Input	Sensor MPU6050	–15° hingga 15°
Error Kecepatan	Input	Sensor GNSS L86	0–60 km/jam
Tegangan Throttle	Output	Modul MCP4725	0,8–4,2 V

3.12 Inferensi Fuzzy

Inferensi fuzzy merupakan proses pengambilan keputusan dalam sistem *Fuzzy logic* yang berfungsi untuk menentukan keluaran sistem berdasarkan kombinasi kondisi variabel input. Pada tahap ini, nilai hasil *fuzzification* dari setiap variabel input diproses menggunakan sekumpulan aturan *fuzzy (rule base)* yang disusun dalam bentuk logika IF–THEN. Dalam penelitian ini, inferensi *fuzzy* digunakan sebagai inti pengendali (*decision maker*) pada sistem *Cruise control* adaptif sepeda motor listrik. Inferensi *fuzzy* memungkinkan sistem untuk menentukan besarnya respon *throttle* secara adaptif dengan mempertimbangkan kondisi kecepatan kendaraan, jarak terhadap objek di depan, serta kemiringan jalan. Metode inferensi yang digunakan adalah metode *Mamdani*, karena metode ini memiliki pendekatan linguistik yang menyerupai cara pengambilan keputusan manusia dan banyak digunakan pada sistem kendali berbasis fuzzy. Setiap aturan *fuzzy* memiliki bentuk umum sebagai berikut:

IF error kecepatan adalah A

AND jarak adalah B

AND kemiringan jalan adalah C

THEN *throttle* adalah D

Pada tahap ini, nilai hasil *fuzzifikasi* dari setiap variabel input diproses menggunakan sekumpulan aturan fuzzy (*rule base*) untuk menghasilkan keluaran berupa himpunan fuzzy *Output*, berikut adalah sekumpulan aturan fuzzy (*rule base*)

Tabel 3. 8 Tabel *Rule Base*

No	Jarak (LIDAR)	Kemiringan (MPU6050)	Error Kecepatan	Output Throttle
1	Very Close	Down Hill	Very Slow	Very Low
2	Very Close	Down Hill	Slow	Very Low
3	Very Close	Down Hill	Medium	Very Low
4	Very Close	Down Hill	Fast	Very Low
5	Very Close	Down Hill	Very Fast	Low
6	Very Close	Flat	Very Slow	Very Low
7	Very Close	Flat	Slow	Very Low
8	Very Close	Flat	Medium	Very Low
9	Very Close	Flat	Fast	Low
10	Very Close	Flat	Very Fast	Low
11	Very Close	Uphill	Very Slow	Very Low
12	Very Close	Uphill	Slow	Very Low
13	Very Close	Uphill	Medium	Low
14	Very Close	Uphill	Fast	Low
15	Very Close	Uphill	Very Fast	Medium
16	Close	Down Hill	Very Slow	Very Low
17	Close	Down Hill	Slow	Very Low
18	Close	Down Hill	Medium	Low
19	Close	Down Hill	Fast	Low
20	Close	Down Hill	Very Fast	Medium
21	Close	Flat	Very Slow	Very Low
22	Close	Flat	Slow	Low
23	Close	Flat	Medium	Medium
24	Close	Flat	Fast	Medium
25	Close	Flat	Very Fast	High
26	Close	Uphill	Very Slow	Low
27	Close	Uphill	Slow	Medium
28	Close	Uphill	Medium	Medium
29	Close	Uphill	Fast	High
30	Close	Uphill	Very Fast	High
31	Medium	Down Hill	Very Slow	Very Low
32	Medium	Down Hill	Slow	Low
33	Medium	Down Hill	Medium	Medium
34	Medium	Down Hill	Fast	Medium
35	Medium	Down Hill	Very Fast	High
36	Medium	Flat	Very Slow	Low
37	Medium	Flat	Slow	Medium
38	Medium	Flat	Medium	Medium
39	Medium	Flat	Fast	High
40	Medium	Flat	Very Fast	Very High
41	Medium	Uphill	Very Slow	Medium
42	Medium	Uphill	Slow	Medium
43	Medium	Uphill	Medium	High
44	Medium	Uphill	Fast	Very High
45	Medium	Uphill	Very Fast	Very High
46	Far	Down Hill	Very Slow	Low
47	Far	Down Hill	Slow	Medium

No	Jarak (LIDAR)	Kemiringan (MPU6050)	Error Kecepatan	Output Throttle
48	Far	Down Hill	Medium	Medium
49	Far	Down Hill	Fast	High
50	Far	Down Hill	Very Fast	High
51	Far	Flat	Very Slow	Medium
52	Far	Flat	Slow	Medium
53	Far	Flat	Medium	High
54	Far	Flat	Fast	Very High
55	Far	Flat	Very Fast	Very High
56	Far	Uphill	Very Slow	Medium
57	Far	Uphill	Slow	High
58	Far	Uphill	Medium	High
59	Far	Uphill	Fast	Very High
60	Far	Uphill	Very Fast	Very High

Tabel 3.8 menyajikan aturan fuzzy (rule base) yang digunakan dalam sistem *Cruise control* adaptif pada sepeda motor listrik. Aturan fuzzy ini berfungsi sebagai dasar pengambilan keputusan sistem dalam menentukan besarnya sinyal *throttle* berdasarkan kombinasi kondisi input yang diterima. Rule base disusun menggunakan tiga variabel input, yaitu error kecepatan, jarak objek di depan, dan kemiringan jalan, serta satu variabel *Output* berupa kendali *throttle*. Masing-masing variabel input memiliki beberapa himpunan fuzzy, sehingga diperoleh total 60 kombinasi aturan, yang dihitung berdasarkan perkalian jumlah himpunan fuzzy dari setiap variabel input, yaitu:

$$5 \text{ (error kecepatan)} \times 4 \text{ (jarak)} \times 3 \text{ (kemiringan)} = 60 \text{ aturan} \quad (3.4)$$

Dengan adanya 60 aturan fuzzy ini, sistem *Cruise control* adaptif mampu merespons berbagai kondisi berkendara secara fleksibel dan menyerupai cara pengambilan keputusan manusia. Rule base ini menjadi komponen utama pada tahap inferensi *fuzzy*, yang selanjutnya menghasilkan keluaran fuzzy untuk diproses pada tahap *defuzzification*.

3.13 Defuzzification

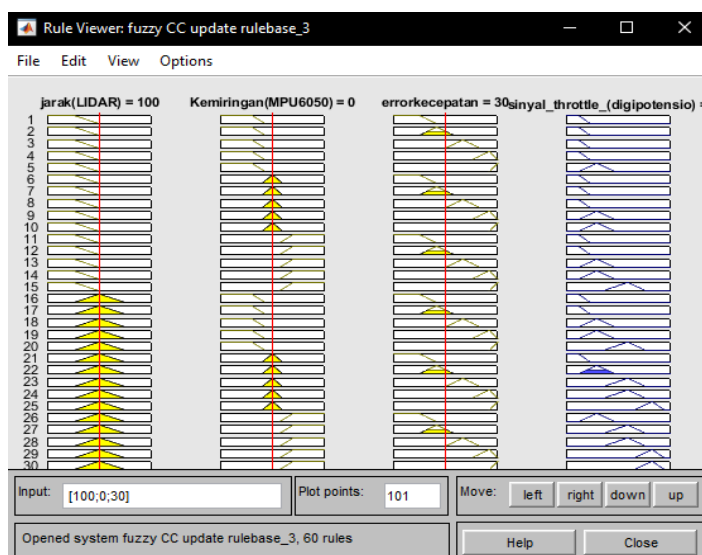
Defuzzification merupakan tahap akhir dalam sistem *Fuzzy logic* yang berfungsi untuk mengubah keluaran *fuzzy* menjadi nilai tegas (*crisp*) yang dapat digunakan untuk mengendalikan aktuator. Pada penelitian ini, hasil defuzzifikasi berupa tegangan *throttle* (0,8v – 4,2v) yang dikirimkan ke *kontroler* motor listrik melalui komponen MCP4725. Metode *defuzzification* yang digunakan adalah Centroid (*Center of Area*), yang dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{out} = \frac{\sum \mu(x) \cdot x}{\sum \mu(x)} \quad (3.5)$$

Nilai keluaran hasil defuzzifikasi berada pada rentang 0,8 V hingga 4,2 V, sesuai dengan spesifikasi sinyal *throttle kontroler* motor listrik. Nilai tegangan ini kemudian direalisasikan oleh sinyal dari MCP4725 yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. Dengan menggunakan metode defuzzifikasi centroid, sistem dapat menghasilkan perubahan *throttle* yang bertahap dan nyaman bagi pengendara, serta menghindari perubahan kecepatan yang bersifat mendadak.

3.14 Skenario Simulasi *Fuzzy logic* pada *Software Matlab Fuzzy logic Toolbox*

Pada penelitian ini, metode *Fuzzy logic Controller* (FLC) digunakan sebagai algoritma pengambilan keputusan untuk menentukan besar keluaran sinyal throttle berdasarkan kondisi kendaraan dan lingkungan sekitar. Sebelum diimplementasikan pada mikrokontroler ESP32, dilakukan proses perancangan dan simulasi menggunakan MATLAB *Fuzzy logic Toolbox* untuk memverifikasi karakteristik sistem kendali yang dirancang. Simulasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa hubungan antara parameter masukan dan keluaran telah sesuai dengan konsep *Adaptive cruise control* sehingga sistem mampu menghasilkan respons throttle yang optimal pada berbagai kondisi pengoperasian.



Gambar 3. 37 *Fuzzy logic* ToolBox pada Matlab

Fuzzy logic Controller pada penelitian ini memiliki tiga variabel masukan (input), yaitu jarak kendaraan yang diperoleh dari sensor LiDAR dengan rentang

pengukuran 0–200 cm, kemiringan jalan yang diperoleh dari sensor MPU6050 dengan rentang -15° hingga 15° , serta error kecepatan yang diperoleh dari sensor GPS GNSS L86 dengan rentang 0–60 km/jam. Adapun variabel keluaran (output) berupa tegangan throttle dengan rentang 0,8 V hingga 4,2 V, yang selanjutnya digunakan sebagai acuan pengendalian bukaan throttle pada motor controller sepeda motor listrik.

3.15 Variabel Pengujian Untuk Menganalisis Penggunaan Daya dan Energi

Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan untuk menganalisis pengaruh sistem *Adaptive cruise control* (ACC) berbasis *Fuzzy logic* terhadap konsumsi energi sepeda motor listrik pada berbagai kondisi pembebanan dan kecepatan. Variabel yang digunakan dalam pengujian terdiri atas beban kendaraan, kecepatan kendaraan, dan jarak tempuh. Kombinasi dari ketiga variabel tersebut menghasilkan sembilan skenario pengujian sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.9

Tabel 3. 9 Tabel Variabel Pengujian

Variabel	Bobot	kecepatan	Jarak tempuh
A	72kg	25km/jam	3km
A	72kg	30km/jam	3km
A	72kg	35km/jam	3km
B	62kg	25km/jam	3km
B	62kg	30km/jam	3km
B	62kg	35km/jam	3km
A+B	134kg	25km/jam	3km
A+B	134kg	30km/jam	3km
A+B	134kg	35km/jam	3km

Keterangan variabel yang digunakan adalah sebagai berikut.

3.15.1 Variabel Beban (bobot)

Variabel beban digunakan untuk merepresentasikan kondisi pengoperasian sepeda motor listrik pada jumlah penumpang yang berbeda. Pengujian dilakukan menggunakan tiga kondisi pembebanan, yaitu pengendara A dengan bobot 72 kg, pengendara B dengan bobot 63 kg, serta kondisi A + B dengan total bobot 135 kg. Variasi beban ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh massa kendaraan terhadap

konsumsi daya dan energi selama sistem *Adaptive cruise control* bekerja. Berikut adalah table variable beban.

Tabel 3. 10 Tabel Variasi Beban

Variabel Beban		
A	B	A+B
		

3.15.2 Variabel Kecepatan

Variabel kecepatan terdiri atas tiga tingkat kecepatan, yaitu 25 km/jam, 30 km/jam, dan 35 km/jam. Ketiga nilai tersebut dipilih karena masih berada pada rentang operasi sistem *Adaptive cruise control* yang telah dirancang serta mewakili kondisi berkendara pada kecepatan rendah hingga menengah. Variasi kecepatan digunakan untuk menganalisis perubahan kebutuhan daya dan energi listrik pada setiap kondisi pengujian.

3.15.3 Jarak Tempuh

Jarak tempuh pada setiap pengujian ditetapkan konstan sebesar 3 km. Penggunaan jarak yang sama bertujuan agar seluruh skenario pengujian memiliki kondisi yang setara, sehingga perbedaan konsumsi daya dan energi yang diperoleh hanya dipengaruhi oleh variasi beban dan kecepatan, bukan oleh perbedaan jarak perjalanan.

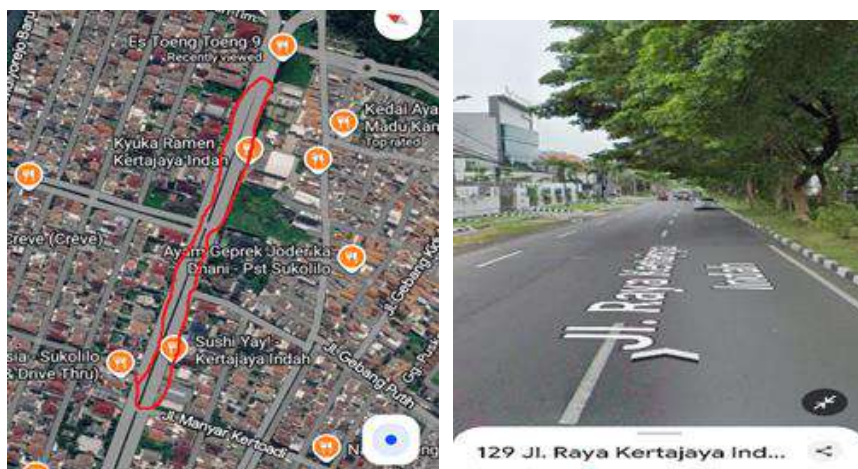
Berdasarkan kombinasi ketiga variabel tersebut diperoleh sembilan skenario pengujian. Setiap skenario dilakukan pada lintasan dan kondisi pengujian yang sama untuk menjaga konsistensi hasil pengukuran. Data yang diperoleh dari masing-masing skenario selanjutnya digunakan untuk membandingkan konsumsi daya dan energi sepeda motor listrik saat beroperasi menggunakan sistem *Adaptive cruise control* berbasis *Fuzzy logic*.

3.16 Skenario Pengambilan Data Pengujian Konsumsi Daya

Skenario pengambilan data konsumsi daya disusun untuk memperoleh data penggunaan energi kendaraan listrik pada berbagai kondisi lintasan yang merepresentasikan kondisi berkendara di lapangan. Variabel seperti kecepatan kendaraan dan beban pengemudi yang digunakan dalam pengujian telah dijelaskan pada Subbab 3.15, sehingga pada subbab ini difokuskan pada penjelasan kondisi lintasan yang digunakan selama proses pengujian. Pengujian dilakukan pada beberapa kondisi lintasan yang berbeda, yaitu jalan datar dengan kondisi lalu lintas jalan datar dan serta lintasan yang memiliki tanjakan dan turunan. Pemilihan kondisi tersebut bertujuan untuk mengevaluasi konsumsi daya kendaraan pada berbagai kondisi operasional yang umum ditemui dalam penggunaan sehari-hari. Seluruh data konsumsi daya diperoleh menggunakan sensor PZEM-017 yang terintegrasi dengan sistem pencatat data (data logger) berbasis ESP32 dan disimpan pada media penyimpanan SD Card untuk selanjutnya dianalisis

3.16.1 Skenario Pengujian pada Kondisi Jalan Datar

Pengujian pada kondisi jalan datar dilakukan untuk membandingkan konsumsi daya kendaraan saat sistem *Adaptive cruise control* berbasis *Fuzzy logic* dalam kondisi aktif dan tidak aktif. Pengujian dilaksanakan pada lintasan yang memiliki permukaan relatif datar sehingga pengaruh perubahan elevasi terhadap konsumsi energi dapat diminimalkan. Dengan demikian, perbedaan konsumsi daya yang diperoleh lebih merepresentasikan pengaruh penggunaan sistem *Adaptive cruise control*.



Gambar 3. 38 lintasan yang digunakan pada pengujian kondisi jalan datar.
(Sumber: GoogleMaps, Diakses 2026)

Pengujian sistem *Adaptive cruise control* pada jalan datar dilakukan di Jl. Raya Kertajaya Indah, Surabaya. Lintasan yang digunakan memiliki karakteristik jalan lurus dan relatif datar sehingga sesuai untuk menguji kemampuan sistem dalam mempertahankan kecepatan kendaraan serta menyesuaikan jarak aman terhadap kendaraan di depan. Gambar (a) menunjukkan lokasi lintasan pengujian, sedangkan Gambar (b) menunjukkan kondisi jalan pada lokasi tersebut.

3.16.2 Skenario Pengujian pada Kondisi Jalan Menanjak dan Menurun

Pengujian pada kondisi jalan menanjak dan menurun dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem *Adaptive cruise control* berbasis *Fuzzy logic* dalam mempertahankan kecepatan kendaraan ketika mengalami perubahan elevasi jalan. Lintasan yang digunakan memiliki segmen tanjakan dan turunan sehingga memberikan perubahan beban pada motor listrik selama kendaraan beroperasi.

Pada kondisi jalan menanjak, sistem diharapkan mampu meningkatkan keluaran kendali sehingga kecepatan kendaraan tetap mendekati nilai referensi yang telah ditetapkan. Sebaliknya, pada kondisi jalan menurun, sistem diharapkan mampu menyesuaikan keluaran kendali sehingga kecepatan kendaraan tidak meningkat secara berlebihan akibat pengaruh gaya gravitasi.

Pengujian pada lintasan ini tidak digunakan untuk menganalisis konsumsi daya kendaraan, melainkan untuk mengevaluasi performa sistem kendali dalam mempertahankan kestabilan kecepatan pada kondisi jalan yang memiliki perubahan kemiringan. Hasil pengujian tersebut selanjutnya dianalisis pada Bab 4 berdasarkan respons kecepatan kendaraan terhadap perubahan elevasi jalan.



Gambar 3. 39 Lintasan yang Digunakan pada Pengujian Jalan Menanjak
(Sumber: GoogleMaps, Diakses 2026)

Pengujian sistem *Adaptive cruise control* (ACC) pada kondisi jalan menanjak dan menurun dilakukan di kawasan Pakuwon City, Surabaya, dengan memanfaatkan lintasan jembatan sebagai media pengujian. Lintasan tersebut memiliki karakteristik berupa jalan menanjak, datar di bagian puncak jembatan, dan menurun pada sisi akhir jembatan. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati kemampuan sistem dalam merespons perubahan kemiringan jalan sehingga kecepatan kendaraan dapat disesuaikan sesuai strategi kendali yang telah dirancang. Gambar (a) menunjukkan lokasi pengujian, sedangkan Gambar (b) menunjukkan kondisi lintasan yang digunakan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

Bab ini menyajikan hasil implementasi serta pembahasan dari sistem *Adaptive cruise control* (ACC) berbasis *Fuzzy logic* pada sepeda motor listrik yang telah dirancang pada bab sebelumnya. Pembahasan diawali dengan realisasi perangkat keras dan perangkat lunak, kemudian dilanjutkan dengan pengujian masing-masing komponen sistem untuk memastikan seluruh sensor, aktuator, dan modul pendukung berfungsi sesuai dengan perancangan. Selanjutnya dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan untuk mengevaluasi kinerja *Adaptive cruise control* dalam mengatur kecepatan kendaraan berdasarkan jarak terhadap kendaraan di depan dan kondisi kemiringan jalan. Selain itu, dilakukan analisis terhadap karakteristik konsumsi daya dan energi kendaraan dengan membandingkan kondisi pengendalian manual dan penggunaan sistem *Adaptive cruise control*. Hasil pengujian tersebut dianalisis untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem yang dikembangkan serta mengevaluasi pengaruh penerapan metode *Fuzzy logic* terhadap performa pengendalian dan efisiensi energi pada sepeda motor listrik.

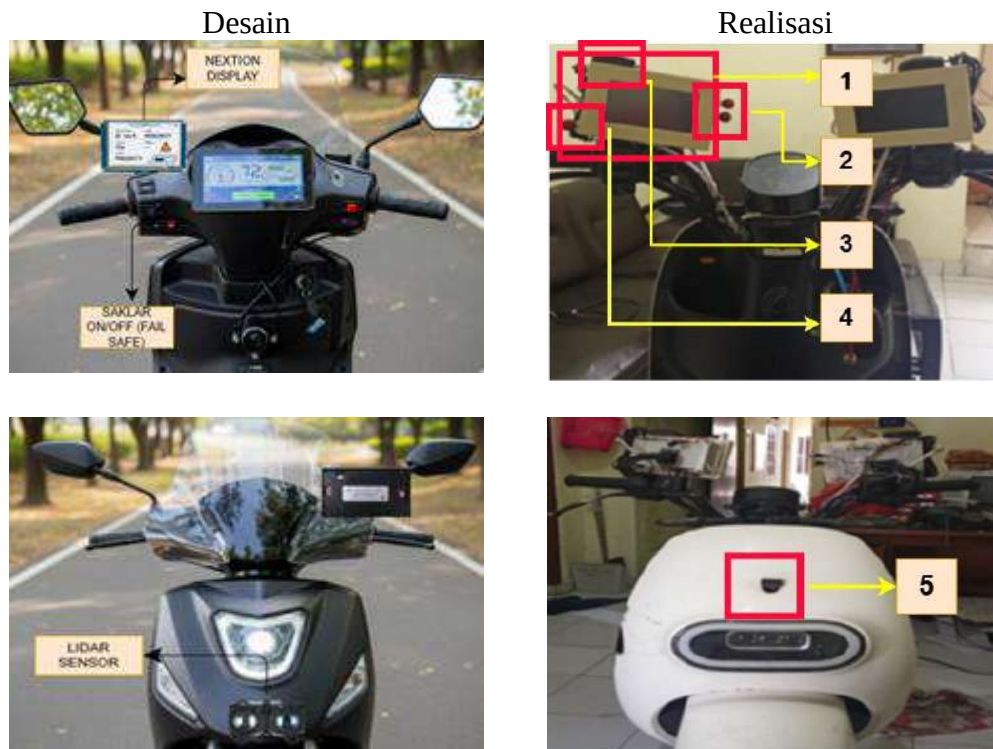
4.2 Implementasi Mekanik

Implementasi mekanik merupakan tahap realisasi dari perancangan sistem yang telah dijelaskan pada Bab III. Pada tahap ini dilakukan proses pembuatan, pemasangan, dan integrasi seluruh komponen mekanik pada sepeda motor listrik sesuai dengan desain yang telah direncanakan. Implementasi ini bertujuan untuk memastikan setiap komponen, sepertiudukan sensor, kotak kontrol, serta tata letak perangkat pendukung, dapat terpasang dengan baik tanpa mengganggu fungsi maupun kenyamanan pengoperasian kendaraan. Hasil implementasi mekanik kemudian dibandingkan dengan desain perencanaan untuk memastikan kesesuaian antara rancangan dan kondisi aktual sebelum sistem memasuki tahap pengujian.

4.2.1 Realisasi Desain Alat

Desain Alat yang telah dirancang pada Bab III selanjutnya direalisasikan ke dalam bentuk prototipe yang dipasang pada sepeda motor listrik. Tahap

implementasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh komponen mekanik, sepertiudukan sensor, kotak kontrol, serta perangkat pendukung lainnya, dapat direalisasikan sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Selain itu, implementasi mekanik juga mempertimbangkan aspek kekuatan konstruksi, keamanan pemasangan, kemudahan perawatan, serta tidak mengganggu kenyamanan maupun fungsi utama kendaraan.



Gambar 4. 1 Desain dan Realisasi Desain Mekanik

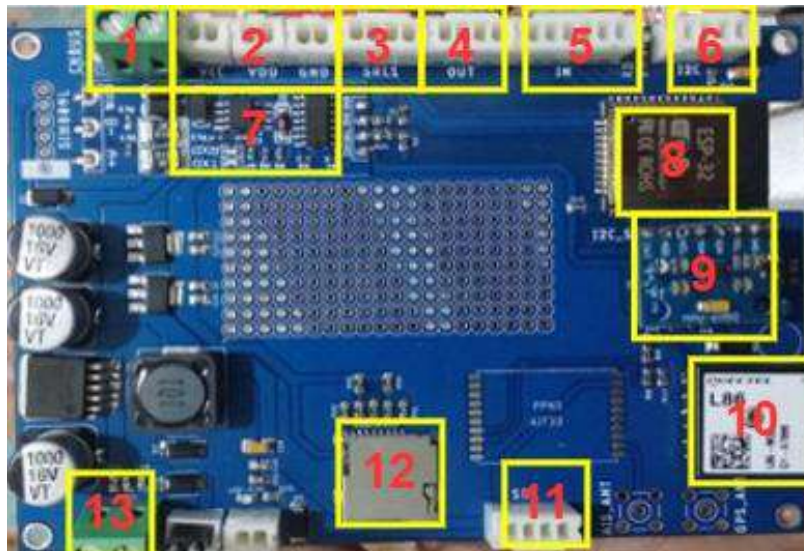
Gambar 4.1 ditampilkan hasil realisasi desain mekanik beserta dokumentasi implementasi pada sepeda motor listrik. Perbandingan antara desain perencanaan dan hasil implementasi dilakukan untuk menunjukkan tingkat kesesuaian rancangan dengan kondisi aktual, sehingga sistem *Adaptive cruise control* berbasis *Fuzzy logic* dapat terintegrasi dengan baik dan siap digunakan pada tahap pengujian.

Tabel 4. 1 Keterangan Legenda

Nomor Legenda	Keterangan Legenda
1	Nextion Display
2	Button Up & Down
3	Antena GPS
4	Button Power
5	Lidar Sensor

4.2.2 Realisasi Desain *Printed Circuit Board* (PCB)

Setelah proses perancangan skematik dan tata letak PCB pada Bab III selesai dilakukan, tahapan selanjutnya adalah merealisasikan desain tersebut menjadi *Printed Circuit Board* (PCB) yang dapat digunakan sebagai media integrasi seluruh komponen sistem.



Gambar 4. 2 Realisasi Desain PCB

Proses implementasi ini bertujuan untuk menghasilkan rangkaian yang lebih ringkas, rapi, serta memiliki koneksi antarkomponen yang lebih andal dibandingkan dengan penggunaan kabel penghubung secara langsung. Hasil realisasi PCB yang telah dicetak ditunjukkan pada Gambar 4.2. Berikut adalah keterangan dari Nomor.

- | | | | |
|----|-------------------------|-----|-------------------|
| 1. | Pin A dan B ke PZEM | 10. | I2C untuk MPU6050 |
| 2. | VCC(5V), VDD(3.3V), GND | 11. | GPS GNSS L86 |
| 3. | SRL1 (UART 1) | 12. | SRL0 (UART0) |
| 4. | Pin OUT ESP32 | 13. | SD-Card Reader |
| 5. | Pin IN ESP32 | 14. | V Source |
| 6. | I2C | | |
| 7. | MAX 485 | | |
| 8. | ESP32 | | |

4.2.3 Pengujian Tegangan *Power Supply* dari PCB

Pengujian catu daya (*power supply*) dilakukan untuk memastikan bahwa rangkaian catu daya pada PCB mampu menghasilkan tegangan keluaran sesuai dengan kebutuhan masing-masing komponen pada sistem *Adaptive cruise control*

(ACC). Pada penelitian ini, sumber tegangan berasal dari DC-DC Step-Down Converter 60 V ke 12 V, kemudian diturunkan kembali menjadi 5 V melalui rangkaian regulator pada PCB. Tegangan 5 V digunakan sebagai catu daya untuk modul ESP32, sensor GNSS L86, sensor LiDAR TF-LC02, modul relay, modul MCP4725, modul SD Card Reader, dan perangkat pendukung lainnya. Selain itu, PCB juga menyediakan keluaran 3,3 V yang digunakan untuk komponen yang memerlukan tegangan kerja 3,3 V. Oleh karena itu, pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap jalur catu daya mampu memberikan tegangan yang stabil sehingga seluruh komponen dapat beroperasi dengan baik selama sistem dijalankan.



Gambar 4. 3 Pengujian Tegangan Catu Daya 5V

Gambar 4.3 menunjukkan proses pengukuran tegangan keluaran 5 V pada PCB menggunakan multimeter digital. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa rangkaian catu daya mampu menghasilkan tegangan sesuai dengan nilai yang dirancang. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan keluaran berada pada kisaran 5 V, sehingga dapat digunakan sebagai catu daya bagi ESP32, modul GNSS L86, sensor LiDAR TF-LC02, modul relay, modul MCP4725, SD Card Reader, serta komponen pendukung lainnya. Tegangan yang stabil menunjukkan bahwa rangkaian regulator bekerja dengan baik dan mampu menyuplai kebutuhan daya sistem.



Gambar 4. 4 Pengujian Tegangan Catu Daya 3.3V

Gambar 4.4 menunjukkan proses pengukuran tegangan keluaran 3,3 V pada PCB menggunakan multimeter digital. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa jalur catu daya 3,3 V telah bekerja sesuai dengan kebutuhan komponen yang menggunakan tegangan kerja tersebut. Berdasarkan hasil pengukuran, tegangan keluaran berada pada kisaran 3,3 V, sehingga dapat digunakan untuk menyuplai komponen yang memerlukan catu daya 3,3 V. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa distribusi catu daya pada PCB telah berfungsi dengan baik dan mampu menyediakan tegangan yang stabil untuk mendukung kinerja sistem *Adaptive cruise control*.

Tabel 4. 2 Tabel Pengujian Tegangan Catu Daya VCC (5V) dan VDD (3.3V)

Pengujian Ke-	Titik Pengukuran	Tegangan Rancangan (V)	Tegangan Terukur (V)
1	VCC (5V)	5.00	5.03
2	VCC (5V)	5.00	5.03
3	VCC (5V)	5.00	5.02
4	VCC (5V)	5.00	5.03
5	VCC (5V)	5.00	5.03
6	VDD (3.3V)	3.30	3.27
7	VDD (3.3V)	3.30	3.27
8	VDD (3.3V)	3.30	3.26
9	VDD (3.3V)	3.30	3.26
10	VDD (3.3V)	3.30	3.26

Berdasarkan hasil pengukuran, seluruh keluaran catu daya memiliki nilai yang mendekati tegangan rancangan dengan selisih yang sangat kecil. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian catu daya pada PCB mampu bekerja dengan baik

dan menyediakan suplai tegangan yang stabil, sehingga seluruh komponen pada sistem *Adaptive cruise control* dapat beroperasi sesuai dengan spesifikasi yang telah dirancang.

4.3 Pengujian Parsial

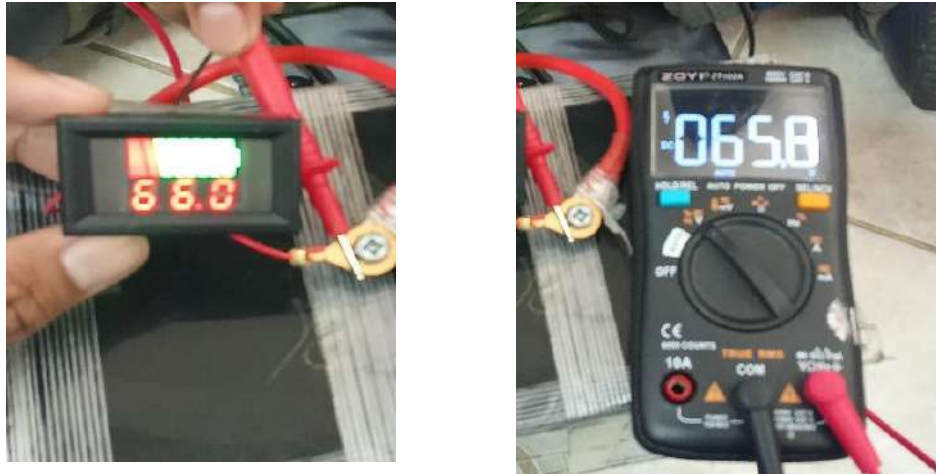
Pada bab ini dilakukan pengujian parsial terhadap setiap komponen utama dalam sistem yang dirancang. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa masing-masing bagian, seperti sensor, mikrokontroler, modul komunikasi, dan perangkat pendukung lainnya, dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan spesifikasi yang telah direncanakan. Dengan melakukan pengujian secara terpisah, diharapkan setiap kesalahan atau ketidaksesuaian dapat diidentifikasi lebih awal sebelum sistem diintegrasikan secara keseluruhan. Hasil dari pengujian parsial ini akan menjadi dasar evaluasi dalam meningkatkan kinerja dan keandalan sistem secara menyeluruh. Berikut beberapa pengujian komponen yang digunakan dalam sistem :

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1. Pengujian Tegangan Baterai | 9. Pengujian SD-Card Reader |
| 2. Pengujian Sensor Lidar TF-LC02 | 10. Pengujian Button Self Lock |
| 3. Pengujian GPS GNSS L86 | 12. Pengujian Step Down Converter |
| 4. Pengujian MPU6050 | 13. Pengujian Modul Relay 5V |
| 5. Pengujian Modul MPC4725 | |
| 6. Pengujian HMI Nextion | |
| 7. Pengujian Tegangan Sinyal <i>Throttle</i> | |
| 8. Pengujian Sensor PZEM-017 | |

Untuk mengetahui performa kinerja peralatan yang digunakan maka dilakukan pengujian pada sensor. Pada tahap pengujian sensor tidak menutup kemungkinan pembacaan sensor mengalami error.

4.3.1 Pengujian Tegangan Baterai

Tujuan dari pengujian tegangan baterai adalah untuk memastikan apakah baterai cell dengan nominal 3,7 V yang disusun seri sebanyak 16 seri telah mengeluarkan tegangan yang sesuai (kisaran 60V).



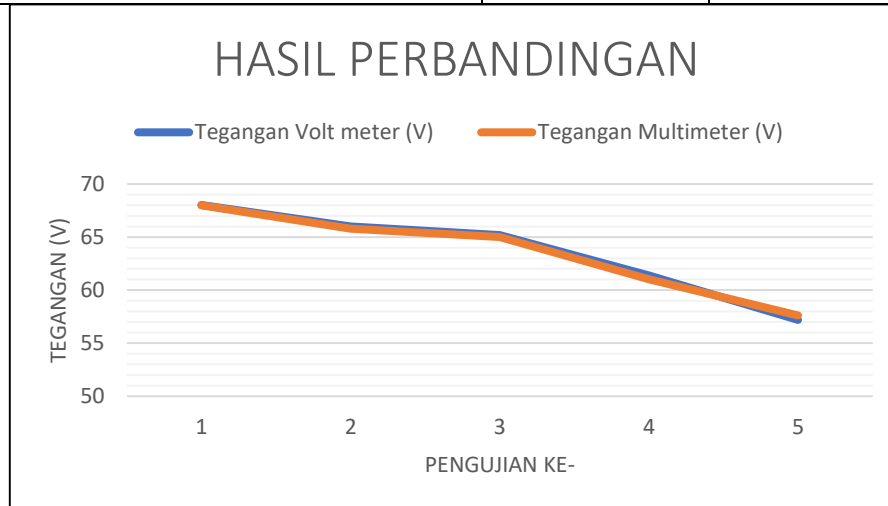
Gambar 4. 5 Pengujian Tegangan baterai menggunakan Voltmeter dan Multimeter

Berikut merupakan data hasil pengujian tegangan baterai yang dituliskan pada

Tabel 4.1 :

Tabel 4. 3 Data hasil pengujian pengukuran tegangan baterai

No	Tegangan Volt meter (V)	Tegangan Multimeter (V)	Error (V)	Persentase Error
1	68,04	68	0,04	0,06%
2	66	65,8	0,2	0,30%
3	65,2	65	0,2	0,31%
4	61,4	61,01	0,3	0,49%
5	57,2	57,62	0,4	0,69%
Rata-Rata			0,2	0,37%



Gambar 4. 6 Grafik hasil perbandingan pengukuran tegangan baterai

Berdasarkan pengujian pengukuran tegangan baterai, grafik menunjukkan perbandingan hasil pengukuran tegangan antara voltmeter yang diuji dan multimeter sebagai alat referensi, di mana setiap data memiliki selisih (*error*) yang relatif kecil. Nilai error dihitung dari selisih antara kedua pengukuran, dengan

rentang error dari 0.02V hingga 0.4V. Hal ini menunjukkan bahwa pembacaan voltmeter cukup mendekati nilai sebenarnya yang diukur oleh multimeter, meskipun terdapat sedikit perbedaan yang dapat disebabkan oleh faktor seperti noise, resolusi alat, atau kalibrasi. Dengan rata-rata error sebesar 0.2 V dan rata rata persentase error adalah 0,37% . Dapat disimpulkan bahwa alat ukur yang digunakan memiliki tingkat akurasi yang baik dan masih dalam batas toleransi yang wajar untuk pengukuran tegangan pada kisaran 60 - 70 V.

4.3.2 Pengujian Sensor GPS L86 untuk membaca kecepatan kendaraan

Tujuan dari pengujian sensor GPS L86 adalah untuk memastikan bahwa sensor GPS L86 dapat mengukur kecepatan aktual kendaraan yang sedang melaju.

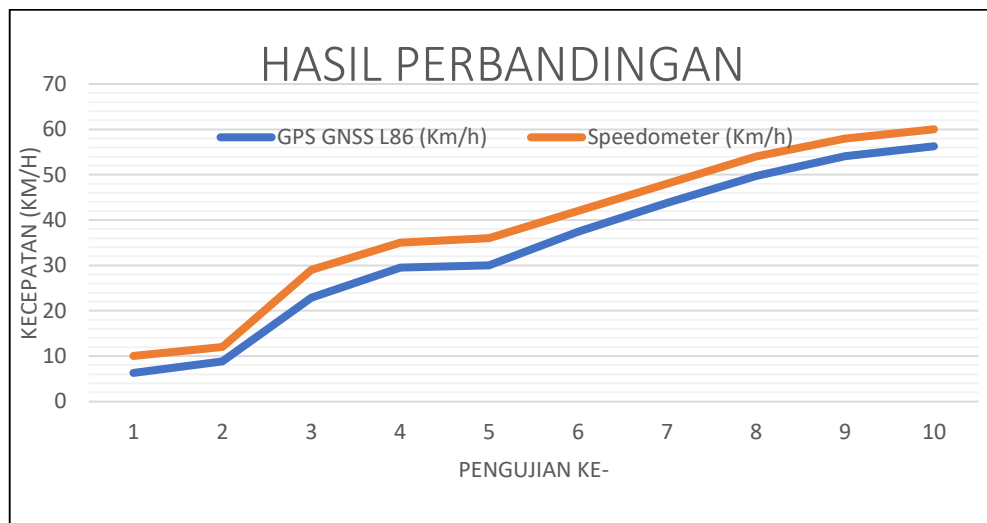


Gambar 4. 7 Pengujian GPS GNSS L86

Berikut merupakan data hasil pengujian GPS GNSS L86 yang dituliskan pada Tabel 4.2 :

Tabel 4. 4 Data hasil pengujian kecepatan menggunakan GPS dan speedometer

No	GPS GNSS L86 (Km/h)	Speedometer (Km/h)	Error (Km/h)	Persentase Error
1	6,3	10	3,7	37,00%
2	8,8	12	3,2	26,67%
3	22,9	29	6,1	26,64%
4	29,5	35	5,5	18,64%
5	30	36	6	20,00%
6	37,4	42	4,6	12,30%
7	43,8	48	4,2	9,59%
8	49,7	54	4,3	8,65%
9	54,1	58	3,9	7,21%
10	56,3	60	3,7	6,17%
Rata-Rata			4,92	12,81%



Gambar 4. 8 Grafik hasil perbandingan antara GNSS L86 dan *Speedometer*

Berdasarkan pengujian diatas dapat dilihat bahwa Data tersebut menunjukkan perbandingan hasil pengukuran kecepatan antara sensor GPS GNSS L86 dan *speedometer* sebagai alat pembanding, di mana terdapat selisih nilai (*error*) pada setiap pengujian. *Error* dihitung dari perbedaan antara kecepatan yang terbaca pada GPS dan *speedometer*, dengan nilai *error* berkisar antara 3.2 km/h hingga 6.1 km/h. Secara umum, nilai yang ditampilkan oleh GPS cenderung lebih rendah dibandingkan *speedometer*, yang dapat disebabkan oleh faktor seperti *delay* pembacaan GPS, akurasi sinyal satelit, atau karakteristik pengukuran *speedometer* kendaraan. Dengan rata-rata *error* sebesar 4.9 km/h dan rata rata persentase *error* adalah 12.81%, nilai tersebut didapat dengan persamaan (2.12) sebagai berikut,

$$\frac{3,7+3,2+6,1+5,5+6+4,6+4,2+4,3+3,9+3,7}{10+12+29+35+36+42+48+54+58+60} \times 100\% \quad (4.2)$$

$$\frac{49,2}{384} \times 100\% = 12,81\%$$

Dapat disimpulkan bahwa pembacaan kecepatan menggunakan GPS GNSS L86 masih memiliki deviasi yang cukup signifikan, namun tetap dapat digunakan untuk pemantauan kecepatan secara umum dengan tingkat akurasi yang masih dapat ditoleransi tergantung pada kebutuhan aplikasi.

4.3.3 Pengujian Sensor LiDAR TF-LC02

Tujuan dari pengujian sensor LiDAR TF-LC02 adalah untuk memastikan bahwa sensor tersebut dapat menampilkan jarak yang akurat dengan alat ukur meteran sebagai validasi hasil ukuran.



Gambar 4. 9 Pengujian Sensor LIDAR TF-LC02

Berikut merupakan data hasil pengujian Sensor LIDAR TF-LC02 yang dituliskan pada Tabel 4.3:

Tabel 4. 5 Hasil perbandingan sensor lidar dan meteran

No	TF-LC02 (Cm)	Meteran (Cm)	Error (Cm)	Persentase Error
1	32,8	30	2,8	9,33%
2	63,5	60	3,5	5,83%
3	91,6	90	1,6	1,78%
4	122,4	120	2,4	2,00%
5	93,7	90	3,7	4,11%
6	124	120	4	3,33%
7	152,9	150	2,9	1,93%
8	182,5	180	2,5	1,39%
9	213,7	210	3,7	1,76%
10	242,8	240	2,8	1,17%
Rata-Rata			2,99	2,32%



Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan antara TF-LC02 dan Meteran

Data di atas menunjukkan perbandingan hasil pengukuran jarak antara sensor TF-LC02 dan meteran pada sepuluh kali pengujian. Secara umum, hasil pembacaan sensor cukup mendekati nilai aktual yang diukur menggunakan meteran, dengan rentang pengukuran mulai dari 30 cm hingga 240 cm. Nilai error yang diperoleh berada pada kisaran 1,6 cm hingga 4 cm, dimana error terkecil terjadi pada pengujian ketiga dan error terbesar pada pengujian keenam. Meskipun terdapat sedikit deviasi pada beberapa pengujian, nilai error yang dihasilkan masih relatif kecil dan tidak menunjukkan penyimpangan yang signifikan seiring bertambahnya jarak pengukuran. Perbedaan hasil pengukuran tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti pencahayaan, posisi objek, sudut pantulan, serta karakteristik permukaan objek, mengingat sensor LiDAR bekerja dengan memantulkan sinar laser ke objek. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh rata-rata error sebesar 2,99 cm, dan persentase error sebesar 2,32% didapat dengan perhitungan seperti pada Persamaan (2.12) seperti berikut,

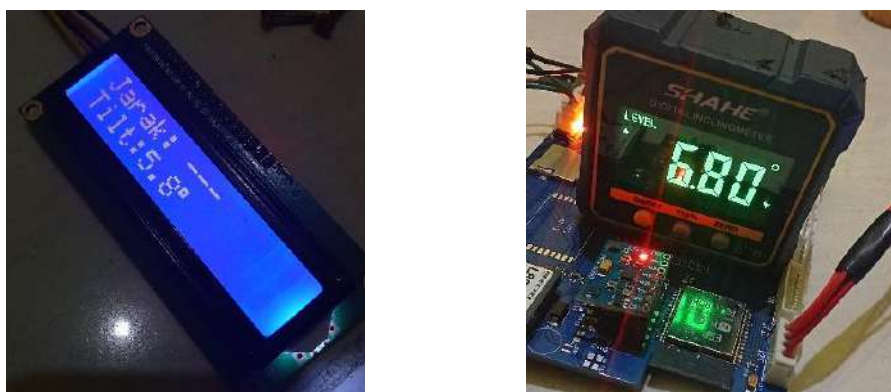
$$= \frac{2,8+3,5+1,6+2,4+3,7+4+2,9+2,5+3,7+2,8}{30+60+90+120+90+120+150+180+210+240} \times 100\% \quad (4.3)$$

$$= \frac{29,9}{1290} \times 100\% = 2,32\%$$

sehingga sensor TF-LC02 masih tergolong cukup akurat dan layak digunakan untuk aplikasi pengukuran jarak.

4.3.4 Pengujian Sensor MPU6050

Tujuan dari pengujian sensor MPU6050 adalah untuk memastikan sensor tersebut dapat mendeteksi derajat kemiringan kendaraan nantinya pada saat melewati jalan yang menanjak atau menurun.

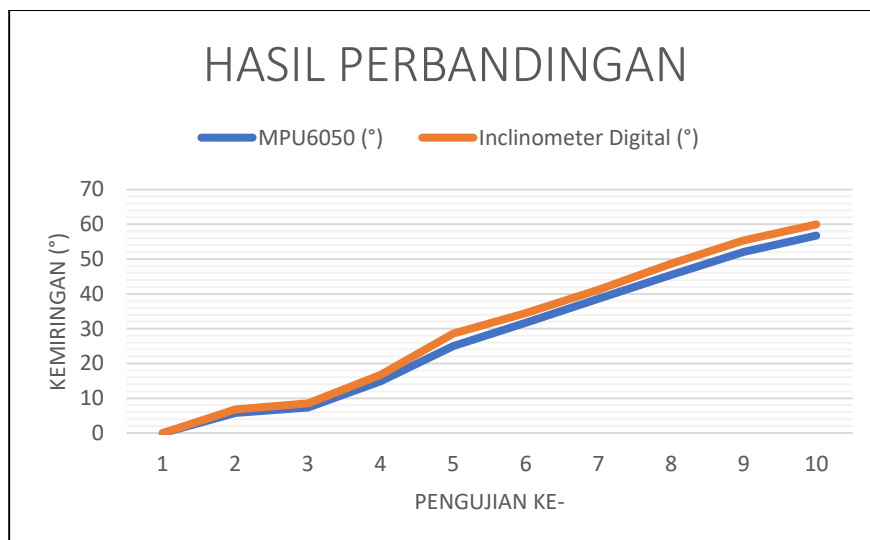


Gambar 4. 11 Pengujian Sensor MPU6050

Berikut merupakan Tabel hasil pengujian sensor MPU6050 :

Tabel 4. 6 Tabel perbandingan Sensor MPU6050 dan *Inclinometer Digital*

No	MPU6050 (°)	Inclinometer Digital (°)	Error (°)	Persentase Error
1	0 (Datar)	0	0	0%
2	5,8	6,8	1	14,71%
3	7,3	8,5	1,2	14,12%
4	14,9	16,7	1,8	10,78%
5	25	28,6	3,6	12,59%
6	31,7	34,5	2,8	8,12%
7	38,6	41,2	2,6	6,31%
8	45,4	48,7	3,3	6,78%
9	52,1	55,4	3,3	5,96%
10	56,8	60	3,2	5,33%
Rata-Rata			2,28	7,59%



Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan antara MPU6050 dan *Inclinometer Digital*

Data di atas menunjukkan perbandingan hasil pengukuran sudut antara sensor MPU6050 dan inclinometer digital pada beberapa titik pengujian, serta nilai error yang dihasilkan. Secara umum, nilai yang dibaca oleh sensor MPU6050 cukup mendekati hasil pengukuran *inclinometer digital*, meskipun terdapat selisih pada setiap pengujian, mulai dari kondisi datar (0°) hingga sudut maksimum sebesar $60,0^\circ$. Nilai error yang diperoleh bervariasi antara 0° hingga $3,6^\circ$, dengan error terkecil terjadi pada kondisi datar dan error terbesar terjadi pada pengukuran sudut $25,0^\circ$ dibandingkan $28,6^\circ$ pada inclinometer digital. Selain itu, pada sudut yang lebih besar seperti $45,4^\circ$ - $48,7^\circ$ hingga $56,8^\circ$ - $60,0^\circ$, sensor masih menunjukkan hasil pembacaan yang cukup stabil dengan selisih yang relatif kecil. Berdasarkan

data tersebut, dapat diketahui bahwa sensor MPU6050 memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam mengukur kemiringan atau sudut. Meskipun masih terdapat deviasi pengukuran yang kemungkinan dipengaruhi oleh faktor kalibrasi sensor, noise, getaran, maupun posisi pemasangan sensor, hasil pengukuran secara keseluruhan masih mendekati alat ukur referensi. Dengan rata-rata error sebesar 2,28°, dan persentase error sebesar 7,59% , didapat melalui Persamaan (2.12) sebagai berikut,

$$\frac{0+1+1,2+1,8+3,6+2,8+2,6+3,3+3,3+3,2}{0+6,8+8,5+16,7+28,6+34,5+41,2+48,7+55,4+60} \times 100\% \quad (4.4)$$

$$\frac{22,8}{300,4} \times 100\% = 7,59\%$$

Dengan demikian sensor MPU6050 masih layak digunakan untuk aplikasi pengukuran sudut atau kemiringan yang membutuhkan toleransi kesalahan relatif kecil.

4.3.5 Pengujian Modul MCP4725 Sebagai Pengganti *Throttle*

Tujuan dari pengujian modul MCP4725 (Digital to Analog Converter) adalah untuk memastikan bahwa modul tersebut dapat menghasilkan tegangan analog yang sesuai dengan karakteristik sinyal *throttle* sepeda motor listrik, sehingga dapat digunakan sebagai pengganti *throttle* konvensional. Pengujian dilakukan dengan memberikan beberapa variasi nilai DAC dari rentang 819 (posisi idle) hingga 4095 (posisi gas penuh), yang merepresentasikan kondisi idle, setengah gas, hingga gas penuh. Hasil pengujian ini digunakan untuk mengetahui respons kontroler dan motor terhadap perubahan tegangan yang diberikan. Berikut merupakan tabel hasil pengujian dari modul MCP4725 sebagai pengganti *throttle*.



Gambar 4. 13 Pengujian Modul MCP4725

Tabel 4. 7 Tabel hasil pengujian Modul MCP4725

No	Nilai DAC	Tegangan <i>Output</i> DAC (V)	Kecepatan (RPM)
1	819	0,7	0
2	1638	1,7	210
3	2457	2,7	237
4	3276	3,7	651
5	4095	4,4	709

Hasil pengujian pada tabel menunjukkan hubungan antara nilai DAC (Digital to Analog Converter) dengan tegangan *Output* serta kondisi putaran motor. Pada nilai DAC 819, tegangan yang dihasilkan sebesar 0,80 V dan motor berada pada kondisi idle atau tidak berputar. Ketika nilai DAC dinaikkan menjadi 1638, tegangan meningkat menjadi 1,7 V yang menyebabkan motor mulai berputar pada putaran rendah. Selanjutnya, pada nilai DAC 2457 dengan tegangan 2,7V, motor mencapai putaran sedang, kemudian pada DAC 3276 dengan tegangan 3,7V motor berada pada putaran tinggi. Kondisi maksimum terjadi pada nilai DAC 4095 dengan tegangan 4,6 V, di mana motor berada pada kondisi gas penuh. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan nilai DAC berbanding lurus dengan peningkatan tegangan *Output* dan respon kecepatan motor.

4.3.6 Pengujian HMI Nextion

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap tampilan Nextion Display untuk memastikan seluruh antarmuka sistem dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan perancangan. Pengujian meliputi tampilan data, perpindahan halaman, respons tombol, serta komunikasi antara Nextion dan mikrokontroler ESP32. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah informasi yang ditampilkan pada layar telah sesuai dengan data yang dikirim oleh sistem serta memastikan tampilan dapat bekerja secara stabil dan responsif selama pengoperasian.



Gambar 4. 14 Pengujian HMI Nextion

Tabel 4. 8 Tabel Hasil Pengujian HMI Nextion

Parameter yang diuji	Hasil Pengujian	Status
Tampilan Halaman	Halaman Tertampil	Berhasil
Tampilan Kecepatan	Nilai Kecepatan Tertampil	Berhasil
Tampilan Kemiringan	Nilai Sudut Tertampil	Berhasil
Tampilan Jarak	Nilai Jarak Tertampil	Berhasil
Respon Tombol Nextion	Sistem Merespon	Berhasil

Hasil pengujian pada tabel menunjukkan bahwa seluruh parameter yang diuji pada sistem HMI Nextion telah berfungsi dengan baik. Pengujian tampilan halaman menunjukkan bahwa halaman dapat tertampil dengan benar, begitu juga dengan tampilan kecepatan yang berhasil menampilkan nilai kecepatan sesuai data yang diterima sistem. Selain itu, tampilan kemiringan dan tampilan jarak juga menunjukkan hasil yang sesuai dengan nilai pengukuran, di mana masing-masing parameter berhasil ditampilkan pada layar. Pada pengujian respon tombol Nextion, sistem juga mampu merespon input dengan baik tanpa adanya keterlambatan yang signifikan. Secara keseluruhan, seluruh hasil pengujian menunjukkan status berhasil, yang menandakan bahwa sistem HMI Nextion bekerja dengan stabil dan sesuai dengan perancangan.

4.3.7 Pengukuran Tegangan Sinyal dari *Throttle* Sepeda Motor Listrik

Pada tahap ini dilakukan pengukuran awal untuk tegangan yang dikeluarkan dari kabel Sinyal *Throttle* sepeda motor listrik , hasil dari pengukuran tegangan

sinyal ini nantinya akan digunakan sebagai acuan untuk mengatur batas awal kecepatan motor listrik.



Gambar 4. 15 Pengukuran Tegangan Sinyal Throttle dan RPM

Tabel 4. 9 Tabel Pengukuran tegangan sinyal

Posisi <i>Throttle</i> (%)	Tegangan Sinyal (V)	Kecepatan (RPM)
0	0,8 (<i>idle</i>)	0
25	1,7	210
50	2,6	237
75	3,5	651
100	4,8	709

Dari Tabel di atas dapat dilihat bahwa semakin besar tegangan signal(mendekati 5v) yang diterima oleh *kontroler* dari *Throttle* ,maka motor akan berputar semakin cepat, konsep ini sama hal nya dengan sistem pada *throttle* pada kendaraan mesin konvensional yang dimana *Throttle* jika semakin dibuka maka akan mengalirkan bahan bakar semakin banyak ke mesin yang mengakibatkan putaran mesin semakin tinggi.

4.3.8 Pengujian Sensor PZEM-07

Pengujian sensor PZEM-017 dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mengukur parameter kelistrikan berupa tegangan, arus, dan daya pada baterai sepeda motor listrik.



Gambar 4. 16 Pengujian Tegangan dan Arus Sensor PZEM

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa data yang diperoleh dari sensor memiliki tingkat keakuratan yang memadai sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam proses analisis konsumsi daya selama sistem *adaptive cruise control* beroperasi. Hasil pengujian sensor PZEM-017 disajikan pada tabel berikut.

A. Pengujian Arus dari PZEM017 (Ampere)

Tabel 4. 10 Pengujian Arus

No	PZEM 017 (A)	Clamp Meter (A)	Error (%)
1	0.44	0.44	0
2	0.71	0.64	0,07
3	0.81	0.85	0,04
4	1.05	1.00	0,05
5	1.22	1.20	0,02
6	1.45	1.44	0,01
7	1.74	1.70	0,04
8	1.86	1.80	0,06
9	2.04	2.00	0,04
10	2.19	2.20	0,01
Rata – rata Error			0.034%

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.8, sensor PZEM-017 mampu mengukur arus listrik dengan hasil yang mendekati pembacaan clamp meter sebagai alat ukur referensi. Nilai error pada setiap pengujian berkisar antara 0% hingga 0,06%, dengan rata-rata error sebesar 0,034%%. Error terbesar terjadi pada pengujian ke delapan, sedangkan sebagian besar pengujian lainnya menunjukkan nilai error di bawah 1%, sehingga perbedaan hasil pengukuran tergolong kecil. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa sensor PZEM-017 memiliki tingkat akurasi yang baik dan layak digunakan untuk mengukur arus baterai serta mendukung analisis konsumsi daya pada sistem *adaptive cruise control* yang dikembangkan.

B. Pengujian Tegangan dari PZEM017 (Volt)

Tabel 4. 11 Pengujian Tegangan

No	PZEM 017 (V)	Multimeter (V)	Error (%)
1	62.08	61.65	0.7
2	62.45	62.02	0.7
3	62.81	62.44	0.6
4	63.16	62.79	0.6
5	63.48	63.11	0.6
6	63.87	63.49	0.6

No	PZEM 017 (V)	Multimeter (V)	Error (%)
7	64.15	63.76	0.6
8	64.42	64.02	0.6
9	64.71	64.29	0.7
10	64.96	64.58	0.6
Rata-rata			0.63 %

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.9, sensor PZEM-017 mampu mengukur tegangan baterai dengan hasil yang sangat mendekati pembacaan multimeter sebagai alat ukur referensi. Nilai tegangan yang diukur berada pada rentang 62,08 V hingga 64,96 V, dengan nilai error berkisar antara 0,6% hingga 0,7%. Rata-rata error yang diperoleh sebesar 0,63%, menunjukkan bahwa selisih pengukuran antara PZEM-017 dan multimeter sangat kecil. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa sensor PZEM-017 memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dalam mengukur tegangan baterai, sehingga layak digunakan sebagai sumber data pengukuran tegangan pada penelitian ini.

C. Pengujian Daya dari PZEM017 (Watt)

Tabel 4. 12 Pengujian Daya

No	PZEM 017 (W)	Referensi (W)	Error (%)
1	27.32	27.13	0.70
2	44.34	39.69	11.72
3	50.88	53.07	4.13
4	66.32	62.79	5.62
5	77.45	75.73	2.27
6	92.61	91.43	1.29
7	111.62	108.39	2.98
8	119.82	115.24	3.97
9	132.01	128.58	2.67
10	142.26	142.08	0.13
Rata-rata			3.55 %

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.10, sensor PZEM-017 mampu mengukur daya listrik dengan hasil yang mendekati nilai referensi yang diperoleh dari hasil perhitungan tegangan dan arus. Nilai daya yang diukur berada pada rentang 27,32 W hingga 142,26 W, dengan nilai error berkisar antara 0,13% hingga 11,72%. Error terbesar terjadi pada pengujian kedua, sedangkan sebagian besar pengujian lainnya menunjukkan nilai error di bawah 5%. Rata-rata error yang diperoleh sebesar 3,55%, sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor PZEM-017

memiliki tingkat akurasi yang baik dalam mengukur daya listrik dan layak digunakan sebagai sumber data untuk analisis konsumsi daya pada penelitian ini.

4.3.9 Pengujian SD-Card Reader Module

Pengujian parsial modul SD Card Reader dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan modul dalam menyimpan data hasil pembacaan sensor PZEM-017 ke dalam media penyimpanan secara otomatis. Data yang direkam meliputi waktu pengambilan data, tegangan, arus, daya, dan energi dengan interval pencatatan setiap 1 detik.

1	Waktu(HH)	Tegangan	Arus(A)	Daya(W)	Energi(Wh)
2	00:00:04	64,47	0,14	9	0,002
3	00:00:05	64,48	0,17	10,9	0,005
4	00:00:06	64,47	0,18	11,6	0,008
5	00:00:07	64,47	0,16	10,3	0,011
6	00:00:08	64,48	0,13	8,3	0,013
7	00:00:09	64,48	0,11	7	0,015
8	00:00:10	64,46	0,36	23,2	0,023
9	00:00:11	65,22	0,35	22,8	0,029
10	00:00:12	64,46	0,34	21,9	0,035
11	00:00:13	64,46	0,16	10,3	0,038
12	00:00:14	64,47	0,14	9	0,04

00:00:04.012	->	V=64,47V	I=0,14A	W=9,0W
00:00:05.012	->	V=64,48V	I=0,17A	W=10,9W
00:00:06.016	->	V=64,47V	I=0,18A	W=11,6W
00:00:07.024	->	V=64,47V	I=0,16A	W=10,3W
00:00:08.020	->	V=64,48V	I=0,13A	W=8,3W
00:00:09.024	->	V=64,48V	I=0,11A	W=7,0W
00:00:10.032	->	V=64,46V	I=0,36A	W=23,2W
00:00:11.036	->	V=65,22V	I=0,35A	W=22,8W
00:00:12.040	->	V=64,46V	I=0,34A	W=21,9W
00:00:13.040	->	V=64,46V	I=0,16A	W=10,3W
00:00:14.040	->	V=64,47V	I=0,14A	W=9,0W

Gambar 4. 17 Hasil data pada File CSV dan Serial Monitor

Hasil pengujian pencatatan data menggunakan modul SD Card Reader ditunjukkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Tabel Perbandingan Data Logger

NO	Waktu (detik)	Data pada Serial monitor	Data pada file CSV	Hasil
1	00:00:04	V=64,47 I=0,14 W=9	V=64,47 I=0,14 W=9	Sesuai
2	00:00:05	V=64,48 I=0,17 W=10,9	V=64,48 I=0,17 W=10,9	sesuai
3	00:00:06	V=64,47 I=0,18 W=11,6	V=64,48 I=0,17 W=10,9	sesuai
4	00:00:07	V=64,47 I=0,16 W=10,3	V=64,47 I=0,16 W=10,3	sesuai
5	00:00:08	V=64,48 I=0,13 W=8,3	V=64,48 I=0,13 W=8,3	sesuai
6	00:00:09	V=64,48 I=0,11 W=7	V=64,48 I=0,11 W=7	sesuai
7	00:00:10	V=64,46 I=0,36 W=23,2	V=64,46 I=0,36 W=23,2	sesuai
8	00:00:11	V=65,22 I=0,35 W=22,8	V=65,22 I=0,35 W=22,8	sesuai
9	00:00:12	V=64,46 I=0,34 W=21,9	V=64,46 I=0,34 W=21,9	sesuai
10	00:00:13	V=64,46 I=0,16 W=10,3	V=64,46 I=0,16 W=10,3	sesuai

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.13, modul *SD Card Reader* berhasil menjalankan fungsi sebagai data logger dengan baik. Hal ini ditunjukkan oleh data hasil pembacaan sensor PZEM-017 yang ditampilkan pada Serial Monitor dan data yang tersimpan pada file CSV memiliki nilai yang sama untuk setiap parameter yang diamati, yaitu tegangan, arus, dan daya. Kesesuaian data tersebut

menunjukkan bahwa proses penyimpanan data ke dalam media penyimpanan berlangsung dengan benar tanpa terjadi perubahan nilai selama proses pencatatan. Pada pengujian ini, data direkam secara otomatis setiap interval 1 detik dengan format waktu jam:menit. Hasil pencatatan menunjukkan bahwa modul SD Card Reader mampu menyimpan data secara berurutan sesuai waktu pengambilan data sehingga memudahkan proses analisis hasil pengujian pada tahap selanjutnya.

4.3.10 Pengujian *Push Button Switch Self Lock*

Pengujian *push button switch self-locking* dilakukan untuk memastikan bahwa sakelar dapat bekerja dengan baik sebagai tombol power pada sistem *Adaptive cruise control*. Pengujian dilakukan menggunakan multimeter digital pada mode continuity (*buzzer*) untuk mengetahui kontinuitas antara kedua terminal sakelar. Bunyi buzzer menunjukkan bahwa kedua terminal saling terhubung, sedangkan tidak adanya bunyi buzzer menunjukkan bahwa kedua terminal berada pada kondisi terbuka.



Gambar 4. 18 Pengujian Button

Hasil pengujian *push button switch self lock* ditunjukkan pada Tabel 4.13

Tabel 4. 14 Tabel Pengujian Button

No	Kondisi Tombol	Hasil Pengukuran buzzer	Kondisi kontak	Keterangan
1	Belum Dtekan	Tidak Berbunyi	Terbuka (OFF)	Sesuai
2	Ditekan 1x	Berbunyi	Tertutup (ON)	Sesuai
3	Ditekan 2x	Tidak Berbunyi	Terbuka (OFF)	Sesuai
4	Ditekan 3x	Berbunyi	Tertutup (ON)	Sesuai
5	Ditekan 4x	Tidak Berbunyi	Terbuka (OFF)	Sesuai
6	Ditekan 5x	Berbunyi	Tertutup (ON)	Sesuai
7	Ditekan 6x	Tidak Berbunyi	Terbuka (OFF)	Sesuai
8	Ditekan 7x	Berbunyi	Tertutup (ON)	Sesuai

No	Kondisi Tombol	Hasil Pengukuran buzzer	Kondisi kontak	Keterangan
9	Ditekan 8x	Tidak Berbunyi	Terbuka (OFF)	Sesuai
10	Ditekan 9x	Berbunyi	Tertutup (ON)	Sesuai

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.14, push button switch self-locking menunjukkan kinerja yang sesuai dengan prinsip kerja push on–push off. Pada kondisi OFF, kedua terminal tidak memiliki kontinuitas sehingga multimeter tidak mengeluarkan bunyi buzzer. Sebaliknya, setelah tombol ditekan hingga berada pada kondisi ON, kedua terminal saling terhubung yang ditandai dengan bunyi buzzer pada multimeter. Ketika tombol ditekan kembali, kontak kembali terbuka dan bunyi buzzer menghilang. Hasil tersebut menunjukkan bahwa push button switch self-locking berfungsi dengan baik sebagai sakelar ON/OFF yang digunakan untuk mengaktifkan dan menonaktifkan catu daya pada sistem *Adaptive cruise control*.

4.3.11 Pengujian Step Down Converter 60V ke 12V

Pengujian *Step-Down Converter* 60 V ke 12 V dilakukan untuk memastikan bahwa konverter mampu menurunkan tegangan baterai sepeda motor listrik menjadi tegangan keluaran 12 V DC sesuai dengan perancangan. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan masukan dan tegangan keluaran menggunakan multimeter digital.



Gambar 4. 19 Pengujian Converter 60V ke 12V

Hasil pengukuran ini digunakan untuk memverifikasi bahwa konverter mampu menghasilkan catu daya yang stabil sebagai sumber tegangan bagi sistem *Adaptive cruise control*. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4. 15 Pengukuran Tegangan Output dari Converter

No	Tegangan Input	Tegangan Output	Keterangan
1	66.0	12.5	Sesuai
2	65.8	12.5	Sesuai
3	65.4	12.4	Sesuai
4	65.2	12.4	Sesuai
5	64.5	12.3	Sesuai
6	64.2	12.3	Sesuai
7	62.8	12.2	Sesuai
8	61.0	12.1	Sesuai
9	60.7	12.1	Sesuai
10	60.0	12.1	Sesuai

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.15, *DC-DC Step-Down Converter* mampu menurunkan tegangan masukan yang berasal dari baterai sepeda motor listrik menjadi tegangan keluaran yang mendekati 12 V DC. Meskipun tegangan masukan mengalami perubahan, tegangan keluaran tetap berada pada kisaran 12 V dengan selisih yang relatif kecil terhadap nilai rancangan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa konverter bekerja dengan baik dalam menghasilkan catu daya yang stabil, sehingga dapat digunakan sebagai sumber tegangan bagi rangkaian *Adaptive cruise control*. Stabilitas tegangan keluaran ini sangat penting untuk menjaga kinerja seluruh komponen elektronik yang terhubung, serta memastikan sistem dapat beroperasi secara andal selama proses pengujian maupun pengoperasian kendaraan.

4.3.12 Pengujian Relay 5V 1 Channel

Pengujian modul relay 5 V 1 channel dilakukan untuk memastikan bahwa relay dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang telah dirancang sebagai perangkat keselamatan (*safety device*) pada sistem *Adaptive cruise control*. Pengujian dilakukan dengan memberikan logika masukan dari ESP32 untuk mengaktifkan dan menonaktifkan relay, kemudian mengamati perubahan kondisi kontak menggunakan multimeter digital pada mode *continuity (buzzer)*.



Gambar 4. 20 Pengujian Relay 5V 1 Channel

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa relay mampu menghubungkan dan memutus jalur sinyal throttle secara normal, sehingga sistem dapat menonaktifkan cruise control ketika tuas rem ditekan. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4. 16 Pengujian Relay 5V

No.	Kondisi Relay	Kondisi Kontak	Hasil Pengukuran (Buzzer)	Keterangan
1	Tidak aktif (OFF)	Tertutup	Berbunyi	Sesuai
2	Aktif (ON)	Terbuka	Tidak berbunyi	Sesuai
3	Tidak aktif (OFF)	Tertutup	Berbunyi	Sesuai
4	Aktif (ON)	Terbuka	Tidak berbunyi	Sesuai
5	Tidak aktif (OFF)	Tertutup	Berbunyi	Sesuai
6	Aktif (ON)	Terbuka	Tidak berbunyi	Sesuai
7	Tidak aktif (OFF)	Tertutup	Berbunyi	Sesuai
8	Aktif (ON)	Terbuka	Tidak berbunyi	Sesuai
9	Tidak aktif (OFF)	Tertutup	Berbunyi	Sesuai

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.16, modul relay 5 V 1 channel dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang telah dirancang. Pada kondisi relay tidak aktif (OFF), jalur sinyal throttle berada pada kondisi terhubung sehingga sinyal throttle dapat diteruskan ke motor controller. Sebaliknya, ketika relay aktif (ON), jalur sinyal throttle terputus sehingga sinyal throttle tidak lagi diteruskan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa relay mampu bekerja secara normal dalam menghubungkan maupun memutus jalur sinyal throttle.

4.4 Perbandingan Simulasi *Output Fuzzy logic* MATLAB dan ESP32

Perbandingan simulasi *Output Fuzzy logic* MATLAB dan ESP32 bertujuan untuk memvalidasi kesesuaian hasil implementasi algoritma *Fuzzy logic* pada

mikrokontroler ESP32 terhadap hasil perhitungan yang diperoleh dari *Fuzzy logic* Toolbox MATLAB. Pengujian dilakukan dengan memberikan kombinasi nilai input yang sama, yaitu jarak dari sensor LiDAR, nilai kemiringan jalan dari sensor MPU6050, dan nilai error kecepatan. Selanjutnya, nilai tegangan keluaran (*Output*) yang dihasilkan oleh ESP32 dibandingkan dengan nilai tegangan hasil proses defuzzifikasi pada MATLAB



Gambar 4. 21 Hasil Simulasi *Output* Dari Toolbox Fuzzy Matlab

```
Output Serial Monitor X
Message (Enter to send message to 'ESP32 Dev Module' on 'COM7')

09:38:57.698 -> Input: Jarak=200.00cm, Kemiringan=6.00°, Error=0.00
09:38:57.745 -> Output: 2.73V (Sedang)
09:38:57.745 -> -----
09:39:11.043 -> Input: Jarak=200.00cm, Kemiringan=8.00°, Error=0.00
09:39:11.082 -> Output: 2.73V (Sedang)
09:39:11.082 -> -----
09:39:26.115 -> Input: Jarak=200.00cm, Kemiringan=10.00°, Error=0.00
09:39:26.115 -> Output: 2.73V (Sedang)
09:39:26.115 -> -----
```

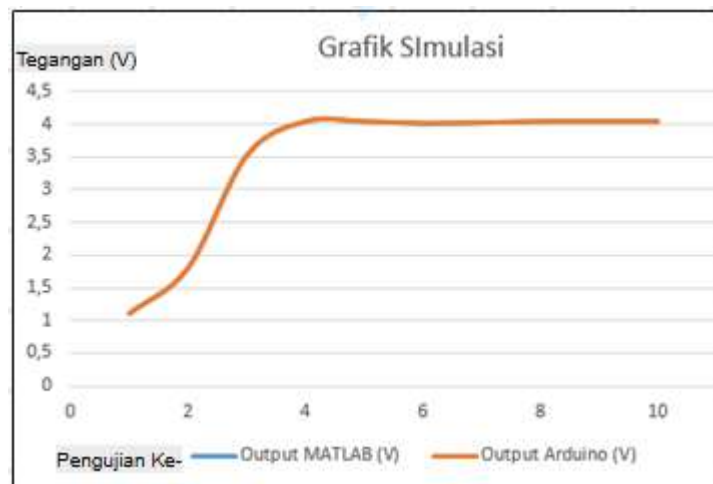
Gambar 4. 22 Hasil Simulasi *Output* Dari Serial Monitor Arduino IDE

Perbandingan dilakukan untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara model *Fuzzy logic* yang dirancang pada MATLAB dengan implementasinya pada perangkat keras. Apabila nilai keluaran yang dihasilkan oleh kedua sistem memiliki selisih yang kecil, maka dapat disimpulkan bahwa proses implementasi rule base, fungsi keanggotaan, serta metode defuzzifikasi pada ESP32 telah berjalan sesuai dengan perancangan. Hasil pengujian perbandingan *Output Fuzzy logic* MATLAB dan ESP32 ditunjukkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4. 17 Perbandingan nilai *Output* tegangan dari simulasi Matlab dan Arduino IDE

No	Jarak (cm)	Kemiringan (°)	Error Kecepatan	Output MATLAB (V)	Output Arduino (V)	Selisih (V)	Error (%)
1	0	0	60	1,1	1,10	0	0
2	50	0	60	1,8	1,80	0	0

No	Jarak (cm)	Kemiringan (°)	Error Kecepatan	Output MATLAB (V)	Output Arduino (V)	Selisih (V)	Error (%)
3	100	0	60	3,53	3,53	0	0
4	150	0	60	4,05	4,05	0	0
5	200	0	60	4,05	4,05	0	0
6	200	2	60	4,02	4,02	0	0
7	200	4	60	4,03	4,03	0	0
8	200	6	60	4,05	4,05	0	0
9	200	8	60	4,05	4,05	0	0
10	200	10	60	4,05	4,05	0	0
Rata rata Error :						0%	



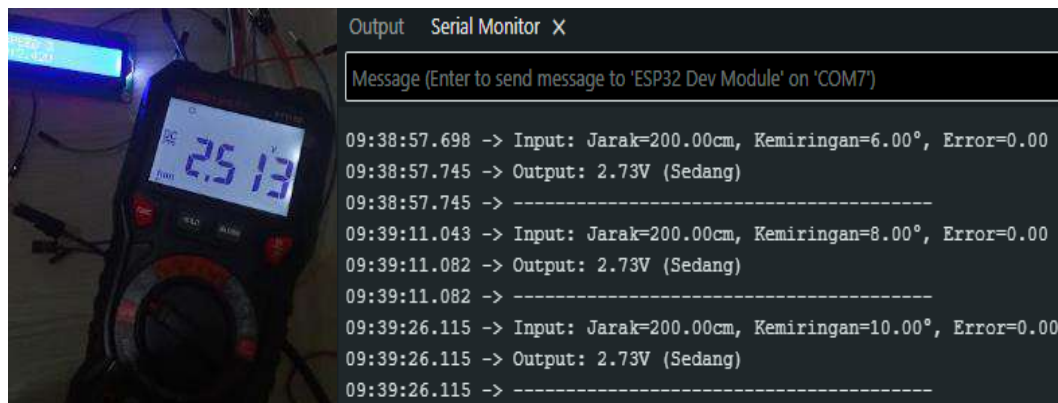
Gambar 4. 23 Grafik Perbandingan *Output Fuzzy* Matlab dan Arduino IDE

Tabel 4.17 menunjukkan hasil perbandingan nilai tegangan keluaran atau *output* antara simulasi *Fuzzy logic* pada MATLAB dengan implementasi program pada Arduino IDE. Pengujian dilakukan dengan variasi jarak 0–200 cm, kemiringan jalan 0°–10°, dan nilai *error* kecepatan sebesar 60 untuk memverifikasi kesesuaian implementasi algoritma *Fuzzy logic* pada mikrokontroler ESP32. Berdasarkan hasil pengujian, seluruh nilai tegangan keluaran yang dihasilkan Arduino IDE sama dengan hasil simulasi MATLAB. Nilai keluaran meningkat dari 1,10 V pada jarak 0 cm menjadi 4,05 V pada jarak 150–200 cm. Selain itu, variasi kemiringan jalan pada jarak 200 cm hanya memberikan perubahan keluaran yang kecil, yaitu pada rentang 4,02–4,05 V, dan tetap menghasilkan nilai yang sama antara MATLAB dan Arduino. Kolom selisih menunjukkan nilai 0 V pada seluruh pengujian, sehingga diperoleh rata-rata *error* sebesar 0%. Hal ini menunjukkan bahwa implementasi *Fuzzy logic* pada Arduino telah sesuai dengan rancangan pada MATLAB. Nilai *error* sebesar 0% diperoleh karena Arduino menggunakan fungsi keanggotaan, *rule*

base, metode inferensi Mamdani, dan metode defuzzifikasi *Centroid* yang sama dengan konfigurasi pada MATLAB. Selain itu, pengujian ini hanya membandingkan hasil perhitungan dari software matlab dan Arduino IDE, sehingga belum dipengaruhi oleh karakteristik perangkat keras seperti toleransi sensor, resolusi DAC, maupun *noise* sinyal. Dengan demikian, implementasi algoritma *Fuzzy logic* pada ESP32 dapat dinyatakan valid dan siap digunakan pada tahap pengujian perangkat keras.

4.4.1 Perbandingan Hasil Simulasi pada ESP32 dan Hardware

Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan nilai tegangan keluaran yang ditampilkan pada *Serial Monitor* Arduino IDE dengan tegangan aktual yang dihasilkan oleh modul DAC MCP4725. Tegangan keluaran modul MCP4725 diukur menggunakan multimeter digital pada setiap nilai tegangan yang telah diprogram pada mikrokontroler ESP32. Perbandingan ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian antara nilai tegangan yang dihasilkan oleh program dengan tegangan aktual pada keluaran modul DAC sebagai dasar dalam menentukan tingkat akurasi modul MCP4725.



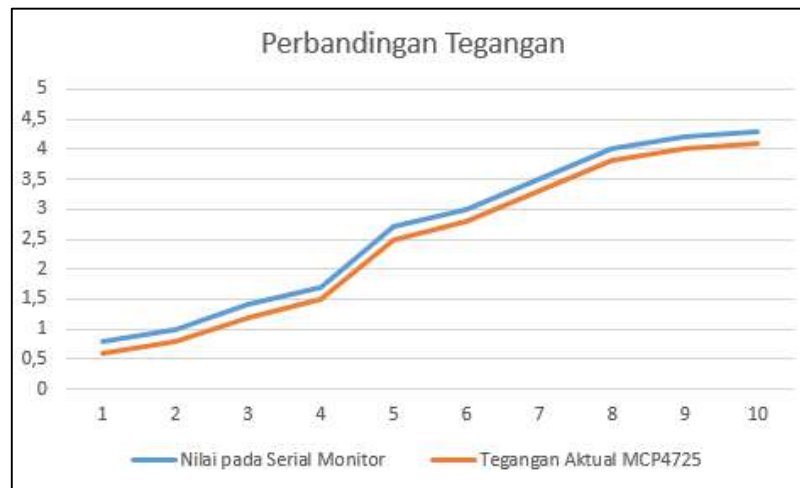
Gambar 4. 24 Tegangan dari MCP4725 dan Serial Monitor

Hasil pengujian perbandingan tegangan ditunjukkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4. 18 Perbandingan Nilai pada Serial Monitor dan Tegangan Aktual

No	Nilai pada Serial Monitor (V)	Nilai DAC	Tegangan Aktual MCP4725 (V)	Selisih (V)
1	0,8	683	0,6	0,2
2	1	853	0,8	0,2
3	1,4	1194	1,2	0,2
4	1,7	1451	1,5	0,2
5	2,7	2303	2,5	0,2

No	Nilai pada Serial Monitor (V)	Nilai DAC	Tegangan Aktual MCP4725 (V)	Selisih (V)
6	3	2559	2,8	0,2
7	3,5	2986	3,3	0,2
8	4	3413	3,8	0,2
9	4,2	3583	4	0,2
10	4,3	3668	4,1	0,2



Gambar 4. 25 Grafik Perbandingan Tegangan dan Serial Monitor

Berdasarkan hasil pengujian, tegangan keluaran modul MCP4725 memiliki selisih sebesar $\pm 0,2$ V terhadap nilai tegangan yang ditampilkan pada Serial Monitor Arduino IDE. Selisih tersebut bukan disebabkan oleh kesalahan konversi DAC, melainkan akibat pemasangan dioda pada jalur keluaran yang menghasilkan tegangan jatuh (*forward voltage drop*) sekitar 0,2 V. Pengujian tanpa menggunakan dioda menunjukkan bahwa tegangan keluaran MCP4725 sesuai dengan nilai referensi yang dihasilkan oleh sistem fuzzy, sehingga dapat disimpulkan bahwa modul MCP4725 bekerja dengan baik dan perbedaan tegangan disebabkan oleh karakteristik komponen dioda yang digunakan.

4.4.2 Konversi Nilai Digital DAC Menjadi Tegangan Analog

Modul MCP4725 merupakan *Digital to Analog Converter* (DAC) beresolusi 12-bit yang mengubah data digital dari ESP32 menjadi sinyal tegangan analog. Resolusi 12-bit menghasilkan rentang nilai digital sebesar 0–4095, dimana semakin besar nilai digital yang dikirimkan, maka semakin besar pula tegangan keluaran yang dihasilkan. Pada penelitian ini, keluaran modul MCP4725 tidak dihubungkan langsung ke throttle controller, melainkan melalui sebuah dioda yang

berfungsi sebagai pengaman rangkaian. Penggunaan dioda menyebabkan terjadinya penurunan tegangan (*forward voltage drop*) sekitar 0,2 V, sehingga tegangan yang diterima oleh throttle controller lebih rendah dibandingkan tegangan keluaran DAC.

Hubungan antara nilai digital DAC dan tegangan keluaran secara umum dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$V_{out} = \frac{D}{4095} \times V_{maks} \quad (4.5)$$

Dimana:

- V_{out} = tegangan keluaran DAC sebelum melewati dioda (Volt)
- D = nilai digital DAC (0–4095)
- V_{maks} = tegangan maksimum keluaran sistem
- 4095 = nilai maksimum DAC 12-bit

Sedangkan tegangan setelah melewati dioda menjadi

$$V_{throttle} = V_{out} - VD \quad (4.6)$$

Sebagai contoh, dilakukan perhitungan tegangan keluaran DAC menggunakan nilai digital sebesar 2303, tegangan maksimum sistem sebesar 4.8V untuk mengetahui hubungan antara nilai digital yang dikirimkan ESP32 dengan tegangan analog yang dihasilkan sebelum melewati dioda.

$$V_{out} = \frac{2303}{4095} \times 4,8$$

$$V_{out} = 0.56 \times 4.8$$

$$V_{out} = 2.688 \text{ atau dibulatkan menjadi } 2.7$$

Kemudian setelah melewati diode

$$V_{throttle} = 2.7 - 0.2$$

$$V_{throttle} = 2.5V$$

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai digital DAC sebesar 2303 menghasilkan tegangan keluaran teoritis sebesar 2,688 V yang kemudian dibulatkan menjadi 2,7 V. Selanjutnya, tegangan tersebut melewati dioda pengaman yang menyebabkan penurunan tegangan (*voltage drop*) sekitar 0,2 V, sehingga tegangan yang diterima oleh *throttle controller* menjadi 2,5 V.

4.5 Perhitungan Manual *Fuzzy logic*

Pada subbab ini dilakukan perhitungan manual terhadap proses *Fuzzy logic* menggunakan metode Mamdani. Perhitungan dilakukan Untuk memverifikasi kebenaran logika program yang telah diimplementasikan pada sistem, pada subbab ini dilakukan perhitungan manual terhadap sistem *Fuzzy Inference System* (FIS) tipe Mamdani yang telah dirancang. Perhitungan dilakukan melalui tiga tahap utama, yaitu fuzzifikasi, inferensi (evaluasi aturan/implikasi), dan defuzzifikasi, dengan menggunakan metode komposisi *min-max* dan defuzzifikasi *centroid*. Contoh kasus dihitung menggunakan nilai input sebagai berikut..

Tabel 4. 19 Nilai Input

Variabel	Simbol	Nilai	Satuan	Rentang
Jarak	d	100	cm	0 – 200
Kemiringan	θ	0	derajat (°)	-15 – 15
Error Kecepatan	e	60	Kpj	0 – 60

4.5.1 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses pengubahan nilai crisp (tegas) menjadi derajat keanggotaan (*degree of membership*) pada masing-masing himpunan fuzzy. Sistem ini menggunakan dua bentuk fungsi keanggotaan, yaitu trapesium dan segitiga. dengan persamaan umum sebagai berikut.

Fungsi Keanggotaan Trapesium dengan parameter (a, b, c, d):

$$\mu(x) = 0, \text{ untuk } x \leq a \text{ atau } x \geq d$$

$$\mu(x) = \frac{(x - a)}{(b - a)}, \text{ untuk } a < x < b$$

$$\mu(x) = 1, \text{ untuk } b \leq x \leq c$$

$$\mu(x) = \frac{(d - x)}{(d - c)}, \text{ untuk } c < x < d$$

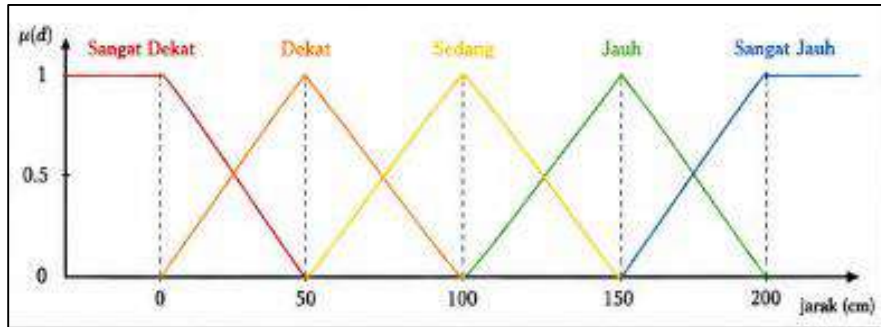
Fungsi Keanggotaan Segitiga dengan parameter (a, b, c):

$$\mu(x) = 0, \text{ untuk } x \leq a \text{ atau } x \geq c$$

$$\mu(x) = \frac{(x - a)}{(b - a)}, \text{ untuk } a < x \leq b$$

$$\mu(x) = \frac{(c-x)}{(c-b)}, \text{ untuk } b < x < c$$

A. Variabel Jarak (d = 100 cm)



Variabel jarak memiliki 4 himpunan fuzzy dengan parameter berikut.

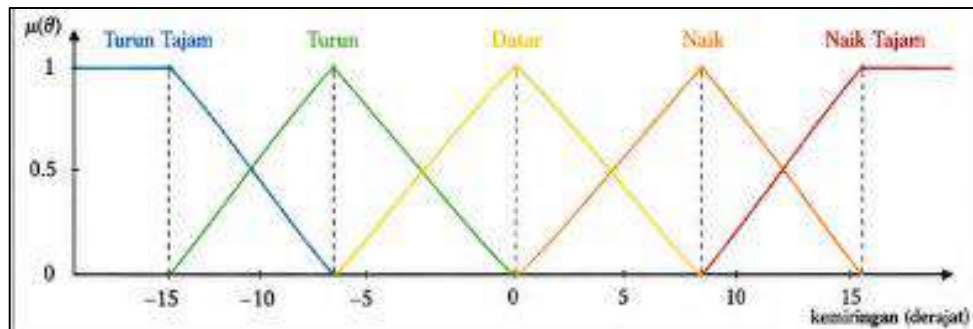
Tabel 4. 20 Variabel jarak

Himpunan Fuzzy	Bentuk	Parameter
Sangat Dekat	Trapesium	(0, 0, 50, 100)
Dekat	Segitiga	(50, 100, 150)
Sedang	Segitiga	(100, 150, 200)
Jauh	Trapesium	(150, 200, 200, 200)

Perhitungan untuk d = 100 , dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1), sebagai berikut,

- Sangat Dekat: karena d = 100 berada tepat di titik akhir sisi turun (c = 50, d = 100), maka $\mu_{\text{Sangat Dekat}}(100) = \frac{(100 - 100)}{(100 - 50)} = 0$
- Dekat: karena d = 100 tepat berada di titik puncak (b = 100), maka $\mu_{\text{Dekat}}(100) = \frac{(100 - 50)}{(100 - 50)} = 1$
- Sedang: karena d = 100 tepat berada di titik awal sisi naik (a = 100), maka $\mu_{\text{Sedang}}(100) = \frac{(100 - 100)}{(150 - 100)} = 0$
- Jauh: karena d = 100 < a = 150 (di luar domain), maka $\mu_{\text{Jauh}}(100) = 0$

B. Variabel Kemiringan ($\theta = 0^\circ$)



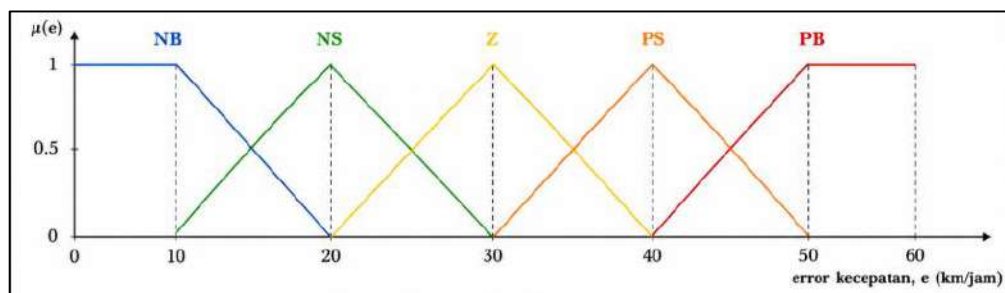
Tabel 4. 21 Variabel Kemiringan

Himpunan Fuzzy	Bentuk	Parameter
Miring Kiri	Trapezium	$(-15, -15, -6, -2)$
Datar	Segitiga	$(-3, 0, 3)$
Miring Kanan	Trapezium	$(2, 6, 15, 15)$

Perhitungan untuk $\theta = 0$, dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1), sebagai berikut,

- Miring Kiri: karena $\theta = 0 > d = -2$ (di luar domain kanan), maka $\mu_{\text{MiringKiri}}(0) = 0$
- Datar: karena $\theta = 0$ tepat berada di titik puncak ($b = 0$), maka $\mu_{\text{Datar}}(0) = \frac{0 - (-3)}{0 - (-3)} = 1$
- Miring Kanan: karena $\theta = 0 < a = 2$ (di luar domain kiri), maka $\mu_{\text{MiringKanan}}(0) = 0$

C. Variabel Error Kecepatan ($e = 60$)



Tabel 4. 22 Variabel Error Kecepatan

Himpunan Fuzzy	Bentuk	Parameter
Sangat Kecil	Trapezium	$(0, 0, 10, 20)$

Himpunan Fuzzy	Bentuk	Parameter
Kecil	Segitiga	(10, 20, 30)
Sedang	Segitiga	(20, 30, 40)
Besar	Segitiga	(30, 40, 50)
Sangat Besar	Trapesium	(40, 50, 60, 60)

Perhitungan untuk $e = 60$, dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1), sebagai berikut,

- Sangat Kecil: $e = 60 > d = 25$ maka $\mu = 0$
- Kecil: $e = 60 > c = 35$ (di luar domain) maka $\mu = 0$
- Sedang: $e = 60 > c = 50$ (di luar domain) maka $\mu = 0$
- Besar: karena $e = 60$ tepat di titik akhir ($c = 60$), maka $\mu_{\text{Besar}}(60) = \frac{(60 - 60)}{(60 - 55)} = 0$
- Sangat Besar: karena $e = 60$ berada pada rentang datar puncak ($b = 60, c = 60$), maka $\mu_{\text{Sangat Besar}}(60) = 1$

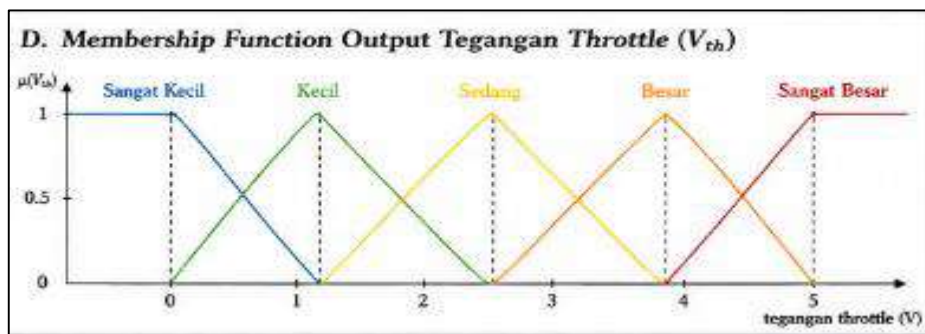
Tabel 4. 23 Derajat Keanggotaan Hasil Fuzzifikasi

Variabel	Himpunan Fuzzy	Derajat Keanggotaan (μ)
Jarak (100 cm)	Sangat Dekat	0
	Dekat	1
	Sedang	0
	Jauh	0
Kemiringan (0°)	Miring Kiri	0
	Datar	1
	Miring Kanan	0
Error Kecepatan (60kph)	Sangat Kecil	0
	Kecil	0
	Sedang	0

Variabel	Himpunan Fuzzy	Derajat Keanggotaan (μ)
	Besar	0
	Sangat Besar	1

Terlihat bahwa ketiga nilai input yang digunakan tepat berada pada titik puncak/plateau salah satu himpunan fuzzynya, sehingga masing-masing variabel hanya memiliki satu himpunan fuzzy yang aktif penuh ($\mu = 1$), sedangkan himpunan fuzzy lainnya bernilai 0.

D. Variabel Output



Himpunan Fuzzy	Bentuk	Parameter
Sangat Kecil	Trapeسيوم	(0, 0, 0.5, 1)
Kecil	Segitiga	(0.5, 1, 2.0)
Sedang	Segitiga	(1.5, 2.5, 3.5)
Besar	Segitiga	(3.0, 4.0, 5.0)
Sangat Besar	Trapeسيوم	(4.0, 4.5, 5.0, 5.0)

Perhitungan untuk $V_{th} = 5,0$ V

- Sangat Kecil: karena $V_{th} = 5,0 > d = 1,0$, maka nilai keanggotaannya berada di luar domain himpunan Sangat Kecil, sehingga $\mu_{\text{Sangat Kecil}}(5,0)=0$
- Kecil: karena $V_{th} = 5,0 > c = 2,0$, maka nilai keanggotaannya berada di luar domain himpunan Kecil, sehingga $\mu_{\text{Kecil}}(5,0)=0$
- Sedang: karena $V_{th} = 5,0 > c = 3,5$, maka nilai keanggotaannya berada di luar domain himpunan Sedang, sehingga $\mu_{\text{Sedang}}(5,0)=0$

- Besar: karena $V_{th} = 5,0$ tepat berada pada titik akhir fungsi segitiga ($c = 5,0$), maka $\mu_{Besar}(5,0) = \frac{5,0-5,0}{5,0-4,0} = 0$
- Sangat Besar: karena $V_{th} = 5,0$ berada pada daerah datar (*plateau*) fungsi trapesium dengan parameter $[4,0;;4,5;;5,0;;5,0]$, maka $\mu_{SangatBesar}(5,0) = 1$

4.5.2 Inferensi (Evaluasi Aturan Fuzzy dan Implikasi)

Basis aturan (rule base) sistem terdiri atas 60 aturan, hasil kombinasi dari 4 himpunan Jarak $\times$ 3 himpunan Kemiringan $\times$ 5 himpunan Error Kecepatan, dengan bentuk umum:

$$IF \text{ Jarak} = A \text{ AND } \text{Kemiringan} = B \text{ AND } \text{Error} = C \text{ THEN Output} = D$$

Operator AND pada anteseden dievaluasi menggunakan fungsi minimum, sehingga derajat kebenaran (α -predikat) suatu aturan dirumuskan sebagai:

$$\alpha_i = \min(\mu_{Jarak}(d), \mu_{Kemiringan}(\theta), \mu_{Error}(e))$$

Karena pada tahap fuzzifikasi hanya satu himpunan fuzzy yang aktif ($\mu = 1$) untuk setiap variabel input yaitu Dekat, Datar, dan Sangat Besar maka setiap aturan yang anteseden-nya tidak persis memuat ketiga himpunan tersebut secara bersamaan pasti menghasilkan $\alpha = 0$ (karena minimal satu suku bernilai 0). Dengan demikian, dari 60 aturan yang ada, hanya satu aturan yang memiliki α predikat tidak nol.

Tabel 4. 24 Potongan Basis Aturan untuk Jarak = Dekat

Kemiringan \ Error	Sangat Kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Miring Kiri	Standby	Standby	Sangat Lambat	Sangat Lambat	Sedang
Datar	Standby	Sangat Lambat	Sedang	Sedang	Cepat
Miring Kanan	Sangat Lambat	Sedang	Sedang	Cepat	Cepat

Sel yang diarsir (Datar $\times$ Sangat Besar) merupakan Aturan ke-25, yaitu:

Aturan 25: JIKA Jarak = Dekat dan Kemiringan = Datar Dan Error Kecepatan = Sangat Besar, Maka Output = Cepat

Perhitungan α -predikat aturan ke-25:

$$\alpha_{25} = \min(\mu_{Dekat} = 1, \mu_{Datar} = 1, \mu_{SangatBesar} = 1) = 1$$

Sedangkan 59 aturan lainnya menghasilkan $\alpha = 0$ karena mengandung minimal satu himpunan fuzzy dengan derajat keanggotaan 0 pada anteseden-nya, sehingga tidak memberi kontribusi pada proses selanjutnya.

Implikasi. Metode implikasi yang digunakan adalah min, yaitu memotong (clipping) fungsi keanggotaan output sesuai nilai α -predikat:

$$\mu_i(z) = \min(\alpha_i, \mu_{output i}(z))$$

Karena $\alpha_{25} = 1$, maka pemotongan tidak mengubah bentuk himpunan output Cepat sama sekali ($\mu_{25}(z) = \mu_{Cepat}(z)$), himpunan konsekuen tetap utuh berbentuk segitiga.

Komposisi (Agregasi). Karena hanya aturan ke-25 yang aktif, hasil komposisi max dari seluruh aturan sama dengan hasil implikasi aturan tersebut:

$$\mu_{agregat}(z) = \max(\mu_i(z)) = \mu_{Cepat}(z)$$

Himpunan fuzzy output akhir sebelum defuzzifikasi adalah murni himpunan Cepat dengan parameter segitiga (3,0 ; 3,6 ; 4,0), tanpa terpotong.

4.5.3 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi mengubah himpunan fuzzy hasil agregasi menjadi satu nilai crisp menggunakan metode centroid (titik pusat massa), sesuai dengan yang diimplementasikan pada program (fungsi fis defuzzi centroid), dengan rumus umum seperti pada persamaan (2.3). Karena pada program integral dihitung secara numerik (metode Riemann) dengan pembagian grid sebanyak $FIS_{RESOLUTION} = 101$ titik sepanjang rentang output (0,8 V – 4,2 V), rumus tersebut didekati secara diskrit:

$$z = \frac{\sum k \cdot \mu_{agregat}(z_k)}{\sum \mu_{agregat}(z_k)}$$

Karena himpunan fuzzy hasil agregasi hanya bernilai tidak nol pada rentang dukung (support) himpunan Cepat, yaitu $z \in [3,0 ; 4,0]$, perhitungan cukup

dilakukan pada rentang tersebut. Sebagai ilustrasi perhitungan manual, berikut sampel 11 titik dengan interval 0,1 V:

Tabel 4. 25 Sampel Perhitungan Centroid pada Rentang Aktif [3,0 – 4,0] V

z (V)	$\mu(z)$
3,0	0
3,1	0,1667
3,2	0,3333
3,3	0,5
3,4	0,6667
3,5	0,8333
3,6	1 (puncak)
3,7	0,75
3,8	0,5
3,9	0,25
4,0	0

Jumlah nilai:

$$\sum \mu(z_k) = 5,0$$

$$\sum z_k \cdot \mu(z_k) = 17,6667$$

Sehingga nilai crisp output dihitung pada Persamaan (2.3):

$$z = \frac{17,6667}{5,0} = 3,5333 \text{ v}$$

Hasil ini identik dengan pendekatan analitis, karena himpunan output tidak terpotong ($\alpha = 1$) sehingga bentuknya tetap berupa segitiga sempurna dengan parameter (a, b, c) = (3,0 ; 3,6 ; 4,0). Untuk segitiga sempurna, titik berat (centroid) dapat dihitung langsung dengan:

$$z = \frac{(a + b + c)}{3} = \frac{(3,0 + 3,6 + 4,0)}{3} = 3,5333 \text{ v}$$

Hasil perhitungan manual ini konsisten dengan keluaran program aktual (yang menggunakan grid 101 titik pada rentang penuh 0,8–4,2 V), yaitu sebesar

3,53318 V ,selisihnya sangat kecil ($< 0,0002$ V) dan murni disebabkan oleh pembulatan/diskritisasi grid, bukan kesalahan logika.

4.6 Pengujian Aktivasi Sistem *Cruise Control*

Pengujian aktivasi sistem *Cruise Control* dilakukan untuk memastikan bahwa sistem dapat diaktifkan sesuai dengan kondisi operasi yang telah dirancang. Pada pengujian ini, sistem diaktifkan melalui tombol *Cruise Control* ketika kendaraan berada pada kecepatan yang telah memenuhi syarat aktivasi.



Gambar 4. 26 Pengujian Aktivasi Sistem *Cruise Control*

Selanjutnya diamati respons sistem berupa perubahan status *Cruise Control*, tampilan pada Human Machine Interface (HMI), serta kemampuan sistem dalam mempertahankan kecepatan sesuai nilai yang telah ditetapkan (set speed). Hasil pengujian aktivasi sistem *Cruise Control* ditunjukkan pada Tabel 4.26.

Tabel 4. 26 Tabel Pengujian Aktivasi Sistem *Cruise Control*

No	Tombol Cruise	Kecepatan (km/jam)	Status Sistem	Keterangan
1	ON	20	Aktif	Berhasil
2	OFF	OFF	OFF	Berhasil
3	ON	20	Aktif	Berhasil
4	OFF	OFF	OFF	Berhasil
5	ON	20	Aktif	Berhasil
6	OFF	OFF	OFF	Berhasil
7	ON	30	Aktif	Berhasil
8	OFF	OFF	OFF	Berhasil
9	ON	30	Aktif	Berhasil
10	OFF	OFF	OFF	Berhasil
11	ON	30	Aktif	Berhasil
12	OFF	OFF	OFF	Berhasil
13	ON	35	Aktif	Berhasil
14	OFF	OFF	OFF	Berhasil
15	ON	35	Aktif	Berhasil
16	OFF	OFF	OFF	Berhasil
17	ON	35	Aktif	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.26, sistem *Cruise Control* berhasil diaktifkan pada seluruh kondisi pengujian yang telah memenuhi persyaratan aktivasi. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme aktivasi yang dirancang telah bekerja sesuai dengan logika sistem, sehingga sistem mampu memasuki mode *Cruise Control* dan mempertahankan kecepatan kendaraan sesuai dengan nilai set speed yang ditentukan.

4.7 Pengujian Pembatalan (*Cancel*) *Cruise Control*.

Pengujian pembatalan (*Cancel*) *Cruise Control* dilakukan untuk memastikan bahwa sistem dapat dinonaktifkan secara otomatis ketika pengemudi mengoperasikan tuas rem depan maupun tuas rem belakang. Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi bahwa sistem *Cruise Control* segera menghentikan proses pengendalian kecepatan sebagai bagian dari fitur keselamatan, sehingga kendali kecepatan sepenuhnya kembali kepada pengemudi.



Gambar 4. 27 Pengujian Pembatalan Sistem

Parameter yang diamati meliputi perubahan status *Cruise Control*, respons sistem terhadap aktivasi tuas rem, serta perubahan tampilan status pada *Human Machine Interface* (HMI). Hasil pengujian pembatalan (*Cancel*) *Cruise Control* disajikan pada Tabel 4.27.

Tabel 4. 27 Pengujian Pembatalan

No	Kondisi	Status Sistem	Keterangan
1	Cruise ON	ON	Berhasil
2	Rem depan	OFF	
3	Cruise ON	ON	Berhasil

No	Kondisi	Status Sistem	Keterangan
4	Rem Belakang	OFF	Berhasil
5	Cruise ON	ON	Berhasil
6	Rem depan	OFF	
7	Cruise ON	ON	Berhasil
8	Rem Belakang	OFF	
9	Cruise ON	ON	Berhasil
10	Rem depan	OFF	

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.27, sistem *Cruise Control* berhasil dinonaktifkan setiap kali tuas rem depan maupun tuas rem belakang dioperasikan. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme pembatalan telah bekerja sesuai dengan logika kendali yang dirancang, sehingga sistem mampu mengembalikan kendali kecepatan kepada pengendara secara cepat sebagai bagian dari aspek keselamatan pengoperasian kendaraan.

4.8 Pengujian Respons Sistem terhadap Kendaraan di Depan

Pengujian respons sistem terhadap kendaraan di depan dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem *Adaptive Cruise Control* berbasis *Fuzzy Logic* dalam menyesuaikan kecepatan kendaraan berdasarkan perubahan jarak terhadap objek yang berada di depan. Pada pengujian ini, sensor LiDAR digunakan untuk mendeteksi jarak objek secara real-time, kemudian informasi tersebut diproses oleh *Fuzzy Logic Controller* untuk menghasilkan keputusan berupa penyesuaian bukaan throttle sehingga kecepatan kendaraan dapat dikurangi secara bertahap sesuai dengan jarak yang terdeteksi. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik respons sistem dalam mempertahankan jarak aman serta mengevaluasi kinerja sistem baik pada kondisi pengujian yang terkontrol di dalam ruangan (*indoor*) maupun pada kondisi penggunaan sebenarnya di lapangan (*outdoor*).

4.8.1 Pengujian Respons Penurunan Kecepatan terhadap Perubahan Jarak Objek pada Kondisi didalam Ruangan (Indoor)

Sebelum dilakukan pengujian pada kondisi nyata di lapangan (*outdoor*), terlebih dahulu dilakukan pengujian pada kondisi dalam ruangan (*indoor*) untuk mengetahui karakteristik dasar respons sistem *Adaptive Cruise Control* terhadap perubahan jarak objek di depan kendaraan. Pengujian *indoor* dilakukan dengan cara motor listrik ditempatkan dalam keadaan diam sehingga putaran rodanya dapat

diamati pada *speedometer digital*. Dengan demikian, hasil pengujian lebih merepresentasikan kemampuan algoritma *Fuzzy Logic* dalam menghasilkan respons penurunan kecepatan berdasarkan perubahan jarak yang terdeteksi oleh sensor LiDAR.



Gambar 4. 28 Pengujian Respon Sistem Terhadap Objek di Depan di Dalam Ruangan(*indoor*)

Pada pengujian ini, kendaraan dijalankan pada kecepatan awal yang telah ditentukan, kemudian objek ditempatkan pada beberapa variasi jarak di depan sensor LiDAR. Selanjutnya diamati perubahan kecepatan kendaraan yang dihasilkan sistem pada setiap perubahan jarak objek untuk mengetahui apakah sistem mampu mengurangi kecepatan secara bertahap sesuai dengan semakin dekatnya posisi objek di depan kendaraan. Hasil pengujian kondisi *indoor* ditunjukkan pada Tabel 4.28.

Tabel 4. 28 Hasil Pengujian Indoor

No	Jarak Objek (cm)	Jarak yang terbaca (cm)	Set Speed (km/jam)	Kecepatan Aktual (km/jam)	Penurunan Kecepatan	Status Sistem
1	200	202,4	30	30	0	Normal
2	185	187,5	30	28	2	Normal
3	170	172,9	30	25	5	Melambat
4	155	151,6	30	22	8	Melambat
5	140	143	30	18	12	Melambat
6	125	128	30	15	15	Melambat
7	110	116,4	30	10	20	Melambat
8	95	96,5	30	0	30	OFF
9	80	84,6	30	0	30	OFF
10	65	68,4	30	0	30	OFF

Berdasarkan Tabel 4.28, dapat diketahui bahwa sistem *Adaptive Cruise Control* berbasis *Fuzzy Logic* mampu merespons perubahan jarak objek di depan dengan menurunkan kecepatan kendaraan secara bertahap. Pada jarak objek 200

cm, kendaraan masih mempertahankan kecepatan sesuai *set speed* yaitu 30 km/jam karena objek masih berada pada jarak aman. Ketika jarak objek semakin berkurang dari 185 cm hingga 110 cm, sistem secara bertahap menurunkan kecepatan kendaraan dari 28 km/jam menjadi 10 km/jam. Hal ini menunjukkan bahwa *Fuzzy Logic Controller* tidak memberikan respons pengereman atau perlambatan secara tiba-tiba, melainkan menghasilkan perubahan kecepatan yang halus (*smooth*) sesuai dengan perubahan jarak objek. Selanjutnya, pada jarak 95 cm sistem menurunkan kecepatan hingga 0 km/jam dan secara otomatis menonaktifkan (*OFF*) fitur *Cruise Control* sebagai bentuk mekanisme keselamatan untuk mencegah kendaraan bergerak terlalu dekat dengan objek di depannya. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengendalikan penurunan kecepatan secara adaptif sesuai perubahan jarak objek pada kondisi pengujian *indoor*, sehingga karakteristik dasar pengendali *Fuzzy Logic* dapat bekerja sesuai dengan rancangan sistem.

4.8.2 Pengujian Respons Penurunan Kecepatan terhadap Perubahan Jarak Objek pada Kondisi Nyata di Lapangan (*Outdoor*)

Setelah karakteristik dasar sistem diperoleh melalui pengujian indoor, tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian pada kondisi nyata di lapangan (*outdoor*). Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem Adaptive Cruise Control berbasis Fuzzy Logic ketika dioperasikan pada lingkungan sebenarnya, sehingga sistem menerima berbagai pengaruh eksternal yang tidak dijumpai pada pengujian indoor. Faktor-faktor seperti kondisi permukaan jalan, pergerakan kendaraan di sekitar, getaran kendaraan, serta fluktuasi pembacaan sensor menjadi bagian dari kondisi pengujian yang harus dihadapi oleh sistem.



Gambar 4. 29 Pengujian Respon Sistem terhadap Kendaraan di Depan diluar Ruangan(outdoor)

Pada pengujian outdoor, kendaraan dijalankan pada lintasan pengujian dengan kecepatan awal yang telah ditentukan, kemudian kendaraan diarahkan mendekati objek atau kendaraan di depan. Sistem selanjutnya mendeteksi perubahan jarak menggunakan sensor LiDAR dan secara otomatis menyesuaikan bukaan throttle sehingga kecepatan kendaraan berkurang sesuai kondisi yang terdeteksi. Hasil pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam menjaga jarak aman terhadap kendaraan di depan pada kondisi operasional sebenarnya. Parameter yang diamati meliputi jarak objek yang terbaca oleh sensor LiDAR, kecepatan awal kendaraan, serta perubahan kecepatan kendaraan setelah sistem melakukan penyesuaian. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.29.

Tabel 4. 29 Hasil Pengujian Respon Sistem

No	Jarak Kendaraan di Depan (cm)	Kecepatan Awal (km/jam)	Kecepatan Setelah Penyesuaian	Keterangan
1	>200	30	30	Objek di luar jangkauan pengendalian
2	>200	30	30	Objek di luar jangkauan pengendalian
3	200	30	30	Objek mulai terdeteksi
4	190	30	30	Objek tidak terbaca sensor
5	170	30	30	Objek tidak terbaca sensor
6	150	30	30	Objek tidak terbaca sensor
7	130	30	30	Objek tidak terbaca sensor
8	99	30	0 (Safety ON)	Objek terdeteksi, Safety aktif
9	90	30	0 (Safety ON)	Objek terdeteksi, Safety aktif
10	50	30	0 (Safety ON)	Objek terdeteksi, Safety aktif

Berdasarkan Tabel 4.28, sistem *Adaptive cruise control* diuji pada beberapa variasi jarak kendaraan di depan dengan kecepatan awal kendaraan sebesar 30 km/jam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada jarak lebih dari 200 cm hingga 200 cm, sistem bekerja sesuai dengan perancangan, yaitu kendaraan tetap mempertahankan kecepatan karena objek belum berada dalam rentang pengendalian. Namun, pada rentang jarak 190 cm hingga 130 cm, sistem tidak

mampu mendeteksi keberadaan kendaraan di depan sehingga kecepatan kendaraan tidak mengalami penyesuaian. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pembacaan sensor TF-LC02 LiDAR mengalami ketidakstabilan ketika digunakan pada lingkungan luar ruangan, sehingga nilai jarak yang terbaca mengalami loncatan (jump reading) dan tidak terbaca secara kontinu pada rentang tersebut.

Ketika jarak kendaraan di depan mencapai sekitar 99 cm, sensor kembali mampu mendeteksi objek sehingga sistem langsung mengaktifkan fitur keselamatan (Safety ON). Kondisi ini juga terjadi pada jarak 90 cm dan 50 cm, di mana sistem berhasil mendeteksi objek dan menghentikan kendaraan sesuai dengan logika keselamatan yang telah dirancang. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa keterbatasan utama sistem bukan berasal dari algoritma fuzzy atau logika pengendalian, melainkan dari performa sensor TF-LC02 LiDAR yang mengalami penurunan akurasi dan kestabilan pembacaan pada kondisi pengujian di luar ruangan.

4.9 Pengujian Sistem pada Jalan Menanjak dan Menurun

Pengujian Sistem pada Jalan Menanjak dan Menurun dilakukan untuk memverifikasi kemampuan sistem dalam mempertahankan kecepatan kendaraan pada kondisi jalan yang berbeda, serta memastikan mekanisme keselamatan bekerja ketika kendaraan melewati jalan menurun. Pengujian dilakukan pada satu lintasan yang sama, yaitu sebuah jembatan yang memiliki tiga karakteristik lintasan, terdiri atas jalan menanjak pada awal jembatan, jalan datar pada bagian tengah jembatan, dan jalan menurun pada akhir jembatan sebelum kembali ke jalan datar.



Gambar 4. 30 Pengujian Pada Jalan Menanjak dan Menurun

Selama pengujian, sistem *Cruise Control* diaktifkan dengan nilai *set speed* yang sama, kemudian diamati respons sistem terhadap setiap perubahan kondisi jalan. Karakteristik lintasan yang digunakan pada pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.30.

Tabel 4. 30 Tabel Karakteristik Jembatan

No	Titik Pengujian	Kondisi Lintasan	Deskripsi
1	Sebelum jembatan	Jalan datar (0°)	Kondisi awal sebelum memasuki jembatan
2	Awal jembatan	Jalan menaik (8°)	Kendaraan mulai melewati tanjakan
3	Tengah jembatan	Jalan datar (0°)	Bagian puncak jembatan dengan kondisi datar
4	Akhir jembatan	Jalan menurun (8°)	Kendaraan mulai melewati turunan
5	Setelah jembatan	Jalan datar (0°)	Kendaraan kembali ke jalan normal

Berdasarkan Tabel 4.30, lintasan pengujian terdiri atas lima titik pengamatan yang mewakili perubahan kondisi jalan selama kendaraan melintasi jembatan. Lintasan diawali dengan jalan datar sebagai kondisi awal pengujian, kemudian dilanjutkan dengan jalan menaik, jalan datar di bagian tengah jembatan, jalan menurun pada akhir jembatan, dan kembali ke jalan datar setelah keluar dari jembatan. Susunan lintasan tersebut dipilih karena mampu merepresentasikan perubahan kemiringan jalan yang umum dijumpai pada kondisi berkendara sebenarnya, sehingga respons sistem *Adaptive cruise control* terhadap setiap perubahan kondisi jalan dapat diamati secara berurutan.

4.9.1 Hasil Pengujian Sistem

Setelah karakteristik lintasan ditentukan, pengujian dilakukan dengan mengaktifkan sistem *Cruise Control* pada awal lintasan dengan nilai *set speed* sebesar 30 km/jam. Selanjutnya diamati respons sistem pada setiap titik pengujian berdasarkan kondisi lintasan yang dilalui. Parameter yang diamati meliputi pembacaan kemiringan oleh sensor MPU6050, kecepatan aktual kendaraan, status *Cruise Control*, serta respons sistem terhadap perubahan kondisi jalan. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.31

Tabel 4. 31 Hasil Pengujian

No	Titik Pengujian	Kondisi Jalan	Pitch MPU6050 (°)	Set Speed (km/jam)	Kecepatan Aktual (km/jam)	Status Cruise Control
1	Sebelum jembatan	Datar	0	30	27	ON

No	Titik Pengujian	Kondisi Jalan	Pitch MPU6050 (°)	Set Speed (km/jam)	Kecepatan Aktual (km/jam)	Status Cruise Control
2	Awal jembatan	Menanjak	8	30	23	ON
3	Tengah jembatan	Datar	0	30	28	ON
4	Akhir jembatan	Menurun	-8	30	32	OFF
5	Setelah jembatan	Datar	0	30	30	OFF
6	Sebelum jembatan	Datar	0	30	29	ON
7	Awal jembatan	Menanjak	8	30	25	ON
8	Tengah jembatan	Datar	0	30	28	ON
9	Akhir jembatan	Menurun	-8	30	32	OFF
10	Setelah jembatan	Datar	0	30	30	OFF

Berdasarkan Tabel 4.30, pengujian dilakukan pada beberapa titik lintasan dengan kondisi jalan datar, menanjak, dan menurun untuk mengevaluasi respons sistem *Adaptive cruise control* terhadap perubahan kemiringan jalan yang dideteksi oleh sensor MPU6050. Pada kondisi jalan datar (pitch 0°), sistem cruise control tetap aktif (ON) dan mampu mempertahankan kecepatan kendaraan mendekati nilai *set speed* 30 km/jam. Ketika kendaraan berada pada jalan menanjak (pitch 8°), status cruise control tetap aktif, namun kecepatan aktual menurun menjadi 23 km/jam akibat bertambahnya beban kendaraan saat melewati tanjakan.

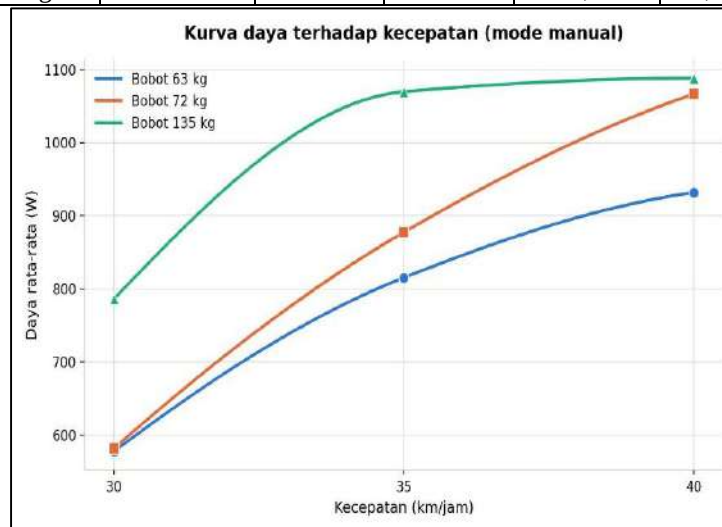
Saat kendaraan memasuki jalan menurun (pitch 8°), sistem secara otomatis menonaktifkan cruise control (OFF) sebagai fitur keselamatan. Pada kondisi tersebut, kecepatan kendaraan meningkat menjadi 32 km/jam akibat pengaruh gaya gravitasi. Setelah kendaraan kembali ke jalan datar, status cruise control tetap OFF dan kecepatan aktual berada pada 30 km/jam.

4.10 Pengujian Konsumsi Daya Tanpa Menggunakan Sistem *Cruise control*

Pengujian daya tanpa menggunakan sistem *Cruise control* dilakukan untuk mengetahui karakteristik konsumsi daya kendaraan sepeda motor listrik pada kondisi pengoperasian normal, yaitu ketika kecepatan kendaraan dikendalikan secara manual oleh pengendara. Hasil pengukuran parameter kelistrikan selama pengujian disajikan pada Tabel 4.32.

Tabel 4. 32 Hasil Pengujian Konsumsi Daya Tanpa Menggunakan Sistem *Cruise control*

No	Bobot Pengendara	Kecepatan (km/jam)	Jarak Tempuh (km)	Waktu Tempuh (menit)	Tegangan Rata-rata (V)	Arus Rata-rata (A)	Daya Rata-rata (W)
1	63 kg	30	3	05:33	61,18	9,46	577,36
2	63 kg	35	3	04:52	60,36	13,57	815,09
3	63 kg	40	3	04:22	59,28	15,79	931,47
4	72 kg	30	3	05:47	63,32	9,21	581,49
5	72 kg	35	3	04:43	62,03	14,18	877,19
6	72 kg	40	3	04:22	61,02	17,53	1066,18
7	135kg	30	3	06:02	64,68	12,19	785,91
8	135 kg	35	3	04:57	63,73	16,85	1069,34
9	135 kg	40	3	04:42	63,33	17,24	1087,88



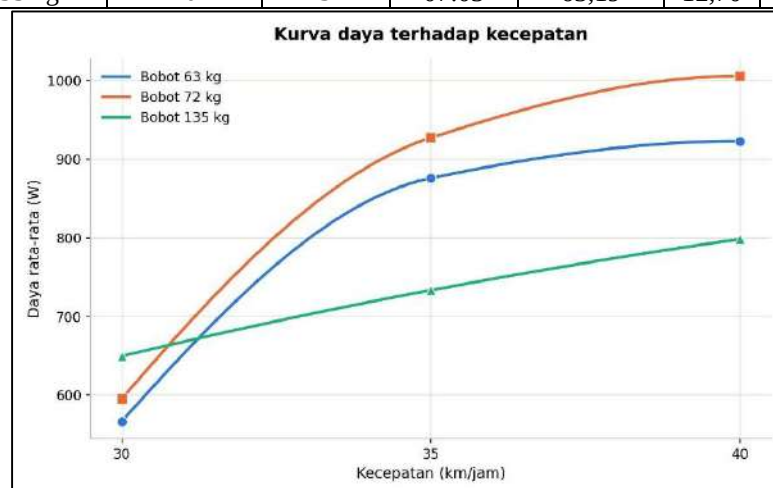
Tabel 4.32 menunjukkan hasil pengujian konsumsi daya sepeda motor listrik tanpa menggunakan sistem cruise control pada variasi bobot pengendara 63 kg, 72 kg, dan 135 kg dengan set kecepatan 30 km/jam, 35 km/jam, dan 40 km/jam. Pengujian dilakukan pada lintasan datar sejauh 3 km dengan pengendalian kecepatan dilakukan secara manual oleh pengendara. Berdasarkan data pengujian, terlihat bahwa semakin tinggi set kecepatan yang digunakan, maka arus dan daya rata-rata yang dikonsumsi motor listrik cenderung meningkat. Selain itu, penambahan bobot pengendara juga menyebabkan kebutuhan daya menjadi lebih besar, karena motor memerlukan torsi yang lebih tinggi untuk menggerakkan kendaraan. Pada pengujian tanpa cruise control, bukaan throttle berubah-ubah mengikuti respons pengendara sehingga kecepatan kendaraan menjadi lebih fluktuatif. Kondisi tersebut menyebabkan konsumsi daya cenderung lebih tinggi dibandingkan saat menggunakan sistem cruise control, karena motor lebih sering mengalami proses akselerasi dan deselerasi selama perjalanan.

4.10.1 Pengujian Konsumsi Daya Menggunakan Sistem *Cruise control*

Pengujian daya menggunakan sistem *Cruise control* dilakukan untuk mengetahui karakteristik konsumsi daya kendaraan saat kecepatan dikendalikan secara otomatis oleh sistem *Cruise control* berbasis *Fuzzy logic*. Hasil pengukuran parameter kelistrikan selama pengujian disajikan pada Tabel 4.33.

Tabel 4. 33 Hasil Pengujian Konsumsi Daya Menggunakan Sistem *Cruise control*

No	Bobot Pengendara	Set Kecepatan (km/jam)	Jarak Tempuh (km)	Waktu Tempuh (menit)	Tegangan Rata-rata (V)	Arus Rata-rata (A)	Daya Rata-rata (W)
1	63 kg	30	3	04:59	61,20	9,29	566,56
2	63 kg	35	3	06:55	59,91	14,68	875,99
3	63 kg	40	3	05:05	58,99	15,72	923,04
4	72 kg	30	3	06:43	64,58	9,45	595,20
5	72 kg	35	3	06:15	63,66	15,09	927,37
6	72 kg	40	3	05:42	63,27	16,59	1005,90
7	135kg	30	3	06:53	64,54	10,19	649,61
8	135 kg	35	3	06:14	63,64	11,58	733,43
9	135 kg	40	3	07:03	63,19	12,70	798,40



Berdasarkan Tabel 4.33, hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi set kecepatan, maka arus rata-rata dan daya rata-rata yang dibutuhkan motor listrik cenderung meningkat. Pada bobot pengendara 63 kg, daya rata-rata meningkat dari 566,56 W pada set kecepatan 30 km/jam menjadi 923,04 W pada set kecepatan 40 km/jam. Pola yang serupa juga terlihat pada bobot 72 kg, di mana daya rata-rata meningkat dari 595,20 W menjadi 1005,90 W seiring bertambahnya set kecepatan. Pada bobot pengendara 135 kg, waktu tempuh yang diperoleh tidak selalu lebih singkat meskipun menggunakan set kecepatan yang lebih tinggi. Kondisi ini disebabkan oleh proses aktivasi sistem *cruise control* yang memerlukan

waktu untuk mencapai kondisi stabil sehingga kecepatan kendaraan masih mengalami fluktuasi selama pengujian. Akibatnya, waktu tempuh aktual dipengaruhi oleh respons sistem dan tidak hanya ditentukan oleh nilai set kecepatan yang diberikan.

4.11 Perbandingan Konsumsi Daya

Subbab ini menyajikan perbandingan konsumsi daya antara sepeda motor listrik yang dioperasikan tanpa menggunakan sistem *Adaptive cruise control* (ACC) dan yang menggunakan sistem *Adaptive cruise control* berbasis *Fuzzy logic*. Perbandingan dilakukan untuk mengetahui pengaruh penerapan sistem terhadap kebutuhan daya listrik selama kendaraan beroperasi. Parameter yang dianalisis meliputi tegangan rata-rata, arus rata-rata, daya rata-rata, serta energi listrik yang dikonsumsi pada setiap skenario pengujian.

Pengujian dilakukan dengan kondisi lintasan, jarak tempuh, dan metode pengujian yang sama sehingga hasil yang diperoleh dapat dibandingkan secara objektif. Selain itu, pengujian juga dilakukan pada beberapa variasi beban pengendara untuk mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap konsumsi daya kendaraan. Hasil pengujian selanjutnya dianalisis untuk mengevaluasi efektivitas sistem *Adaptive cruise control* dalam meningkatkan efisiensi penggunaan energi pada sepeda motor listrik. Hasil perbandingan konsumsi daya pada masing-masing kondisi pengujian disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 4. 34 Tabel hasil perbandingan konsumsi daya

No	Bobot	Kecepatan (km/jam)	Metode	Waktu Tempuh	Tegangan Rata-rata(v)	Arus Rata-rata(I)	Daya Rata-rata (W)
1	63 kg	30	Manual	05:33	61,18	9,46	577,36
			ACC	04:59	61,20	9,29	566,56
2	63 kg	35	Manual	04:52	60,36	13,57	815,09
			ACC	06:55	59,91	14,68	875,99
3	63 kg	40	Manual	04:22	59,28	15,79	931,47
			ACC	05:05	58,99	15,72	923,04
4	72 kg	30	Manual	05:47	63,32	9,21	581,49
			ACC	06:43	64,58	9,45	595,20
5	72 kg	35	Manual	04:43	62,03	14,18	877,19
			ACC	06:15	63,66	15,09	927,37
6	72 kg	40	Manual	04:22	61,02	17,53	1066,18
			ACC	05:42	63,27	16,59	1005,90
7	135 kg	30	Manual	06:02	64,68	12,19	785,91
			ACC	06:53	64,54	10,19	649,61
8	135 kg	35	Manual	04:57	63,73	16,85	1069,34
			ACC	06:14	63,64	11,58	733,43

No	Bobot	Kecepatan (km/jam)	Metode	Waktu Tempuh	Tegangan Rata-rata(v)	Arus Rata-rata(I)	Daya Rata-rata (W)
9	135 kg	40	Manual	04:42	63,33	17,24	1087,88
			ACC	07:03	63,19	12,70	798,40

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.34, dapat diketahui bahwa konsumsi daya dipengaruhi oleh bobot kendaraan, kecepatan, dan metode pengendalian yang digunakan. Secara umum, peningkatan kecepatan dan beban kendaraan menyebabkan konsumsi daya listrik semakin besar. Selain itu, perbandingan antara metode manual dan *Adaptive cruise control* (ACC) menunjukkan bahwa tingkat efisiensi penggunaan daya belum konsisten pada seluruh kondisi pengujian. Pada beberapa kondisi ACC mampu menurunkan konsumsi daya, sedangkan pada kondisi lainnya konsumsi daya justru sedikit lebih tinggi dibandingkan metode manual. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kinerja sistem ACC dipengaruhi oleh kondisi beban dan karakteristik pengendalian yang diterapkan. Analisis lebih lanjut mengenai perbandingan konsumsi daya dan tingkat efisiensi antara kedua metode akan dibahas pada subbab berikutnya.

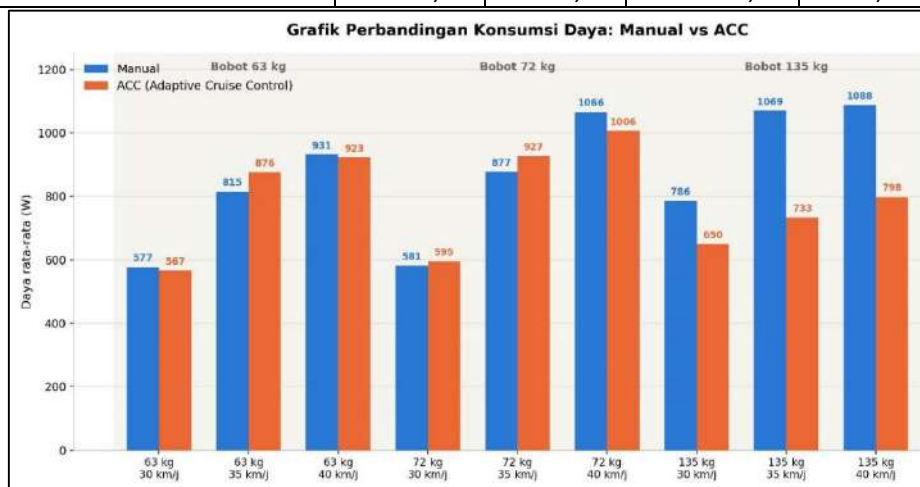
4.11.2 Analisis Penurunan Konsumsi Daya dan Efisiensi Sistem *Adaptive cruise control* Berbasis *Fuzzy logic*

Berdasarkan hasil pengujian konsumsi daya pada subbab sebelumnya, dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui besarnya penurunan konsumsi daya serta tingkat efisiensi energi yang dihasilkan oleh sistem *Adaptive cruise control* berbasis *Fuzzy logic*. Analisis ini dilakukan dengan membandingkan nilai daya rata-rata yang dikonsumsi sepeda motor listrik pada kondisi pengendalian manual dan saat sistem *Adaptive cruise control* diaktifkan pada setiap variasi bobot pengendara dan kecepatan pengujian. Selisih daya yang diperoleh menunjukkan besarnya penurunan konsumsi daya, sedangkan persentase efisiensi digunakan untuk menggambarkan tingkat penghematan daya yang dihasilkan oleh sistem dibandingkan dengan kondisi pengendalian manual. Hasil perhitungan penurunan konsumsi daya dan efisiensi sistem disajikan pada Tabel 4.35.

Tabel 4. 35 Hasil Perhitungan Penurunan Konsumsi Daya dan Efisiensi Sistem

Bobot	Kecepatan	Manual (W)	ACC (W)	Selisih Daya (W)	Efisiensi (%)
63 kg	30	577,36	566,56	10,8	1,87
63 kg	35	815,09	875,99	-60,9	-7,47

Bobot	Kecepatan	Manual (W)	ACC (W)	Selisih Daya (W)	Efisiensi (%)
63 kg	40	931,47	923,04	8,43	0,91
72 kg	30	581,49	595,2	-13,71	-2,36
72 kg	35	877,19	927,37	-50,18	-5,72
72 kg	40	1066,18	1005,9	60,28	5,65
135 kg	30	785,91	649,61	136,3	17,34
135 kg	35	1069,34	733,43	335,91	31,41
135 kg	40	1087,88	798,4	289,48	26,61
Rata -Rata		865,77	786,17	79,60	9,19



Berdasarkan Tabel 3.35, dapat diketahui bahwa konsumsi daya listrik dipengaruhi oleh bobot kendaraan, kecepatan, dan metode pengendalian yang digunakan. Secara keseluruhan, konsumsi daya rata-rata pada metode manual sebesar 865,77 W, sedangkan pada metode *Adaptive cruise control* (ACC) sebesar 786,17 W. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan sistem ACC mampu menurunkan konsumsi daya rata-rata sebesar 79,60 W atau setara dengan 9,19% dibandingkan metode manual. Selain itu, terlihat bahwa konsumsi daya cenderung meningkat seiring bertambahnya kecepatan dan bobot kendaraan. Sebagai contoh, pada metode manual daya meningkat dari 577,36 W pada bobot 63 kg dan kecepatan 30 km/jam menjadi 1087,88 W pada bobot 135 kg dan kecepatan 40 km/jam, yang menunjukkan bahwa kebutuhan daya motor listrik semakin besar ketika beban dan kecepatan kendaraan meningkat.

Berdasarkan masing-masing kondisi pengujian, sistem ACC belum memberikan penghematan daya yang konsisten pada seluruh variasi beban. Pada bobot 63 kg, ACC mampu menghemat daya sebesar 10,8 W (1,87%) pada

kecepatan 30 km/jam dan 8,43 W (0,91%) pada kecepatan 40 km/jam, namun pada kecepatan 35 km/jam justru terjadi peningkatan konsumsi daya sebesar 60,9 W atau 7,47% dibandingkan metode manual. Kondisi serupa juga terlihat pada bobot 72 kg, di mana ACC mengalami peningkatan konsumsi daya sebesar 13,71 W (2,36%) pada kecepatan 30 km/jam dan 50,18 W (5,72%) pada kecepatan 35 km/jam, sedangkan pada kecepatan 40 km/jam ACC mampu menghemat daya sebesar 60,28 W atau 5,65%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada beban ringan hingga sedang, sistem masih melakukan penyesuaian bukaan *throttle* yang menyebabkan konsumsi daya belum sepenuhnya lebih efisien dibandingkan pengendalian manual. Selain itu, selama proses pengujian juga ditemukan bahwa sistem ACC belum bekerja secara stabil, di mana pada beberapa kondisi sistem *cruise control* berhenti secara otomatis sehingga pengemudi harus mengaktifkan kembali tombol *cruise ON*. Ketika sistem diaktifkan kembali, mikrokontroler mengirimkan sinyal *throttle* sesuai keluaran algoritma fuzzy, sehingga terjadi peningkatan bukaan *throttle* secara sesaat. Kondisi tersebut menyebabkan lonjakan arus sesaat yang turut memengaruhi nilai konsumsi daya, sehingga efisiensi sistem pada beberapa skenario pengujian menjadi kurang optimal.

Berbeda dengan kondisi sebelumnya, sistem ACC menunjukkan performa yang paling baik pada bobot 135 kg. Pada kondisi ini, ACC mampu menurunkan konsumsi daya sebesar 136,3 W (17,34%) pada kecepatan 30 km/jam, 335,91 W (31,41%) pada kecepatan 35 km/jam, serta 289,48 W (26,61%) pada kecepatan 40 km/jam dibandingkan metode manual. Penghematan terbesar terjadi pada kecepatan 35 km/jam, yaitu mencapai 31,41%, sedangkan penghematan terendah terjadi pada bobot 63 kg dengan kecepatan 40 km/jam, yaitu hanya 0,91%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem *Adaptive cruise control* berbasis *Fuzzy logic* bekerja lebih efektif pada kondisi kendaraan dengan beban yang lebih besar karena mampu menjaga bukaan *throttle* lebih stabil, sehingga fluktuasi arus berkurang dan konsumsi daya menjadi lebih efisien dibandingkan pengendalian secara manual.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Pendahuluan

Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang diperoleh berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, serta analisis sistem *cruise control adaptif* berbasis *fuzzy logic* pada sepeda motor listrik. Kesimpulan disusun untuk menjawab tujuan penelitian yang telah ditetapkan, sedangkan saran diberikan sebagai bahan pertimbangan untuk pengembangan sistem maupun penelitian selanjutnya agar diperoleh performa yang lebih optimal.

5.2 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian Sistem *Adaptive cruise control* berbasis *Fuzzy logic* pada sepeda motor listrik, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Sistem *Adaptive cruise control* berbasis *Fuzzy logic* berhasil dirancang dengan mengintegrasikan mikrokontroler ESP32, sensor LiDAR TF-LC02 sebagai pendeteksi jarak kendaraan di depan, sensor GPS GNSS L86 sebagai pembaca kecepatan kendaraan, sensor MPU6050 sebagai pendeteksi kemiringan jalan, serta modul MCP4725 sebagai pembangkit sinyal analog throttle. Seluruh komponen dapat bekerja secara terintegrasi sesuai dengan rancangan sistem yang telah dibuat.
2. Sistem *Adaptive cruise control* berhasil diimplementasikan pada sepeda motor listrik tanpa melakukan modifikasi terhadap *Electronic Control Unit* (ECU) bawaan kendaraan. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu mempertahankan kecepatan sesuai nilai *set speed* pada kondisi jalan datar, menyesuaikan kecepatan ketika kendaraan di depan berada dalam jangkauan sensor LiDAR, mempertahankan kecepatan saat melewati tanjakan, serta menonaktifkan Cruise Control secara otomatis ketika kendaraan berada pada kondisi jalan menurun sebagai mekanisme keselamatan.
3. Modul MCP4725 berhasil berfungsi sebagai *Digital to Analog Converter* (DAC) untuk menghasilkan sinyal analog throttle berdasarkan keluaran

Fuzzy logic. Nilai tegangan keluaran berubah secara bertahap mengikuti kondisi jarak kendaraan di depan, perubahan *error* kecepatan, dan kemiringan jalan sehingga pengaturan kecepatan kendaraan dapat dilakukan secara halus dan sesuai dengan logika kendali yang telah dirancang.

4. Berdasarkan hasil pengujian konsumsi daya, penggunaan sistem *Adaptive Cruise Control* menghasilkan karakteristik penggunaan daya dan energi yang lebih efisien dibandingkan pengendalian *throttle* secara manual. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konsumsi daya rata-rata menggunakan metode manual sebesar 865,77 W, sedangkan dengan sistem *Adaptive Cruise Control* sebesar 786,17 W, sehingga terjadi penurunan konsumsi daya rata-rata sebesar 79,60 W atau setara dengan 9,19%. Penghematan daya tertinggi diperoleh pada kondisi beban 135 kg dengan kecepatan 35 km/jam, yaitu mencapai 31,41%. Hasil pengukuran tegangan, arus, daya, energi listrik, dan waktu tempuh juga menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kecepatan kendaraan secara lebih stabil pada berbagai kondisi pengujian. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan tidak hanya mampu meningkatkan kenyamanan dan keselamatan berkendara, tetapi juga mampu meningkatkan efisiensi penggunaan daya pada sepeda motor listrik.

5.3 Saran

Berdasarkan hasil penelitian serta batasan penelitian yang telah ditetapkan, beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem *Adaptive cruise control* pada berbagai jenis dan spesifikasi sepeda motor listrik sehingga kinerja sistem dapat dievaluasi pada kondisi kendaraan yang lebih beragam.
2. Sistem dapat dikembangkan dengan mengintegrasikan komunikasi secara langsung dengan *Electronic Control Unit* (ECU) atau motor controller sehingga pengaturan kecepatan dapat dilakukan secara lebih presisi tanpa menggunakan simulasi sinyal throttle melalui modul MCP4725.
3. Penelitian berikutnya dapat menambahkan fitur *Automatic Braking System* (ABS) atau sistem pengereman otomatis sebagai mekanisme keselamatan ketika jarak kendaraan di depan berada pada kondisi yang sangat kritis.

4. Pengujian dapat diperluas pada rentang kecepatan yang lebih tinggi dari 40 km/jam untuk mengetahui performa sistem pada kondisi operasi yang lebih luas dengan tetap memperhatikan aspek keselamatan pengendara.
5. Penggunaan sensor jarak dengan jangkauan deteksi yang lebih jauh, seperti LiDAR atau radar dengan jarak deteksi di atas 2 meter, dapat diterapkan agar sistem mampu melakukan pengambilan keputusan lebih awal, khususnya pada kecepatan kendaraan yang lebih tinggi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Arduino. (2023). *Arduino software (IDE)*. Arduino Documentation. <https://docs.arduino.cc/software/ide>
- Ehsani, M., Gao, Y., Longo, S., & Ebrahimi, K. (2020). *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: Fundamentals, theory, and design* (4th ed.). CRC Press.
- Espressif Systems. (2026). *ESP32-WROOM-32 datasheet* (Version 3.7). Espressif Systems. [ESP32-WROOM-32 datasheet](#)
- MathWorks. (2023). *Fuzzy logic Toolbox™ user's guide*. MathWorks, Inc. <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/>
- Microchip Technology Inc. (n.d.). *MCP4725: 12-bit digital-to-analog converter with EEPROM memory*. Microchip Technology Inc. [MCP4725 product documentation](#)
- Nextion. (n.d.). *NX8048K050_011: 5.0-inch Nextion HMI display*. Nextion. [Nextion official documentation](#)
- Hercog, D., Lerher, T., & Truntiř, M. (2023). *Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices*. 1.
- International Energy Agency. (2023). *Global EV Outlook 2023: Executive summary*. IEA. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023/executive-summary>
- Knypi, L., Reddy, A. V, Venkateswararao, B., & Devarapalli, R. (2023). *Optimal design of brushless DC motor for electromobility propulsion applications using Taguchi method*. 74, 116–121.
- Madhu, B. M. (2023). Design and Implementation of *Cruise control* for Bikes using Raspberry PI. *2023 International Conference on Smart Systems for Applications in Electrical Sciences (ICSSES)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICSSES58299.2023.10199325>
- Mao, J., Yang, L., Hu, Y., Liu, K., & Du, J. (2021). Research on vehicle *Adaptive cruise control* method based on fuzzy model predictive control. *Machines*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/machines9080160>
- Peacefair. (n.d.). *PZEM-017 DC energy meter: User manual*. Peacefair.

- Quectel Wireless Solutions Co., Ltd. (2016). *Quectel L86 GNSS specification* (Version 1.3). Quectel Wireless Solutions Co., Ltd.
- Ralls, A. M., Leong, K., Clayton, J., Fuelling, P., Mercer, C., Navarro, V., & Menezes, P. L. (2023). *The Role of Lithium-Ion Batteries in the Growing Trend of Electric Vehicles*.
- Rajguru Electronics (I) Pvt. Ltd. (2021). *1 channel relay board with optocoupler 5V*. Rajguru Electronics.
- Saatchi, R. (2024). *Fuzzy logic Concepts , Developments and Implementation*.
- Saputro, J. S., Engineering, dept. E., Maret, U. S., Surakarta, I., & Jssaputro89@staff.uns.ac.id. (2023). DESIGN OF AN ADAPTIVE CRUISE CONTROL SYSTEM USING PID. 2023 *International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture and Industrial Automation (ICAMIMIA)*, 599–605.
<https://doi.org/10.1109/ICAMIMIA60881.2023.10427856>
- Shenbagalakshmi, R., Mittal, S. K., Subramaniyan, J., Vengatesan, V., Manikandan, D., & Ramaswamy, K. (2025). Adaptive speed control of BLDC motors for enhanced electric vehicle performance using *Fuzzy logic*. *Scientific Reports*, 15(1), 1–22. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-90957-6>
- Soehartono, A. I. (2020). *SISTEM KONTROL MINI LIFT BARANG MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC KONTROLER SEBAGAI PENGENDALI KECEPATAN MOTOR DC BERBASIS LABVIEW*.
- TDK InvenSense. (2013). *MPU-6000 and MPU-6050 product specification* (Revision 3.4). TDK InvenSense.
- VOTOL. (n.d.). *VOTOL EM30S motor controller*. VOTOL. [VOTOL official website](#)

Lampiran.

TF-LC02 LiDAR Module

Introduction & Features

TF-LC02 is a high-precision ranging LiDAR module, based on ToF principle and built in TDC (Time-to-digital Converter) architecture, mainly used for different kinds of robots including vacuum cleaning robot, drone and intelligent household appliances. This product is easy to operate and install. It supports UART communication.

Main Application Scenarios

- Intelligent household appliances
- Home robot
- Other consumer products

Performance parameters

Operating range	3cm~200cm @ 90% reflectivity ¹
Data acquisition time	33msec
Accuracy ¹	±2cm @ (3cm~100cm); ±5% @ (100~200cm)

Others

Storage temperature	-20°C~85°C
Operating temperature	-20°C~70°C
Dimension	20mm*11.5mm*7.6mm(L*W*H)

Optical parameters

Light source	VCSEL
Central wavelength	940nm
Photobiological safety	Class1 (IEC60825-1:2400)
FoV	±9° ²

Electrical parameters

Supply voltage	3~3.6V
Average current	≤15mA
Power consumption	≤50mW
Communication signal level	LVTTTL (3.3V)

Warning : This product is recommended to be used in indoor, direct sunlight will cause performance degradation.

Appearance & Dimension



MPU 6050 GY-521 3 Axis Gyro Accelerometer Sensor Module Arduino



The MPU-6050 sensor module contains an accelerometer and a gyro in a single chip. It is very accurate, as it contains 16-bits [analog to digital conversion](#) hardware for each channel. Therefore it captures the x, y, and z channel at the same time. The sensor uses the [I2C-bus](#) to interface with the Arduino.

Application:

- Motion-enabled game and application framework
- Location based services, points of interest
- Handset and portable gaming
- Motion-based game controllers
- Wearable sensors for health, fitness and sports

Quectel L86

Compact GNSS Module
Integrating Patch Antenna
& MT3333 Solution



L86 is an ultra-compact GNSS PPS (Patch on Top) module with an embedded 18.4mm × 18.4mm × 4.0mm patch antenna and utilizes the latest 14nm generation (2013) original MT3333 that achieves the perfect performance. Designed to be compatible with Quectel GPS L86 module in the compact and unified form factor, it provides a flexible and scalable platform for migrating from GPS to GNSS. This space-saving design makes L86 a perfect module for miniature devices. Adopting SDC padings and integrating patch antenna, L86 has exceptional performance both in insulation and tracking.

Combining advanced ASPs called CAS™ (Embedded Assist System) and proven Always-on™ technology, L86 achieves the highest performance and fully meets the industrial standard. EAS™ technology allows L86 to calculate and predict orbits automatically using the system data (up to 5 km/s) stored in internal RAM memory, so L86 can fix position quickly even at indoor signal levels with low power consumption. With Always-on™ technology, L86 can adaptively adjust the awake time to achieve balance between positioning accuracy and power consumption according to the environmental and motion conditions.

L86 supports automatic antenna switching function. It can achieve the switching between internal patch antenna and external active antenna. Moreover, it keeps positioning during the switching process.

Due to its compact design, high precision and sensitivity, L86 is perfectly suitable for a broad range of M2M applications such as portable device, automotive, personal tracking, security and industrial PDA. It is especially suitable for special applications like GPS mouse and OBC.

Key Benefits

- Multi-GNSS engine for GPS, GLONASS, Galileo and QZSS
- Embedded patch antenna: 18.4mm × 18.4mm × 4.0mm
- Power-saving compact design: 18.4mm × 18.4mm × 4.0mm
- Automatic antenna switching function
- Support short circuit protection and antenna detection
- Built-in LNA for better sensitivity
- EAS™, an advanced ASP technology without external memory
- Ultra low power consumption in tracking mode, 20mA
- Always-on™, an intelligent controller of periodic mode
- LODAS, an embedded logic function without the need of host and external flash
- High sensitivity, -160dBm @ tracking, -160dBm @ acquisition
- RF acquisition channels, 15 tracking channels
- Deflection mode for high altitude up to 80km
- Support DOPS, DDAI, WAA, RINEX, RTK, SBAS, DDAI
- Great jamming performance due to multi-tone active interference canceler
- GPS V3, MDAI can be used for time service
- Support SDC command developed by Quectel

Always-on

Low Power Consumption

Small Package

High Accuracy

Easy Integration

Wide Temperature Range: -40°C ~ +125°C

RoHS Compliant

EMAIL US: info@quectel.com

VISIT US: www.quectel.com

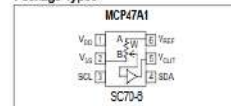
MCP47A1

6-Bit Volatile DAC with Command Code

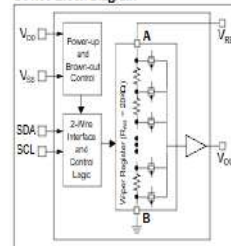
Features:

- 8-Bit DAC
- 66 Taps; 64 Resistors with Taps to Full-Scale and Zero-Scale (Viper Code 00h to 40h)
- V_{REF} Pull-down Resistance: 20 kΩ (typical)
- V_{OUT} Voltage Range
- V_{SS} to V_{REF}
- I²C Protocol
- Supports SMBus 2.0 Write Byte/Word Protocol Formats
- Supports SMBus 2.0 Read Byte/Word Protocol Formats
- Slave Addresses: 5Ch and 7Ch
- Brown-out Reset Protection (1.5V typical)
- Power-on Default Viper Setting (Mid-scale)
- Low-Power Operation: 60 μA Static Current (typical)
- Wide Operating Voltage Range:
 - 1.8V to 5.5V
- Low Tempco: 16 ppm (typical)
- 100 KHz (typical) Bandwidth (-3 dB) Operation
- Extended Temperature Range (-40°C to +125°C)
- Small Packages, SC70-6
- Lead Free (Pb-Free) Package

Package Types



Device Block Diagram



Description

The MCP47A1 devices are volatile, 8-Bit digital potentiometers with a buffered output. The viper setting is controlled through an I²C serial interface. The I²C slave addresses of "010 1110" and "011 1110" are supported.

Applications

- Set point or offset trimming
- Cost-sensitive mechanical trim pot replacement

Fuzzy Inference System to C++

```

//*****
#define FIS_TYPE float
#define FIS_RESOLUTION 101
#define FIS_MIN -3.4028235E+38
#define FIS_MAX 3.4028235E+38
typedef FIS_TYPE(* FIS_MF)(FIS_TYPE, FIS_TYPE*);
typedef FIS_TYPE(* FIS_ARR_OP)(FIS_TYPE, FIS_TYPE, FIS_TYPE);
typedef FIS_TYPE(* FIS_ARR)(FIS_TYPE*, int, _FIS_ARR_OP);

#include "fis_header.h"

// Number of inputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcI = 3;
// Number of outputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcO = 1;
// Number of rules to the fuzzy inference system
const int fis_gcR = 60;

FIS_TYPE g_fisInput[fis_gcI];
FIS_TYPE g_fisOutput[fis_gcO];

// Setup routine runs once when you press reset:
void setup()
{
    // initialize the Analog pins for input.
    // Pin mode for Input: jarak(LIDAR)
    pinMode(0, INPUT);
    // Pin mode for Input: Kemiringan(MPU6050)
    pinMode(1, INPUT);
    // Pin mode for Input: errorkecepatan
    pinMode(2, INPUT);

    // initialize the Analog pins for output.
    // Pin mode for Output: sinyal_throttle_(digipotensio)
    pinMode(3, OUTPUT);
}

// Loop routine runs over and over again forever:
void loop()
{
    // Read Input: jarak(LIDAR)
    g_fisInput[0] = analogRead(0);
    // Read Input: Kemiringan(MPU6050)
    g_fisInput[1] = analogRead(1);
    // Read Input: errorkecepatan
    g_fisInput[2] = analogRead(2);

    g_fisOutput[0] = 0;

    fis_evaluate();

    // Set output value: sinyal_throttle_(digipotensio)
    analogWrite(3, g_fisOutput[0]);
}

//*****
// Support functions for Fuzzy Inference System
int* fis_gRI[] = { fis_gRI0, fis_gRI1, fis_gRI2, fis_gRI3, fis_gRI4, fis_gRI5, fis_gRI6, fis_gRI7,
    fis_gRI8, fis_gRI9, fis_gRI10, fis_gRI11, fis_gRI12, fis_gRI13, fis_gRI14, fis_gRI15, fis_gRI16,
    fis_gRI17, fis_gRI18, fis_gRI19, fis_gRI20, fis_gRI21, fis_gRI22, fis_gRI23, fis_gRI24, fis_gRI25,
    fis_gRI26, fis_gRI27, fis_gRI28, fis_gRI29, fis_gRI30, fis_gRI31, fis_gRI32, fis_gRI33, fis_gRI34,
    fis_gRI35, fis_gRI36, fis_gRI37, fis_gRI38, fis_gRI39, fis_gRI40, fis_gRI41, fis_gRI42, fis_gRI43,
    fis_gRI44, fis_gRI45, fis_gRI46, fis_gRI47, fis_gRI48, fis_gRI49, fis_gRI50, fis_gRI51, fis_gRI52,
    fis_gRI53, fis_gRI54, fis_gRI55, fis_gRI56, fis_gRI57, fis_gRI58, fis_gRI59 };

// Rule Outputs
int fis_gRO[] = { 1 };
int fis_gRO1[] = { 1 };
int fis_gRO2[] = { 1 };
int fis_gRO3[] = { 1 };
int fis_gRO4[] = { 2 };
int fis_gRO5[] = { 1 };
int fis_gRO6[] = { 1 };
int fis_gRO7[] = { 1 };
int fis_gRO8[] = { 2 };
int fis_gRO9[] = { 2 };
int fis_gRO10[] = { 1 };
int fis_gRO11[] = { 1 };
int fis_gRO12[] = { 2 };
int fis_gRO13[] = { 2 };
int fis_gRO14[] = { 3 };
int fis_gRO15[] = { 1 };
int fis_gRO16[] = { 1 };
int fis_gRO17[] = { 2 };
int fis_gRO18[] = { 2 };
int fis_gRO19[] = { 3 };
int fis_gRO20[] = { 1 };
int fis_gRO21[] = { 2 };
int fis_gRO22[] = { 3 };
int fis_gRO23[] = { 3 };
int fis_gRO24[] = { 4 };
int fis_gRO25[] = { 2 };
int fis_gRO26[] = { 3 };
int fis_gRO27[] = { 3 };
int fis_gRO28[] = { 4 };
int fis_gRO29[] = { 4 };
int fis_gRO30[] = { 1 };
int fis_gRO31[] = { 2 };
int fis_gRO32[] = { 3 };
int fis_gRO33[] = { 3 };
int fis_gRO34[] = { 4 };
int fis_gRO35[] = { 2 };
int fis_gRO36[] = { 3 };
int fis_gRO37[] = { 3 };
int fis_gRO38[] = { 4 };
int fis_gRO39[] = { 5 };
int fis_gRO40[] = { 3 };
int fis_gRO41[] = { 3 };
int fis_gRO42[] = { 4 };
int fis_gRO43[] = { 5 };
int fis_gRO44[] = { 5 };
int fis_gRO45[] = { 2 };
int fis_gRO46[] = { 3 };
int fis_gRO47[] = { 3 };
int fis_gRO48[] = { 4 };
int fis_gRO49[] = { 4 };
int fis_gRO50[] = { 3 };
    
```


<pre>// Rule Inputs int fis_gRI0[] = { 1, 1, 1 }; int fis_gRI1[] = { 1, 1, 2 }; int fis_gRI2[] = { 1, 1, 3 }; int fis_gRI3[] = { 1, 1, 4 }; int fis_gRI4[] = { 1, 1, 5 }; int fis_gRI5[] = { 1, 2, 1 }; int fis_gRI6[] = { 1, 2, 2 }; int fis_gRI7[] = { 1, 2, 3 }; int fis_gRI8[] = { 1, 2, 4 }; int fis_gRI9[] = { 1, 2, 5 }; int fis_gRI10[] = { 1, 3, 1 }; int fis_gRI11[] = { 1, 3, 2 }; int fis_gRI12[] = { 1, 3, 3 }; int fis_gRI13[] = { 1, 3, 4 }; int fis_gRI14[] = { 1, 3, 5 }; int fis_gRI15[] = { 2, 1, 1 }; int fis_gRI16[] = { 2, 1, 2 }; int fis_gRI17[] = { 2, 1, 3 }; int fis_gRI18[] = { 2, 1, 4 }; int fis_gRI19[] = { 2, 1, 5 }; int fis_gRI20[] = { 2, 2, 1 }; int fis_gRI21[] = { 2, 2, 2 }; int fis_gRI22[] = { 2, 2, 3 }; int fis_gRI23[] = { 2, 2, 4 }; int fis_gRI24[] = { 2, 2, 5 }; int fis_gRI25[] = { 2, 3, 1 }; int fis_gRI26[] = { 2, 3, 2 }; int fis_gRI27[] = { 2, 3, 3 }; int fis_gRI28[] = { 2, 3, 4 }; int fis_gRI29[] = { 2, 3, 5 }; int fis_gRI30[] = { 3, 1, 1 }; int fis_gRI31[] = { 3, 1, 2 }; int fis_gRI32[] = { 3, 1, 3 }; int fis_gRI33[] = { 3, 1, 4 }; int fis_gRI34[] = { 3, 1, 5 }; int fis_gRI35[] = { 3, 2, 1 }; int fis_gRI36[] = { 3, 2, 2 }; int fis_gRI37[] = { 3, 2, 3 }; int fis_gRI38[] = { 3, 2, 4 }; int fis_gRI39[] = { 3, 2, 5 }; int fis_gRI40[] = { 3, 3, 1 }; int fis_gRI41[] = { 3, 3, 2 }; int fis_gRI42[] = { 3, 3, 3 }; int fis_gRI43[] = { 3, 3, 4 }; int fis_gRI44[] = { 3, 3, 5 }; int fis_gRI45[] = { 4, 1, 1 }; int fis_gRI46[] = { 4, 1, 2 }; int fis_gRI47[] = { 4, 1, 3 }; int fis_gRI48[] = { 4, 1, 4 }; int fis_gRI49[] = { 4, 1, 5 }; int fis_gRI50[] = { 4, 2, 1 }; int fis_gRI51[] = { 4, 2, 2 }; int fis_gRI52[] = { 4, 2, 3 }; int fis_gRI53[] = { 4, 2, 4 }; int fis_gRI54[] = { 4, 2, 5 }; int fis_gRI55[] = { 4, 3, 1 }; int fis_gRI56[] = { 4, 3, 2 }; int fis_gRI57[] = { 4, 3, 3 }; int fis_gRI58[] = { 4, 3, 4 }; int fis_gRI59[] = { 4, 3, 5 };</pre>	<pre>{ index = fis_gRI[r][i]; if (index > 0) fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], fuzzyInput[i][index - 1]); else if (index < 0) fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1 - fuzzyInput[i][-index - 1]); else fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1); } } else { fuzzyFires[r] = FIS_MIN; for (i = 0; i < fis_gcI; ++i) { index = fis_gRI[r][i]; if (index > 0) fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], fuzzyInput[i][index - 1]); else if (index < 0) fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 1 - fuzzyInput[i][-index - 1]); else fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 0); } } fuzzyFires[r] = fis_gRWeight[r] * fuzzyFires[r]; sW += fuzzyFires[r]; } if (sW == 0) { for (o = 0; o < fis_gcO; ++o) { g_fisOutput[o] = ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) / 2); } } else { for (o = 0; o < fis_gcO; ++o) { g_fisOutput[o] = fis_defuzz_centroid(fuzzyRuleSet, o); } } }</pre>
---	--

BIODATA MAHASISWA



Nama Lengkap : Muhammad Dandika Suluh Maulana
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Tempat, Tanggal Lahir : Batam , 03 Mei 2004
Agama : Islam
Kewarganegaraan : Warga Negara Indonesia
Hobi : Menikmati senja di sore hari
Alamat : Perum Jupiter Residence Blok B , Kota Batam
No. HP : 082287908725
Email : dandika.suluh@student.ppns.ac.id
Riwayat Pendidikan : -Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) Program Studi D4-Teknik Kelistrikan Kapal (2022-2026)
-SMA KARTINI Batam (2019-2022)