



**SISTEM NAVIGASI MOBIL LISTRIK PADA JALAN
BERELEVASI MENGGUNAKAN KONTROL FUZZY-PID**

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada
program studi Teknik Elektro*

SKRIPSI

Oleh

**Praja Ijhar Firmansyah
211910201068**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI STRATA S1 TEKNIK ELEKTRO
JEMBER
2025**



**SISTEM NAVIGASI MOBIL LISTRIK PADA JALAN
BERELEVASI MENGGUNAKAN KONTROL FUZZY-PID**

SKRIPSI

Oleh

**Praja Ijhar Firmansyah
211910201068**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI STRATA S1 TEKNIK ELEKTRO
JEMBER
2025**

PERSEMBAHAN

Ucap syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat serta karunianya dan karunia. Shalawat dan salam tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallahu 'Alaihi Wasallam. Dengan rasa tulus dan kerendahan hati saya skripsi ini dipersembahkan kepada :

1. Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang.
2. Rasulullah Muhammad SAW yang menjadi suri tauladan bagi seluruh umat.
3. Kedua orang tua saya, Ayah Suliono dan Ibu Nanik Kusumawati. Terimakasih atas semua pengorbanan, jerih payah, kerja keras, kasih sayang, nasihat, dan air mata yang menetes dalam setiap untaian do'a yang senantiasa mengiringi setiap langkah perjuangan serta keberhasilan penulis.
4. Kakak dan adik saya, Galang Muhammad Yusuf dan Nabila Isami Indah yang selalu memberikan motivasi dan semangat serta kebahagiaan yang diberikan untuk menuntaskan kewajiban ini.
5. Dosen Pembimbing Utama Bapak Ir. Khairul Anam, S.T., M.T., Ph.D, IPU., ASEAN. ENG. dan Dosen Pembimbing Anggota Bapak Dr. Ir.Bambang Sri Kaloko S.T., M.T.
6. Seluruh dosen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah membimbing dan senantiasa memberikan pengalaman dan ilmu pengetahuan kepada penulis saat perkuliahan maupun diluar perkuliahan.
7. Teman-teman Laboratorium ISR-CDAST Universitas Jember yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian.
8. Almamater Universitas Jember.

MOTTO

*"Nowhere can man find a quieter or more untroubled
retreat than in his own soul"*

(Marcus Aurelius)

“Untungnya bumi masih berputar, untungnya ku tak pilih menyerah”

(Bernadya)

"Jadikan pencapaian orang lain sebagai motivasi,
bukan sebagai rasa iri dan dengki"

(Penulis)



PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Praja Ijhar Firmansyah

NIM : 201910201068

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan skripsi yang berjudul “*Sistem Navigasi Mobil Listrik pada Jalan Berelevasi menggunakan Kontrol Fuzzy PID*” adalah benar – benar hasil karya saya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Juli 2025

Yang Menyatakan,

Praja Ijhar Firmansyah

NIM 201910201068

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul “*Sistem Navigasi Mobil Listrik pada Jalan Berelevasi menggunakan Kontrol Fuzzy PID*” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

Hari : Senin
Tanggal : 28 Juli 2025
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing Tanda Tangan

1. Pembimbing Utama

Nama: Ir. Khairul Anam, S.T., M.T., Ph.D, IPU., ASEAN. ENG. (.....)

NIP : 197804052005011002

2. Pembimbing Anggota

Nama : Dr. Ir.Bambang Sri Kaloko S.T., M.T. (.....)

NIP : 197104022003121001

Penguji

1. Penguji Utama

Nama : Ir. Wahyu Muldayani S.T., M.T. (.....)

NIP : 198806142023211018

2. Penguji Anggota

Nama : Immawan Wicaksono S.T., M.T. (.....)

NIP : 199107182022031009

ABSTRACT

The children's patient electric car is designed as a play therapy medium that aims to help reduce anxiety or fear in children while being in the hospital or when undergoing surgery. However, hospital corridors do not always have flat surfaces but there are also corridors with elevated paths in the form of uphill and downhill roads. Therefore, a control system based on Fuzzy PID was developed to enable this electric car to pass through uphill and downhill terrain without obstacles. This Fuzzy PID control system is a combination of fuzzy logic and PID control, where fuzzy logic plays a role in providing adaptive responses to changes in road conditions automatically either when the road is flat, uphill, or downhill, while PID is used as a feedback system to maintain speed stability so that it remains in accordance with the specified target. The speed measurement of the electric car is carried out using a proximity sensor triggered by magnets attached to the wheels, so the system can calculate the speed in real time. With the implementation of the Fuzzy-PID method, the system is able to produce a more adaptive speed. When going uphill, the electric car's speed remains on target without losing power, and when going downhill, the speed is maintained so that it does not exceed the desired limit. This aims to provide comfort and safety for users, especially child patients, in any terrain conditions either flat, uphill, or downhill.

Keyword: *electric car, fuzzy-PID control, elevation field, proximity sensor, speed regulation.*

RINGKASAN

Penelitian ini berjudul “Sistem Navigasi Mobil Listrik pada Jalan Berelevasi menggunakan Kontrol *Fuzzy* PID”. Penelitian ini mengembangkan sistem kontrol pada mobil listrik anak dengan tujuan supaya dapat melewati saat terdapat medan berelevasi pada di lingkungan rumah sakit, khususnya saat melalui jalur koridor yang memiliki elevasi seperti tanjakan dan turunan. Karena mobil listrik ini digunakan untuk mengurangi kecemasan pasien anak yang akan menjalani operasi, maka diterapkanlah sistem kontrol *fuzzy* PID pada mobil listrik agar pada saat mobil listrik tersebut digunakan dan melewati koridor yang ada medan elevasi tanjakan maupun turunan dapat melewati jalan tersebut dengan aman. Metode yang digunakan adalah kontrol *fuzzy* PID, yang menggabungkan fleksibilitas logika *fuzzy* dalam penyesuaian parameter PID (K_p , K_i , K_d) secara dinamis berdasarkan *error* dan *delta error* kecepatan mobil. Sistem ini dikendalikan oleh arduino mega 2560, menggunakan sensor proximity untuk mengukur kecepatan mobil listrik, serta motor DC 12v sebagai aktuator utama.

Pengujian dilakukan dalam tiga kondisi medan: jalan datar, menanjak (4 derajat dan 7 derajat) serta menurun menggunakan variasi beban beban 15kg, 27kg, 37kg, dan tanpa beban yang tiap beban menggunakan kecepatan 0,34m/s, 0,45m/s, 0,57m/s. Hasil menunjukkan bahwa kontrol *fuzzy* PID mampu mengendalikan kestabilan kecepatan yang menyesuaikan nilai PWM motor terhadap medan dan beban, serta menghasilkan respon yang lebih cepat dan halus daripada saat menggunakan metode PID konvensional. Hal ini dapat diketahui bahwa pada saat jalan menanjak memiliki hasil dari PWM semakin meningkat supaya dapat menyesuaikan target kecepatan yang digunakan, namun pada jalan turunan PWM akan turun dengan menyesuaikan kecepatan mobil listrik dengan target kecepatannya. Maka dari itu penggunaan sistem kontrol *fuzzy* PID ini dapat menyesuaikan target kecepatan dengan medan yang berbeda – beda.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah S.W.T atas segala rahmat serta karunia-Nya yang telah memberikan petunjuk dan kekuatan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Sistem Navigasi Mobil Listrik pada Jalan Berelevasi menggunakan Kontrol *Fuzzy* PID”.

Penulisan skripsi ini merupakan hasil dari dukungan dan bantuan berbagai pihak, sehingga penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua saya, Ayah Suliono dan Ibu Nanik Kusumawati. Terimakasih atas semua pengorbanan, jerih payah, kerja keras, kasih sayang, nasihat, dan air mata yang menetes dalam setiap untaian do'a yang senantiasa mengiringi setiap langkah perjuangan serta keberhasilan penulis.
2. Kakak dan adik saya, Galang Muhammad Yusuf dan Nabila Isami Indah yang selalu memberikan motivasi dan semangat serta kebahagiaan yang diberikan untuk menuntaskan kewajiban ini.
3. Dosen Pembimbing Utama Bapak Ir. Khairul Anam, S.T., M.T., Ph.D, IPU., ASEAN. ENG. dan Dosen Pembimbing Anggota Bapak Dr. Ir.Bambang Sri Kaloko S.T., M.T.
4. Keluarga besar Teknik Elektro 2021 (TOWER) yang telah berjuang bersama-sama sejak awal masuk perkuliahan hingga terselesaikannya masa studi ini.
5. Teman-teman Robotika dan Elektro 2021
6. Teman-teman Lab ISR dan CDAST yang sudah memberikan pengetahuan dan motivasi.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari adanya kekurangan dalam skripsi ini dan mengharapkan masukan yang membangun untuk peningkatan kualitas. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membaca dan terlibat.

Jember, Juli 2025

Penulis

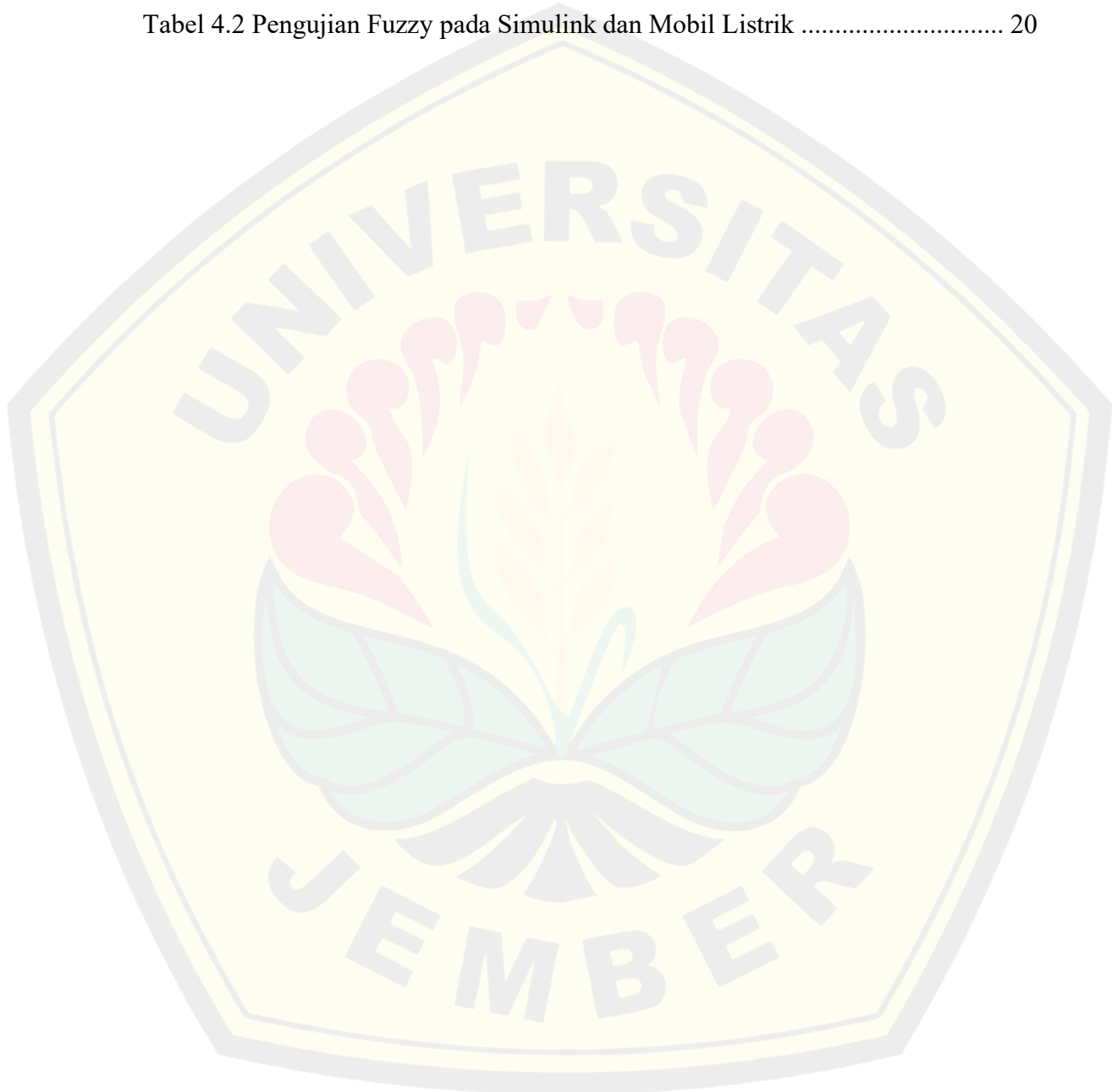
DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| HALAMAN JUDUL | ii |
| PERSEMBAHAN | iii |
| MOTTO..... | iv |
| PERNYATAAN ORISINALITAS..... | v |
| HALAMAN PERSETUJUAN..... | vi |
| ABSTRACT | vii |
| RINGKASAN | viii |
| PRAKATA..... | ix |
| DAFTAR ISI..... | x |
| DAFTAR TABEL..... | xii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiii |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.4 Batasan Penelitian | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| BAB 2 TINJAUAN TEORI..... | 5 |
| 2.1 Penelitian Terkait | 5 |
| 2.2 Mobil listrik Anak | 6 |
| 2.3 Arduino Mega 2560 | 7 |
| 2.4 Motor Dc | 7 |
| 2.5 Driver Motor BTS 7960 | 8 |
| 2.6 <i>Hall Effect</i> Sensor Proximity..... | 8 |
| 2.7 Baterai | 10 |
| 2.9 Logika <i>Fuzzy</i> | 10 |
| 2.9.1 Kurva Segitiga (Triangular) | 10 |
| 2.9.2 Fuzzy Inference Sistem (FIS) Mamdani | 11 |
| 2.8 Kontrol PID..... | 12 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| BAB 3 | METODOLOGI PENELITIAN | 13 |
| 3.1 | Tempat dan Waktu Penelitian | 13 |
| 3.2 | Alat dan Bahan | 13 |
| 3.3 | Perancangan Mekanik Mobil Listrik | 13 |
| 3.4 | Perancangan Elektrikal | 14 |
| 3.5 | Perancangan Blok Diagram Sistem Kontrol | 14 |
| 3.6 | <i>Flowchart</i> Sistem | 15 |
| 3.7 | Perancangan Kontrol <i>Fuzzy Logic</i> | 16 |
| 3.8 | Pengujian Sistem | 17 |
| BAB 4 | HASIL DAN PEMBAHASAN | 18 |
| 4.1 | Pengujian Pengukuran Kecepatan Sensor Proximity | 18 |
| 4.2 | Pengujian Algoritma Fuzzy PID dengan MATLAB | 19 |
| 4.3 | Percobaan Pada Jalanan Mendatar | 20 |
| 4.4 | Percobaan Pada Jalanan Menanjak | 23 |
| 4.4.1 | Percobaan pada Jalan menanjak dengan Sudut 4° | 23 |
| 4.4.2 | Percobaan pada Jalan Menanjak dengan Sudut 7° | 26 |
| 4.5 | Percobaan Pada Jalanan Menurun | 28 |
| 4.5.1 | Percobaan pada Jalan Menurun dengan Sudut 4° | 28 |
| 4.5.2 | Percobaan pada Jalan Menurun dengan Sudut 7° | 31 |
| 4.6 | Analisis Korelasi Kecepatan terhadap Sinyal PWM Motor | 34 |
| 4.6.1 | Percobaan Jalan Mendatar | 34 |
| 4.6.2 | Percobaan Jalan Menanjak | 35 |
| 4.6.3 | Percobaan Jalan Menurun | 36 |
| 4.7 | Perbandingan Hasil dari Metode PID dengan Metode <i>Fuzzy</i> PID | 36 |
| BAB 5 | KESIMPULAN DAN SARAN | 39 |
| 5.1 | Kesimpulan | 39 |
| 5.2 | Saran | 40 |
| | DAFTAR PUSTAKA | 41 |
| | LAMPIRAN | 43 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Penelitian Terkait | 5 |
| Tabel 3.1 Variable <i>Fuzzy</i> Kontroller..... | 16 |
| Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kalibrasi Kecepatan Sensor Proximity..... | 18 |
| Tabel 4.2 Pengujian Fuzzy pada Simulink dan Mobil Listrik | 20 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Mobil Listrik | 7 |
| Gambar 2.2 Arduino Mega | 7 |
| Gambar 2.3 Motor Dc | 7 |
| Gambar 2.4 Driver Motor | 8 |
| Gambar 2.5 Sensor Proximity | 9 |
| Gambar 2.6 Baterai 12v | 10 |
| Gambar 2.7 Kurva Segitiga (<i>Triangular</i>)..... | 10 |
| Gambar 2.8 Struktur Kontrol <i>Fuzzy</i> | 11 |
| Gambar 2.9 Sistem Kontrol PID | 12 |
| Gambar 3.1 Desain Mekanik Mobil dengan Sensor Proximity..... | 13 |
| Gambar 3.2 Perancangan Elektrikal Mobil Listrik | 14 |
| Gambar 3.3 Blok Diagram Sistem Kontrol Mobil Listrik | 15 |
| Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> Sistem | 15 |
| Gambar 3.5 Variabel <i>Input Error</i> dan <i>Delta Error</i> | 16 |
| Gambar 3.6 Variabel <i>Output</i> Parameter (a) <i>Kp</i> , (b) <i>Ki</i> , (c) <i>kd</i> | 17 |
| Gambar 4.1 Grafik Kalibrasi Sensor Proximity (a) Roda Kanan (b) Roda Kiri.... | 18 |
| Gambar 4.2 Grafik Kecepatan Mobil Medan Mendatar (a) Tanpa Beban, (b) Beban 15kg, (c) Beban 27kg, (d) Beban 37kg. | 21 |
| Gambar 4.3 Grafik Kecepatan Mobil Medan Menanjak Sudut 4° (a) Tanpa Beban, (b) Beban 15kg, (c) Beban 27kg, (d) Beban 37kg..... | 24 |
| Gambar 4.4 Grafik Kecepatan Mobil Medan Menanjak Sudut 7° (a) Tanpa Beban, (b) Beban 15kg, (c) Beban 27kg, (d) Beban 37kg..... | 27 |
| Gambar 4.5 Grafik Kecepatan Mobil Medan Menurun Sudut 4° (a) Tanpa Beban, (b) Beban 15kg, (c) Beban 27kg, (d) Beban 37kg..... | 29 |
| Gambar 4.6 Grafik Kecepatan Mobil Medan Menurun Sudut 7° (a) Tanpa Beban, (b) Beban 15kg, (c) Beban 27kg, (d) Beban 37kg..... | 32 |
| Gambar 4.7 Grafik PWM Motor Kanan dan Kiri Saat Mendatar | 34 |
| Gambar 4.8 Grafik PWM Motor Kanan dan Kiri Saat Menanjak..... | 35 |
| Gambar 4.9 Grafik PWM Motor Kanan dan Kiri Saat Menurun..... | 36 |

Gambar 4.10 Grafik Kecepatan Jalan Mendatar Perbandingan Metode PID dengan Metode *Fuzzy* PID (a) Motor Kiri (b) Motor Kanan 37

Gambar 4.11 Grafik Kecepatan Jalan Menanjak Perbandingan Metode PID dengan Metode *Fuzzy* PID (a) Motor Kiri (b) Motor Kanan 37

Gambar 4.12 Grafik Kecepatan Jalan Menurun Perbandingan Metode PID dengan Metode *Fuzzy* PID (a) Motor Kiri (b) Motor Kanan 38



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mobil listrik merupakan kendaraan yang dapat bergerak dengan adanya sumber listrik dengan menggerakkan motor penggeraknya. Mobil listrik memiliki komponen utama penggerakannya yakni motor listrik atau menggunakan motor dc. Motor DC adalah alat untuk mengubah energi listrik searah atau arus dc menjadi energi kinetik berupa tenaga penggerak torsi (Wardana et al., 2024). Terdapat mobil listrik yang berukuran kecil untuk dikendarai oleh anak-anak sebagai hiburan anak kecil dengan mengendarai mobil listrik tersebut

Rumah sakit adalah tempat fasilitas pelayanan kesehatan sebagai pengobatan dalam berbagai penyakit dari anak-anak hingga dewasa. Rawat inap adalah kondisi orang yang memerlukan perawatan di rumah sakit karena keadaan tertentu. Orang akan menjalani pengobatan atau terapi selama rawat inap dalam pelaksanaan perawatan yang diberikan, sehingga proses penyembuhan dapat terhambat dan perawatan menjadi lebih lama, bahkan komplikasi dapat terjadi selama pengobatan (Salsabila et al., 2022). Dalam beberapa kasus penyakit yang diderita oleh khususnya pasien anak, memiliki rasa cemas dan takut saat akan menjalani proses operasi dapat memengaruhi kelancaran dan hasil dari operasi tersebut. Dalam hal kecemasan yang dialami pasien diperlukan proses terapi bermain yang dapat memberikan hal positif terhadap psikis anak yang dapat membantu mempercepat proses penyembuhan. Terapi bermain merupakan jenis pengalaman bermain yang telah direncanakan sebelumnya dimana anak-anak dihadapkan pada tindakan keperawatan untuk membantu mereka mengatasi stres (Dihuma et al., 2023). Terapi bermain bisa juga dapat mobil listrik yang didesain kecil yang sesuai dengan pasien. Penggunaan mobil listrik digunakan untuk alternatif mengurangi kecemasan dari pasien dan memberikan rasa nyaman bagi pasien tersebut sehingga dapat memberi efek positif terhadap psikis pasien anak.

Pada tempat koridor rumah sakit dirancang untuk mendukung mobilitas pasien, staf, dan alat medis. Desain ini biasanya digunakan untuk memastikan aksesibilitas, terutama bagi pasien. Koridor yang ada rumah sakit juga dilengkapi

dengan tanjakan dan turunan biasanya dirancang untuk meningkatkan aksesibilitas dan mobilitas bagi semua pengguna, terutama bagi pasien, pengunjung, dan staf dengan kebutuhan khusus (Ali et al., 2019). Dari akses jalan membuat mobil listrik yang berjalan pada koridor rumah sakit memiliki kesulitan pada jalanan yang berelevasi karena jalanan tidak semua berjalan dengan datar. Dalam hal ini penggunaan metode pengendalian kecepatan pada mobil listrik cukup berguna untuk kelancaran berkendara mobil listrik pada anak di koridor rumah sakit bagi akses jalan yang berelevasi.

Pada penelitian sebelumnya yang menggunakan metode PID (Ramadan et al., 2022) menghasilkan motor yang stabil saat berjalan. Pada penelitian ini menggunakan sensor efek hall yang digunakan sebagai pemberian umpan balik berupa kecepatan aktual kendaraan. Dari sensor tersebut akan memastikan kecepatan mobil listrik sesuai dengan nilai setpoint yang telah digunakan. Namun kelemahan dari sistem ini terletak pada kompleksitas tuning parameter PID dan hasil simulasi yang belum sepenuhnya sesuai dengan hasil eksperimen. Pada penelitian selanjutnya yang diterapkan oleh (Alghi et al., 2024) menggunakan metode *fuzzy*, dari metode yang digunakan tersebut digunakan untuk memprediksi kecepatan motor saat melewati jalan tanjakan dengan pembacaan dua sensor yaitu GPS untuk mendeteksi kecepatan kendaraan dan *gyroscope* untuk mengukur sudut kemiringan jalan. Data yang menjadi nilai *fuzzy* dengan proses *fuzzyfikasi* diproses berdasarkan kondisi dari kecepatan dan kemiringan. Pada hasil menggunakan metode tersebut menunjukkan tingkat akurasi *error* MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) sebesar 12,95% namun yang menjadikannya kekurangan menggunakan metode *fuzzy* yaitu motor kurang cocok untuk sistem yang dinamis dan cepat berubah.

Terdapat penelitian yang menggunakan gabungan dari *fuzzy* dan *pid* yaitu pada penelitian (Jin et al., 2020). Penelitian tersebut menggunakan metode *fuzzy* PID untuk berbagai kondisi kemiringan jalan. Menggunakan metode ini supaya parameter kontrol PID dapat disesuaikan secara otomatis dengan menggunakan logika *fuzzy*, sehingga mampu mengurangi *overshoot* dan mempercepat waktu stabilisasi. Selain itu, sistem ini memungkinkan pengendalian kecepatan yang lebih

stabil, terutama pada kondisi kecepatan rendah saat kendaraan melaju di jalan menurun. Pada penelitian ini mampu menjaga dengan baik meskipun kemiringan jalan bervariasi, seperti pada kondisi kemiringan 10%, 15%, dan 20%.

Dari penelitian sebelumnya pada mobil listrik yang dilakukan oleh (Efendi, 2024) dengan implementasi algoritma yolo untuk sistem kemudi semi *autonomous* pada transportasi mobil listrik pasien anak. Sistem mendeteksi markah tanda panah yang nantinya digunakan untuk menentukan sudut kemudi yang presisi pada mobil secara *real time* dan memiliki akurasi yang tinggi dengan tidak adanya *overfitting*. Model sangat akurat dalam melakukan pendeteksian keseluruhan markah secara *real time*. Kemudian pada penelitian mobil listrik yang sudah digunakan yang dilakukan oleh (Rahmat, 2024) dengan mengimplementasikan sistem ADAS berbasis logika *fuzzy* untuk meningkatkan keamanan pada mobil listrik. Sistem yang dikembangkan mampu mendeteksi dan menghindari hambatan dengan penggunaan sensor LIDAR, *Proximity* dan pengendali *fuzzy* menghasilkan presentasi eror dari sensor-sensor dan algoritma *fuzzy* yang digunakan relatif kecil yakni 5,90%. Namun pada penelitian kedua tersebut kondisi pergerakan motor yang masih belum sinkron antara motor kanan dan kiri serta tidak dapat melewati saat ada jalanan yang berelevasi.

Oleh karena itu, berdasarkan beberapa referensi penelitian di atas terkait pengendalian kecepatan pada jalanan berlevasi, pada penelitian ini dibuat sistem kemudi semi otomatis pada transportasi mobil listrik pasien anak dengan menerapkan metode penggabungan *fuzzy* PID untuk mengatur kecepatan motor saat melewati rintangan jalanan yang berelevasi tanjakan dengan menstabilkan jalannya mobil listrik tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dijelaskan diatas, dapat ditarik rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana sistem kontrol *fuzzy* PID untuk mempertahankan kecepatan stabil pada mobil listrik di medan jalan yang memiliki elevasi tanjakan dan turunan?

2. Bagaimana sudut kemiringan jalan dan beban pengguna memengaruhi performa kecepatan mobil listrik?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah diatas, didapatkan beberapa tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Mendapatkan kecepatan mobil listrik yang stabil pada kondisi jalan yang berelevasi dengan tanjakan dan turunan menggunakan metode *fuzzy* PID.
2. Mengetahui pengaruh sudut kemiringan jalan dan berat badan terhadap pengaruh kecepatan mobil listrik saat digunakan.

1.4 Batasan Penelitian

Adapun beberapa batasan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Pengujian mobil listrik hanya berupa simulasi pemindahan pasien anak dari ruang rawat inap ke ruang operasi sebelum proses operasi.
2. Penelitian ini hanya memfokuskan pada pembahasan sistem pengendalian kecepatan pada jalanan berelevasi tanjakan atau turunan dan hanya berjalan secara lurus (tidak ada belokan).
3. Penelitian ini tidak membahas terkait desain mekanik dan suspensi mobil serta manajemen daya mobil listrik secara rinci.
4. Motor penggerak mobil listrik dalam penelitian ini menggunakan jenis motor DC 12 Volt.
5. Sensor kecepatan yang digunakan adalah sensor proximity.
6. Berat yang diuji maksimal 40kg.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah diperuntukan untuk simulasi pemindahan pasien anak dari ruang rawat inap ke ruang operasi sebelum proses operasi yang dapat membantu mengurangi rasa cemas dan takut yang dialami pada pasien anak saat akan menjalani proses operasi. Selain itu dengan mobil listrik ini dapat membantu untuk melewati jalanan yang berelevasi, seperti tanjakan dan turunan dengan mudah dan aman.

BAB 2 TINJAUAN TEORI

2.1 Penelitian Terkait

Terdapat penelitian terkait yang dapat digunakan menjadi referensi dan sumber acuan pada penelitian ini, sehingga nantinya dapat menjadi perbandingan dari penelitian yang sedang dilakukan.

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait

| No | Judul | Penulis | Hasil |
|----|---|------------------------|---|
| 1 | Perancangan Kendali Kecepatan Mobil Listrik Dengan Metode PID Berbasis Remot Kontrol | (Ramadan et al., 2022) | Pada artikel ini dilakukan penelitian pengendalian kecepatan motor dengan metode PID, hasil pengujian menunjukkan kendali PID mampu memberikan nilai overshoot di bawah 1% dan rise time yang cukup cepat 11-12. Namun memiliki kekurangan dengan kesulitan dalam tuning parameter <i>PID</i> secara optimal dan lonjakan awal PWM. |
| 2 | Implementasi Logika <i>Fuzzy</i> Pada Prediksi Kecepatan di Jalan Tanjakan | (Alghi et al., 2024) | Pada artikel ini dilakukan penelitian pengendalian kecepatan motor dengan metode <i>fuzzy</i> dengan tingkat akurasi yang baik dengan nilai <i>error</i> (MAPE) 12,95%, tergolong tingkat akurasi baik. Namun memiliki kekurangan pada motor kurang cocok untuk sistem yang dinamis dan cepat berubah. |
| 3 | <i>A Fuzzy-PID scheme for low speed control of a vehicle while going on a downhill road</i> | (Jin et al., 2020) | Pada artikel ini dilakukan penelitian menggunakan metode ini supaya parameter kontrol PID dapat disesuaikan secara otomatis dengan menggunakan logika <i>fuzzy</i> , sehingga mampu mengurangi <i>overshoot</i> dan mempercepat waktu stabilisasi dengan mampu menjaga |

- kecepatan kendaraan agar tetap mengikuti kecepatan target dengan baik meskipun kemiringan jalan bervariasi, seperti pada kondisi kemiringan 10%, 15%, dan 20%.
- | | | | |
|---|---|----------------|---|
| 4 | Implementasi algoritma yolo untuk sistem kemudi semi autonomous pada transportasi mobil listrik pasien anak | (Efendi, 2024) | Pada artikel ini implementasi algoritma yolo untuk sistem kemudi semi <i>autonomous</i> pada transportasi mobil listrik pasien anak. Sistem mendeteksi markah tanda panah yang nantinya digunakan untuk menentukan sudut kemudi yang presisi pada mobil secara <i>real time</i> dan memiliki akurasi yang tinggi dengan tidak adanya <i>overfitting</i> . |
| 5 | Implementasi ADAS Untuk Pengaman Transportasi Mobil Listrik Pasien Anak Berbasis Logika Fuzzy | (Rahmat, 2024) | Pada artikel ini berbasis logika <i>fuzzy</i> untuk meningkatkan keamanan pada mobil listrik. Sistem yang dikembangkan mampu mendeteksi dan menghindari hambatan menghasilkan presentasi eror dari sensor-sensor dan algoritma <i>fuzzy</i> yang digunakan relatif kecil yakni 5,90%. |

2.2 Mobil listrik Anak

Mobil listrik anak merupakan mobil listrik yang dirancang khusus untuk anak-anak yang dapat dioperasikan menggunakan remot kontrol dan dapat dinaiki secara langsung. Mobil listrik adalah mobil yang menggunakan tenaga listrik untuk menggerakannya yang terdapat baterai maupun tempat penyimpanan energi lainnya (Aminah et al., 2022). Mobil listrik anak termasuk alat transportasi mainan yang ramah lingkungan karena tidak menimbulkan polusi udara dan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca.



Gambar 2.1 Mobil Listrik

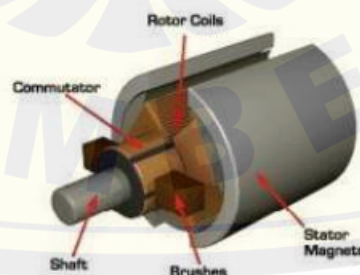
2.3 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan mikrokontroler berbasis ATmega2560 yang dilengkapi dengan 54 pin digital (diantaranya 15 dapat digunakan sebagai *output* PWM), 16 pin analog *input*, dan 4 UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*), sehingga dapat digunakan yang memerlukan banyak koneksi. Untuk spesifikasi dapat dilihat pada (Arduino S.r.l., n.d.).

Gambar 2.2 Arduino Mega
(Sumber : Arduino S.r.l., n.d.)

2.4 Motor Dc

Motor arus searah (DC) adalah jenis motor listrik yang banyak digunakan dalam lingkungan industri maupun robotika. Sumber masukan pada motor DC menggunakan daya listrik yaitu tegangan dan arus listrik dimana keluaran dari motor DC berbentuk daya mekanik yaitu berupa torsi dan kecepatan rotor. Motor DC berupa jenis transduser dimana motor ini dapat mengkonversi sebuah energi dari energi listrik menjadi energi mekanik (HudatiI et al., 2021).

Gambar 2.3 Motor DC
(Sumber : HudatiI et al., 2021)

2.5 Driver Motor BTS 7960

Driver motor BTS 7960 merupakan driver yang digunakan sebagai merubah tegangan dari baterai ke motor DC yang difungsikan sebagai jembatan antara sumber listrik dengan motor DC. Driver motor DC di kontrol oleh mikrokontroller untuk memberikan sinyal PWM pada driver motor. Dari driver motor DC akan menyalurkan tegangan dari baterai ke motor DC untuk menggerakkan motor DC (Wardana et al., 2024).



Gambar 2.4 Driver Motor
(Sumber : Wardana et al., 2024)

2.6 Hall Effect Sensor Proximity

Sensor *hall effect* digunakan untuk mendeteksi atau perubahan adanya objek medan magnet. Perubahan medan magnet terus menerus dapat menyebabkan timbulnya pulsa yang dapat dihitung sebagai pengukur kecepatan. Prinsip kerja dari sensor ini yakni sensor *half effect* akan mengalami kondisi *low* saat mengenai magnet dan kondisi *high* saat sensor *half effect* tidak mengenai magnet (Purwansyah, 2021).

Pada penelitian ini, menggunakan *hall effect* sensor proximity untuk mengukur kecepatan motor ataupun kecepatan mobil. Dengan ditambahkan pemacu yaitu medan magnet atau magnet yang ditempelkan pada roda yang dimana setiap melewati sensor dihasilkan satu pulsa. Jumlah pulsa tersebut digunakan untuk menghitung *RPM (Rotation Per Minute)* dan kecepatan linear mobil, dengan rumus yang digunakan :

Secara umum kecepatan linier :

$$v = 2 \pi r f \text{ atau } v = r \omega \quad (2.1)$$

Rumus Kecepatan sudut/detik :

$$\omega = 2\pi f \text{ atau } \omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.2)$$

Frekuensi Pulsa :

$$f = \frac{1}{\text{periode}} = \frac{1}{\Delta t} \rightarrow fpulsa = \frac{1}{\Delta t} \text{ atau } fpulsa = \frac{\text{jumlah pulsa}}{\Delta t} \quad (2.3)$$

Frekuensi Roda :

$$froda = \frac{fpulsa}{n} \text{ didapat dari } froda = \frac{\text{jumlah putaran roda}}{\text{waktu } (\Delta t)} \quad (2.4)$$

$$\text{Jumlah putaran roda} = \frac{p}{n} \quad (2.5)$$

$$\text{Maka : } froda = \frac{\frac{p}{n}}{\Delta t} = \frac{p}{n \cdot \Delta t} \text{ atau } \frac{fpulsa}{n} \quad (2.6)$$

Rumus keliling roda :

$$k = \pi d \text{ atau } k = 2\pi r \quad (2.7)$$

Jadi :

$$v = 2\pi r \cdot froda \quad (2.8)$$

$$v = 2\pi r \cdot \frac{fpulsa}{n} \quad (2.9)$$

$$v = \frac{2\pi r \cdot p}{n \cdot \Delta t} \quad (2.10)$$

$$v = \frac{2\pi r p}{n \Delta t} \text{ atau } v = \frac{k \cdot froda}{n} \quad (2.11)$$

Rumus RPM (Rotation Per Minute):

$$\text{RPM} = \frac{f \times 60}{n} \quad (2.12)$$

Keterangan :

f : frekuensi

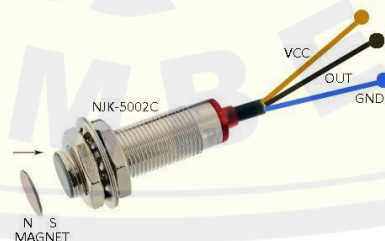
v : Kecepatan Linier (m/s) atau ($m/s \times 100$) = (cm/s)

ω : Kecepatan sudut/detik

K : keliling roda

n : jumlah dalam 1 putaran (terdapat 10 magnet)

p : pulsa



Gambar 2.5 Sensor Proximity
(Sumber : codrey.com)

2.7 Baterai

Baterai merupakan komponen yang dapat bisa dibawa kemana – mana, sehingga bisa diterapkan pada penelitian mobil mobil listrik ini. Baterai ini digunakan untuk alat menyimpan listrik DC yang diperuntukkan untuk memberi daya listrik sebagai menggerakkan motor DC. Baterai ini keluaran listriknya sudah berupa arus DC atau searah yang cocok dengan kebutuhan mobil listrik serta driver motor dan motor DC (Wardana et al., 2024).



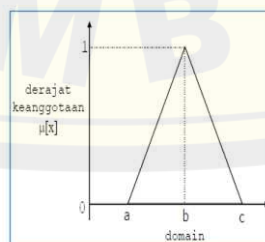
Gambar 2.6 Baterai 12v
(Sumber : yuasabattery.co.id)

2.9 Logika Fuzzy

Fuzzy adalah logika yang memiliki konsep derajat keanggotaan dalam suatu himpunan, sehingga setiap elemen tidak hanya dinilai secara mutlak benar atau salah. Dalam himpunan *fuzzy*, nilai berada dalam suatu rentang dan masing-masing memiliki tingkat keanggotaan dengan antara 0 hingga 1 (Rindengan & Langi,2019). Terdapat terdapat berbagai jenis fungsi keanggotaan pada *fuzzy* seperti fungsi segitiga (*triangular*), trapesium (*trapezoidal*), dan *gaussian*. Namun pada penelitian ini, digunakan fungsi keanggotaan berbentuk segitiga (*triangular*) dan menggunakan metode mamdani.

2.9.1 Kurva Segitiga (*Triangular*)

Fungsi keanggotaan segitiga tersusun dari dua garis linear, yaitu garis naik dan garis turun. Dinamakan fungsi segitiga karena bentuk grafiknya menyerupai sebuah segitiga. (Rindengan & Langi, 2019).



Gambar 2.7 Kurva Segitiga (*Triangular*)

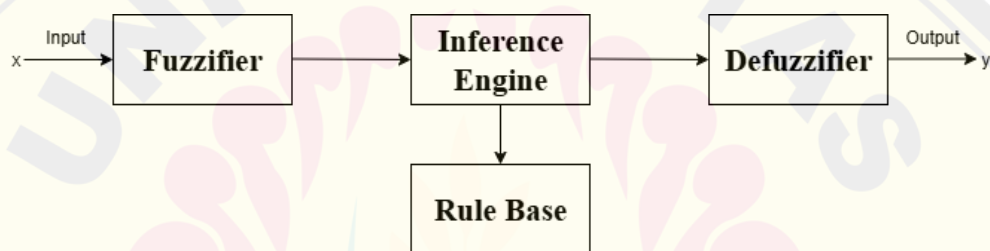
(Sumber : Rindengan & Langi, 2019)

Fungsi Keanggotaan :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & \text{jika } x \leq a \cup x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{jika } a < x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{jika } b < x < c \end{cases} \quad (2.13)$$

2.9.2 Fuzzy Inference Sistem (FIS) Mamdani

FIS mamdani bisa dikatakan metode *max-min*. FIS mamdani adalah definisi sistem yang dapat melakukan penalaran seperti layaknya manusia. FIS mamdani memiliki prinsip kerja berdasarkan aturan linguistik dan memiliki algoritma *fuzzy* yang memberikan nilai prediksi untuk analisa matematis. *Fuzzy inference system* memiliki tahapan tahapan sebagai berikut:



Gambar 2.8 Struktur Kontrol Fuzzy
(Sumber : Rindengan & Langi, 2019)

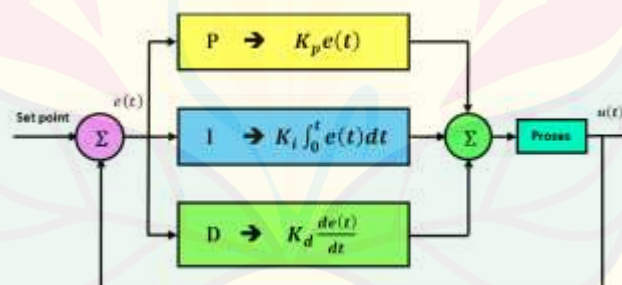
Sistem inferensi *fuzzy* terdiri dari empat komponen utama, yaitu *fuzzifier*, *inference engine*, *rule base*, dan *defuzzifier*. *Rule base* berisi kumpulan aturan linguistik yang umumnya disusun berdasarkan pengetahuan menurut diri sendiri, namun juga dapat diperoleh dari data numerik. Setelah aturan tersebut dibuat, sistem inferensi *fuzzy* dapat dilihat sebagai suatu mekanisme yang akan memetakan vektor *input* menjadi vektor *output*. *Fuzzifier* berguna untuk mengubah nilai *input* derajat keanggotaan *fuzzy*. *Inference engine* akan melakukan proses pemetaan dari himpunan *fuzzy input* menuju himpunan *fuzzy output*. *Defuzzifier* akan mengonversi hasil keluaran dalam bentuk *fuzzy* menjadi nilai *crisp* yang dapat digunakan dalam sistem nyata (Rindengan & Langi, 2019).

2.8 Kontrol PID

Kontrol PID adalah tiga komponen yang terdiri dari *Proporsional (P)*, *Integral (I)*, dan *Derivatif (D)*. Kontrol PID menggabungkan konsep ketiga komponen tersebut dengan menjumlahkan hasil perkalian *error* dengan *gain* masing-masing komponen. Secara matematis, keluaran dari pengendali PID dapat dinyatakan sebagai berikut (Angeti et al., 2019) :

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dT + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.14)$$

Pada sistem kontrol PID, masing-masing komponen memiliki kelebihan tersendiri. Kontrol proporsional berguna untuk mempercepat waktu naik (*rise time*). Kontrol integral berguna untuk menghilangkan kesalahan pada keadaan tunak (*steady-state error*). Kontrol derivatif berguna untuk meredam gejala *overshoot*. Dengan mengombinasikan ketiga komponen ini dalam kontrol PID, sistem dapat menekan *overshoot*. Selain itu, penerapan kontrol PID juga dapat mampu mempercepat respon awal sistem dan meminimalkan kesalahan akhir sehingga keluaran dapat mendekati nilai *setpoint* yang diinginkan secara lebih akurat (Sutedjo et al., 2022).



Gambar 2.9 Sistem Kontrol PID

Ketika parameter sistem mengalami perubahan selama proses berlangsung, performa dari pengendali PID konvensional dapat menurun kualitas respon sistem tertutup, seperti meningkatkan nilai *overshoot*, memperpanjang waktu naik (*rise time*), waktu tunak (*settling time*), serta berpotensi menimbulkan osilasi pada sistem. Oleh sebab itu, diperlukan penyetelan parameter pada kontrol PID yang dilakukan dengan cara yang tepat (Angeti et al., 2019).

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan terkait beberapa metodologi penelitian yang meliputi tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan yang digunakan, desain mekanik, perancangan elektrikal, perancangan sistem, *flowchart* sistem perancangan kontrol *fuzzy*, hingga pengujian sistem.

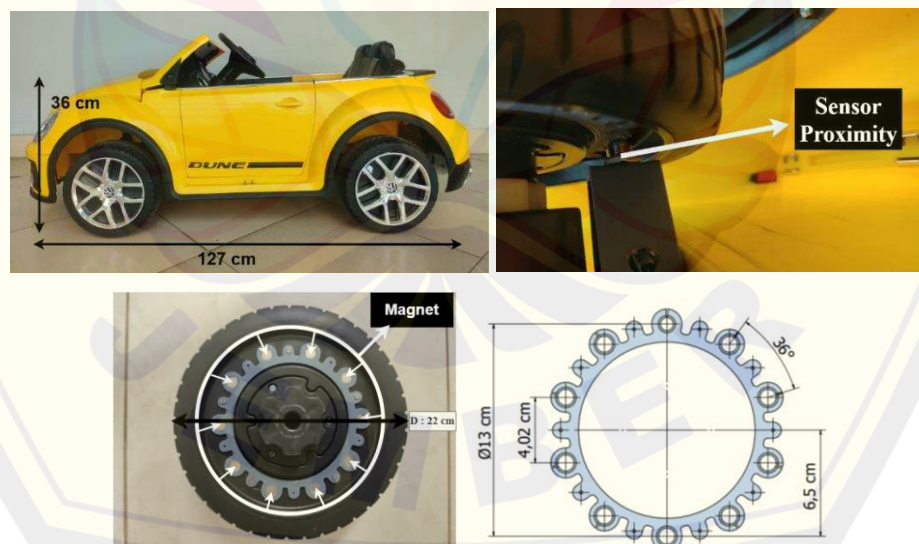
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam rentang waktu penelitian dilaksanakan kurang lebih selama 6 bulan dengan tahapan penelitian dan pengambilan data dilakukan di Laboratorium Sistem Cerdas dan Robotika CDAST (*Center for Development of Advance Science and Technology*) Universitas Jember.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini berupa hardware dan software. Dengan hardware terdapat laptop, mobil listrik, arduino mega, sensor proximity, magnet, motor DC 12 Volt, Driver Motor BTS 7960, *stepdown* LM2596, catu daya 12 V. Kemudian jika software terdapat matlab dan arduino IDE

3.3 Perancangan Mekanik Mobil Listrik

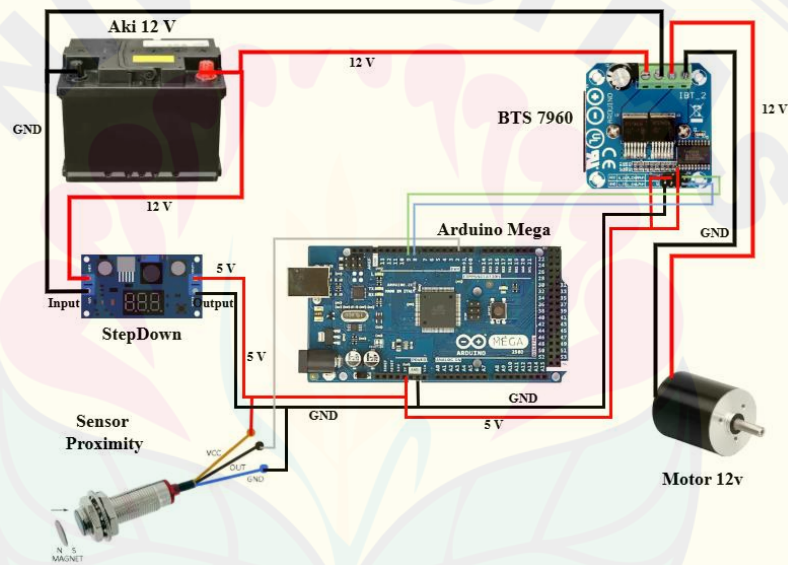


Gambar 3.1 Desain Mekanik Mobil dengan Sensor Proximity

Dengan gambar 3.1 pemasangan sensor proximity pada bagian badan mobil untuk mendeteksi adanya magnet pada roda tersebut. Dengan menggunakan 10 magnet yang ditempelkan pada roda. Pada pemasangan proximity tersebut akan mendeteksi pada magnet dengan minimal jarak 10mm pada pemasangannya.

3.4 Perancangan Elektrikal

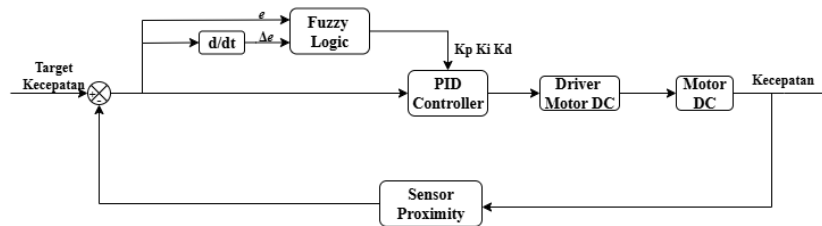
Pada gambar dibawah ini merupakan rangkaian yang dikontrol oleh arduino dengan yang terhubung langsung pada driver motor BTS7960 dan sensor proximity. Suplai aki digunakan untuk sumber tegangan utama motor DC dan juga untuk komponen lainnya namun di *stepdown* terlebih dahulu menjadi 5v yang akan menyuplai arduino, sensor proximity, dan tegangan referensi pada driver motor.



Gambar 3.2 Perancangan Elektrikal Mobil Listrik

3.5 Perancangan Blok Diagram Sistem Kontrol

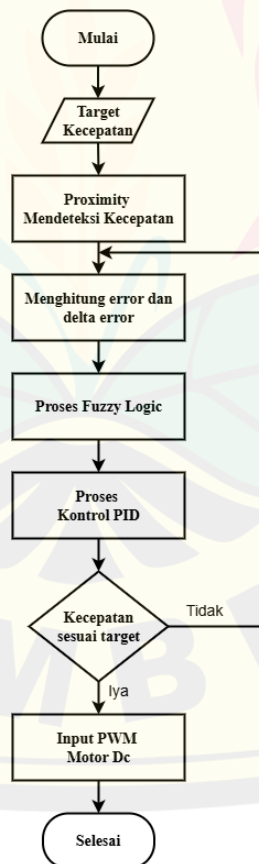
Pada tahap ini dilakukan perancangan blok diagram sistem kontrol pada mobil listrik. Proses ini bertujuan sebagai sistem pengendalian kecepatan mobil listrik saat berjalan pada kondisi jalanan berelevasi dengan menggunakan metode *fuzzy-PID*. Pada target yang digunakan yaitu berupa kecepatan target atau sebagai acuan mobil listrik tersebut berjalan dengan sesuai target yang diinginkan.



Gambar 3.3 Blok Diagram Sistem Kontrol Mobil Listrik

3.6 Flowchart Sistem

Pada tahap perancangan *software* sistem kontrol ini dijabarkan dalam bentuk *flowchart* atau diagram alir. Proses tersebut diawali dengan menentukan nilai target kecepatan yang diinginkan. Selanjutnya sensor proximity akan mendeteksi kecepatan motor DC secara aktual sebagai umpan balik yang nantinya akan dibandingkan dengan nilai target yang telah ditentukan sebelumnya. Setelah didapatkan nilai kecepatan aktual, sistem akan menghitung nilai *error* yang didapatkan dari selisih kecepatan aktual motor DC dan nilai target.



Gambar 3.4 Flowchart Sistem

3.7 Perancangan Kontrol *Fuzzy Logic*

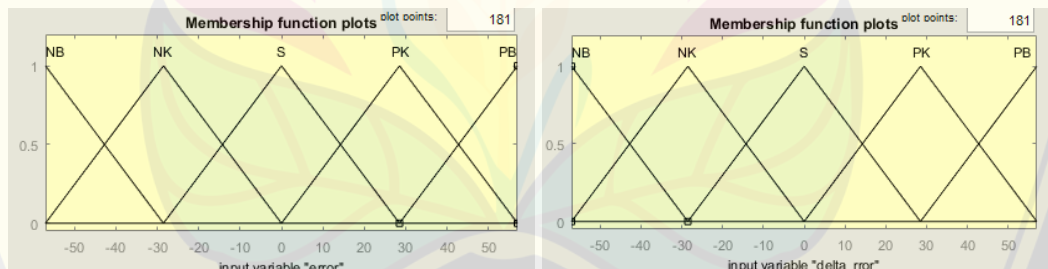
Logika *fuzzy* yang digunakan pada penelitian ini merupakan jenis *fuzzy mamdani*. Pada proses logika *fuzzy mamdani* ini menggunakan dua buah input yakni *error* dan *delta error* kecepatan serta mempunyai tiga *output* yang berupa nilai parameter K_p , K_i , dan K_d untuk *PID Controller*.

Tabel 3.1 Variable *Fuzzy* KONTROLLER

| Variabel <i>Input</i> | Variabel <i>Output</i> |
|-------------------------------------|------------------------|
| <i>Error</i> dan <i>Delta Error</i> | K_p K_i K_d |
| NB : Negatif Besar | SK : Sangat Kecil |
| NK : Negatif Kecil | K : Kecil |
| S: Stabil | M : Medium |
| PK : Positif Kecil | B : Besar |
| PB : Positif Besar | SB: Sangat Besar |

1. Variabel *Input Error* dan *Delta Error*

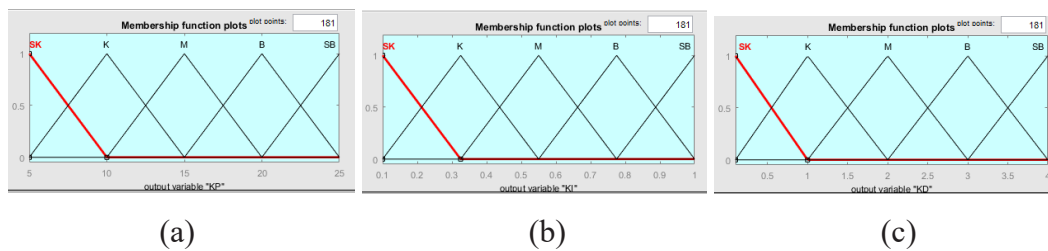
Pembentukan himpunan *fuzzy* pada variabel sudut dibagi menjadi lima kategori dengan rentang variabel *input error* yang digunakan yakni $[-57 \ 57]$ dengan menyesuaikan target yang dipakai.



Gambar 3.5 Variabel *Input Error* dan *Delta Error*

2. Fungsi Keanggotaan Variabel *Output* Parameter K_p , K_i , K_d

Rentang variabel *output* parameter K_p yang digunakan adalah $[5 \ 25]$. Rentang variabel *output* parameter K_i yang digunakan adalah $[0.1 \ 1]$. Rentang variabel *output* parameter K_d yang digunakan adalah $[0 \ 4]$.



Gambar 3.6 Variabel *Output* Parameter (a) K_p , (b) K_i , (c) k_d

Setelah dilakukan proses pembuatan himpunan *fuzzy*, dibuatlah sebuah *rule base* yang berfungsi untuk menyatakan suatu kondisi. Penyusunan *rule base* ini didasarkan pada aturan yang telah ditetapkan sebelumnya. Pada operator *IF THEN*, digunakan operator *AND* sebagai penghubungnya.

3.8 Pengujian Sistem

Setelah perancangan seluruh sistem yang akan digunakan telah selesai dan sesuai dengan rancangan yang diinginkan, maka dilakukan pengujian serta pengambilan data. Pada pengambilan ini melakukan tahap pengujian pada tiga medan dengan mendatar, menanjak, dan menurun. Pengambilan mendatar melakukan pada medan mendatar dengan jarak 20 meter, sedangkan pengambilan menanjak dan menurun melakukan pada sudut 4 derajat dan 7 derajat dengan jarak 20 meter. Dari pengambilan data tersebut menggunakan variasi beban pada setiap percobaan dan variasi kecepatan pada setiap percobaan. Dari variasi beban tersebut menggunakan tanpa beban dan beban yang digunakan sesuai nyata dengan responden anak – anak sebagai beban tersebut yang memiliki beban 15kg, beban 27kg, 37kg dengan setiap beban tersebut menggunakan kecepatan 0,34m/s, 0,45m/s, dan 0,57m/s.

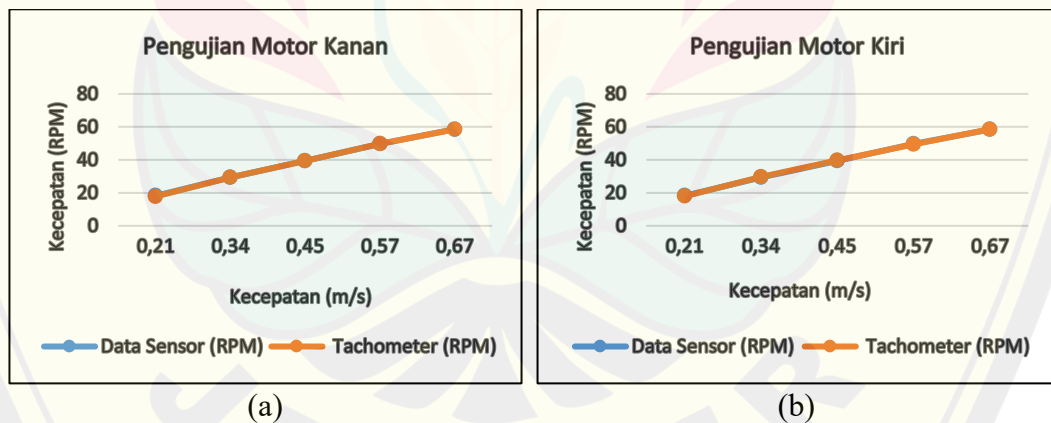
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas mengenai pengukuran yang telah dilakukan, pengujian alat yang telah dilakukan, serta analisis dari hasil pengukuran dan pengujian tersebut.

4.1 Pengujian Pengukuran Kecepatan Sensor Proximity

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Kalibrasi Kecepatan Sensor Proximity

| Pengujian Kecepatan (m/s) | | | | |
|---------------------------|-----------------|-------------------|------------------|-----------|
| Letak Motor | Kecepatan (m/s) | Data Sensor (RPM) | Tachometer (RPM) | Error (%) |
| Kanan | 0,21 | 18,2 | 17,8 | 2,2% |
| | 0,34 | 29,4 | 29,2 | 0,7% |
| | 0,45 | 39,3 | 39,4 | 0,3% |
| | 0,57 | 49,7 | 49,6 | 0,2% |
| | 0,67 | 58,6 | 58,5 | 0,2% |
| Kiri | 0,21 | 18,2 | 17,9 | 1,7% |
| | 0,34 | 29,5 | 29,6 | 0,3% |
| | 0,45 | 39,5 | 39,8 | 0,8% |
| | 0,57 | 49,7 | 49,4 | 0,6% |
| | 0,67 | 58,4 | 58,6 | 0,3% |



Gambar 4.1 Grafik Kalibrasi Sensor Proximity (a) Roda Kanan (b) Roda Kiri

Dari data hasil percobaan menguji kalibrasi kecepatan dengan menggunakan alat tachometer yang menghasilkan data yang sudah akurat dan baik. Kecepatan yang digunakan pada percobaan dari kecepatan 0,21 m/s sampai 0,34m/s dengan menyesuaikan responden serta objek yang digunakan pada penelitian ini.

Pengujian data kalibrasi dengan sensor proximity yang dibandingkan dengan alat ukur tachometer sebagai acuan dari hasil RPM dengan hasil data dari sensor proximity. Pengujian ini dilakukan pada roda kanan dan roda kiri dengan hasil yang tidak terlalu berbeda antara kanan dan kiri. Pada pengujian ini menggunakan PWM dengan rentang 7,84% hingga 39,22% *duty cycle* dengan menghasilkan RPM yang menunjukkan hasil yang baik. Hal ini disebabkan karena penggunaan *half effect* sensor proximity yang hanya mendeteksi adanya medan magnet saat roda tersebut berputar. Selain itu, penempatan mekanik antara sensor proximity dan magnet yang diletakkan pada roda dengan memastikan magnet yang diletakkan sesuai dengan jarak pada lingkaran roda tersebut yang dapat mengurangi kesalahan pembacaan pada sensor proximity untuk membaca RPM maupun kecepatan.

Dari kalibrasi yang sudah dilakukan perbandingan antara hasil data sensor proximity dengan alat ukur tachometer yang masih memiliki kesalahan dari hasil RPM tersebut. Hal tersebut bisa disebabkan karena adanya resolusi pada sensor proximity yang mendeteksi pulsa dengan penggunaan jumlah magnet yang dilewati oleh sensor. Data hasil dalam keadaan di kecepatan rendah memiliki hasil pulsa dengan satuan waktu relatif sedikit sehingga mendapatkan fluktuasi antara perhitungan RPM.

4.2 Pengujian Algoritma Fuzzy PID dengan MATLAB

Pengujian sistem fuzzy PID dengan melakukan simulasi pada MATLAB untuk memastikan algoritma fuzzy PID yang dirancang sesuai dengan pada sistem sebenarnya. Proses pengambilan data dilakukan yang membandingkan hasil simulasi MATLAB dengan secara langsung pada hasil mobil.

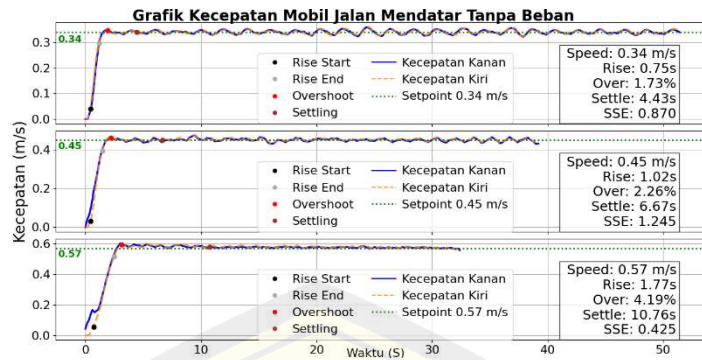
Tabel 4.2 Pengujian Fuzzy pada Simulink dan Mobil Listrik

| No. | Error | Delta Error | PID | Mobil | Simulink | Error Persen (%) |
|-----|-------|-------------|-----|-------|----------|------------------|
| 1 | 0,85 | -2,02 | Kp | 15,38 | 15,2 | 1,18% |
| | | | Ki | 0,74 | 0,766 | 3,39% |
| | | | Kd | 2,01 | 2 | 0,50% |
| 2 | 10,87 | -10,20 | Kp | 17,22 | 17 | 1,29% |
| | | | Ki | 0,69 | 0,697 | 1,00% |
| | | | Kd | 2 | 2 | 0,00% |
| 3 | -4,29 | 4,33 | Kp | 16,37 | 16 | 2,31% |
| | | | Ki | 0,71 | 0,734 | 3,27% |
| | | | Kd | 2,03 | 2 | 1,50% |

Berdasarkan dari tabel 4.2 pengujian perbandingan dari hasil nyata dengan simulink memiliki hasil yang tidak jauh pada *output* yang berupa Kp, Ki, dan Kd. Dilihat pada hasil tabel 4. tersebut pada saat *error* 0,85 dan *delta error* -2,02 yang artinya hasil kecepatan tidak jauh dari target dengan output Kp berupa 15,38, Ki 0,74, dan Kd 2,01 yang memiliki nilai mendekati simulink matlab dengan Kp 15,2 dengan *error* persen 1,18%, saat Ki memiliki nilai 0,766 dengan *error* persen sebesar 3,39%, dan Kd memiliki nilai 2,01 dengan *error* persen 0,50%. Begitupun dengan yang lainnya yang memiliki nilai tidak jauh berbeda antara *output* hasil nyata dengan simulink meskipun terdapat perbedaan dengan hasilnya tersebut, hal tersebut dapat disimpulkan bahwa algoritma yang sistem kontrol *fuzzy* PID yang dirancang pada mobil listrik mampu bekerja sesuai yang diharapkan dan dapat diterapkan pada medan mendatar, menanjak, dan menurun.

4.3 Percobaan Pada Jalanan Mendatar

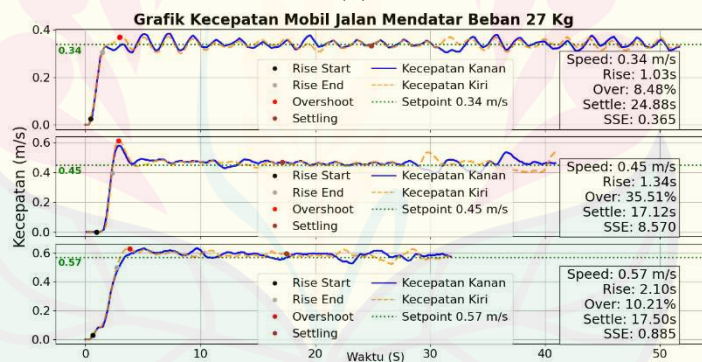
Percobaan ini dengan penggunaan medan dengan jalanan mendatar untuk pengambilan data tersebut, dengan jarak pada percobaan ini yaitu 20m. Variasi beban berupa responden nyata dengan beban 15kg, 27kg, dan 37kg. Selanjutnya setiap responden menggunakan variasi kecepatan dengan nilai 0,34m/s, 0,45m/s, 0,57m/s secara bergantian.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.2 Grafik Kecepatan Mobil Medan Mendatar (a) Tanpa Beban, (b) Beban 15kg, (c) Beban 27kg, (d) Beban 37kg.

Berdasarkan dari hasil percobaan yang sudah dilakukan dengan hasil yang ada diatas tersebut pada gambar 4.2 bahwa pada hasil mencapai target dengan tanpa beban maupun yang ada beban. Dari hasil dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol *fuzzy* PID mampu menyesuaikan dengan kondisi beban yang berbeda – beda. Meskipun masih terdapat *error* pada pembacaan kecepatan tersebut, dapat diakibatkan oleh adanya pembacaan dari sensor proximity maupun pada saat mobil dibelokkan dapat mempengaruhi dari hasil pembacaan kecepatan mobil. Pada hasil grafik jalan mendatar dengan kecepatan yang berbeda memiliki waktu yang berbeda dengan medan panjang 20m, karena pada saat kecepatan 0,34m/s memiliki waktu yang lebih lama dalam mencapai panjang medan tersebut karena memiliki kecepatan yang lebih lama daripada kecepatan 0,45m/s maupun 0,57m/s.

Dari gambar 4.2 didapat bahwa hasil respon memiliki nilai yang berbeda dengan perbedaan pada kecepatan yang digunakan itu bahwa *risetime* yang semakin cepat pada kecepatan rendah begitupun sebaliknya jika menggunakan kecepatan tinggi 0,57m/s memiliki nilai *risetime* yang lebih besar karena penggunaan PWM yang lebih rendah sehingga saat menuju target kecepatan lebih rendah dan lebih cepat. Namun tersebut terdapat hubungan dengan *overshoot* dimana pada kecepatan sebesar 0,34m/s tersebut memiliki nilai *overshoot* yang cenderung lebih kecil daripada di kecepatan lain. Hal tersebut bisa dikarenakan pada kecepatan 0,34m/s, sistem tidak mengalami percepatan yang terlalu ekstrem sedangkan pada kecepatan lebih tinggi, motor tersebut memerlukan PWM yang lebih besar untuk mencapai target sehingga dapat melewati target yang lebih tinggi atau *overshoot* berlebihan. Tetapi dari beban yang digunakan juga dapat memengaruhi hasil dari *risetime* awal jika dibandingkan dengan tanpa beban. Dari hasil *risetime* meskipun tidak terlalu jauh berbeda dengan ada beban dan tidak tetapi saat terdapat *risetime* yang dihasilkan sedikit lebih besar karena sistem membutuhkan gaya torsi yang lebih besar untuk motor mencapai target, sehingga waktu untuk mencapai target memerlukan waktu yang lebih lama. Hal ini juga terdapat pada *settling time* yang dimana hasil *settling time* dengan kecepatan berbeda memiliki hasil yang berbeda karena sulitnya untuk mengendalikan osilasi yang memiliki kecepatan tinggi. Dalam beban juga dapat memengaruhi hasil *settling time* tersebut, bisa dikarenakan

pada beban tersebut sulit untuk meredam *osilasi* karena adanya beban yang dapat menambah momen inersia untuk mencapai target kecepatan. Selanjutnya hasil yang didapat pada *steady state error* dijalan mendatar memiliki *steady state error* yang kecil pada kecepatan rendah 0,34m/s, yang disimpulkan bahwa perbedaan dari kecepatan dengan target yang tidak terlalu jauh saat kecepatan 0,34m/s.

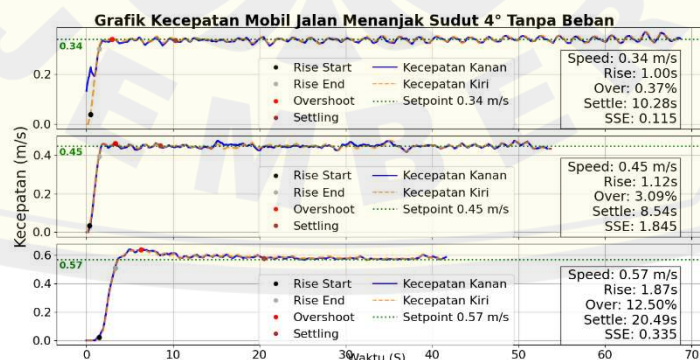
Dari hasil percobaan jalan mendatar dapat memberikan respon yang cukup stabil yang dapat digunakan pada mobil listrik dengan hasil yang lebih stabil pada kecepatan 0,34m/s. Dari semua hasil jalan mendatar dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol *fuzzy* PID yang diterapkan pada mobil listrik menghasilkan nilai yang mencapai setpoint pada jalanan mendatar dengan variasi beban maupun kecepatan yang digunakan.

4.4 Percobaan Pada Jalanan Menanjak

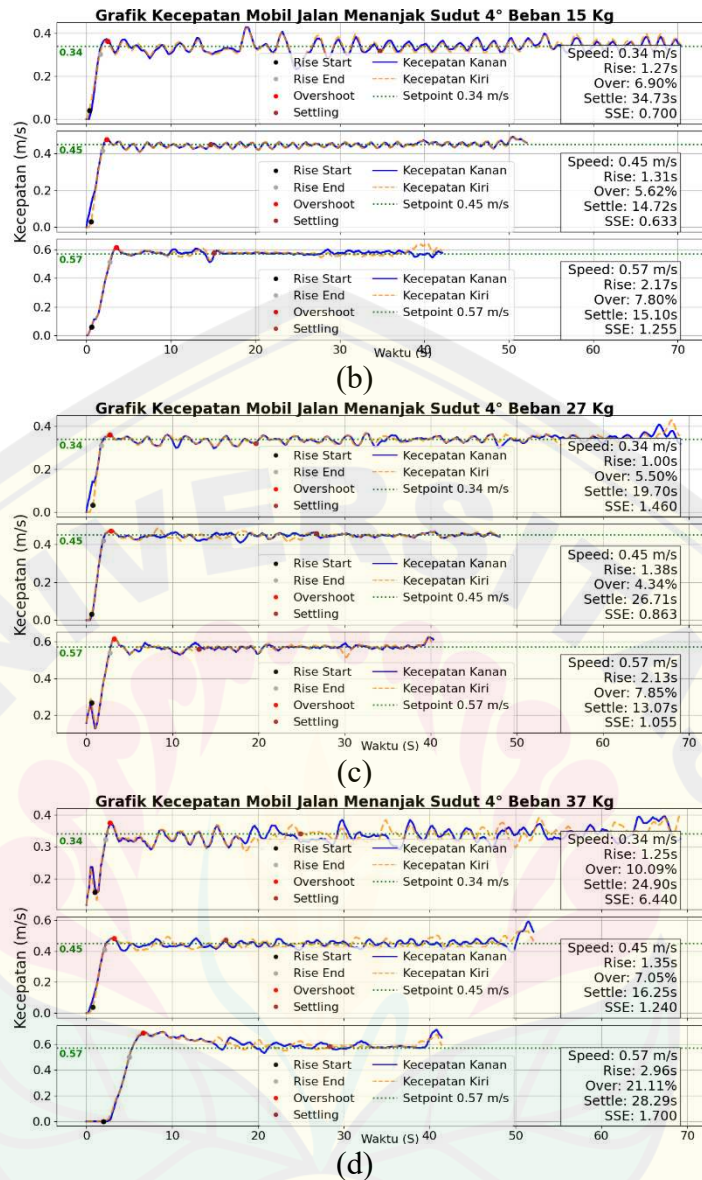
Percobaan ini dengan penggunaan medan dengan jalanan menanjak untuk pengambilan data tersebut, adanya percobaan menggunakan dua sudut pada pengambilan data tersebut. Variasi beban berupa responden nyata dengan beban 15kg, 27kg, dan 37kg. Selanjutnya setiap responden menggunakan variasi kecepatan dengan nilai 0,34m/s, 0,45m/s, 0,57m/s secara bergantian.

4.4.1 Percobaan pada Jalan menanjak dengan Sudut 4°

Percobaan pada jalanan menanjak dengan sudut 4 derajat dengan medan panjang 20m yang menggunakan mobil listrik dengan tanpa beban dan variasi beban berat 15kg, 27kg, 37kg. dari variasi beban tersebut dijalankan menggunakan variasi kecepatan sebanyak tiga kali dengan kecepatan 0,34m/s, 0,45m/s, 0,57m/s.



(a)



Gambar 4.3 Grafik Kecepatan Mobil Medan Menanjak Sudut 4° (a) Tanpa Beban, (b) Beban 15kg, (c) Beban 27kg, (d) Beban 37kg

Berdasarkan dari hasil grafik percobaan pada gambar 4.3 dapat dijelaskan mengenai hasil dari kecepatan yang digunakan dengan beban yang berbeda dapat mencapai target yang sudah ditentukan. Dari hasil tanpa beban memiliki nilai yang relatif stabil pada percobaan yang sudah dilakukan, namun dikarenakan terdapat beban yang dapat mempengaruhi hasil dari kerja motor karena adanya gaya gravitasi sehingga motor tersebut menjadi semakin berat. Pada hasil gambar 4.3 dengan kecepatan yang berbeda memiliki waktu yang berbeda dengan medan panjang 20m, dengan kecepatan 0,34m/s memiliki waktu yang

lama dengan waktu tempuh dari titik awal mulai hingga titik akhir tempuh karena pelannya kecepatan tersebut hal itu juga akan semakin cepat jika menggunakan kecepatan yang lebih cepat 0,45m/s maupun 0,57m/s.

Dengan hasil yang sudah diperoleh di jalan menanjak sudut 4 derajat bahwasannya pada kecepatan mobil dengan *risetime* yang didapat saat tanpa beban memiliki nilai yang cepat saat kecepatan 0,34m/s tapi saat kecepatan 0,57m/s memiliki nilai *risetime* yang besar karena penggunaan kecepatan yang besar dan memerlukan waktu yang lebih lama untuk mencapai target. Hal tersebut seperti pada *overshoot* yang memiliki nilai besar dengan kecepatan tinggi 0,57m/s karena penggunaan parameter PID yang besar untuk mencapai target sehingga memiliki nilai *overshoot* yang besar juga. Namun pada *settling time* yang dihasilkan dari kecepatan yang dihasilkan bahwa pada saat terdapat beban pada mobil, dari kecepatan 0,34m/s memiliki nilai *settling time* yang cukup besar karena sulitnya untuk menyesuaikan target karena adanya massa pada mobil dan parameter PID yang terlalu pasif sehingga lama saat stabil pada kecepatan 0,34m/s. Namun seperti pada kecepatan 0,57m/s yang memiliki *settling time* yang memiliki nilai besar karena penggunaan kecepatan 0,57m/s tersebut yang sulit untuk stabil dengan sesuai target. Hal tersebut yang memiliki nilai kecepatan 0,45m/s yang memiliki nilai lebih rendah daripada kedua kecepatan tersebut yang cocok dengan parameter PID. Kemudian pada hasil percobaan jalan menanjak sudut 4 derajat memiliki *steady state error* yang bagus dengan hasil yang dibawah 2 untuk *steady state error*, hal ini membuktikan bahwa pada akhir kecepatan memiliki hasil yang tidak jauh berbeda dengan target kecepatan.

Dari grafik percobaan jalan menanjak 4 derajat disimpulkan bahwa sistem kontrol *fuzzy* PID yang diterapkan pada mobil listrik menghasilkan nilai yang mencapai target kecepatan pada jalanan tanjakan dengan variasi beban yang digunakan. Meskipun memiliki nilai fluktuasi yang tinggi dan memiliki nilai *settling time* besar pada variasi beban namun kecepatan tersebut dapat mempertahankan dari kedua motor tersebut yang menunjukkan bahwa sistem

kontrol *fuzzy* PID dapat diterapkan pada mobil listrik dengan mengontrol kecepataannya di jalanan menanjak.

4.4.2 Percobaan pada Jalan Menanjak dengan Sudut 7°

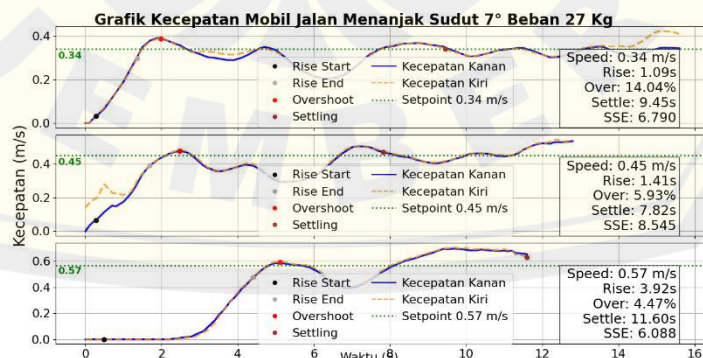
Percobaan pada jalanan menanjak dengan sudut 7 derajat dengan medan panjang 4m yang menggunakan mobil listrik tanpa beban dan variasi beban berat 15kg, 27kg, 37kg. dari variasi beban tersebut dijalankan menggunakan variasi kecepatan sebanyak tiga kali dengan kecepatan 0,34m/s, 0,45m/s, 0,57m/s.



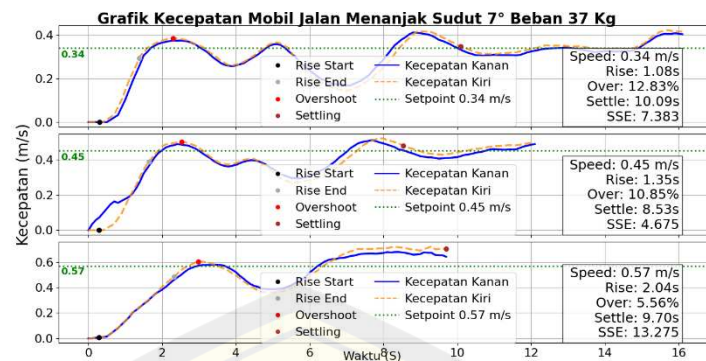
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.4 Grafik Kecepatan Mobil Medan Menanjak Sudut 7° (a) Tanpa Beban, (b) Beban 15kg, (c) Beban 27kg, (d) Beban 37kg

Berdasarkan pada grafik di gambar 4.4 dapat dijelaskan bahwa mengenai hasil kecepatan dari percobaan dengan sudut 7 derajat sudah mencapai target yang sudah ditentukan pada kecepatannya. Hal ini dalam kontrol sistem *fuzzy* PID masih dapat berjalan baik dengan keadaan tanpa beban maupun dengan variasi beban dengan sudut sebesar 7 derajat, namun karena jalan yang berelevasi menanjak sehingga motor tersebut menjadi semakin berat. Pada hasil grafik jalan menanjak sudut 7 derajat dengan kecepatan yang berbeda memiliki waktu yang berbeda dengan medan panjang 4m, dengan kecepatan 0,57m/s memiliki waktu dari awal hingga akhir yang lebih cepat daripada 34cm dan 0,45m/s

Dengan hasil yang sudah diperoleh dari percobaan jalan menanjak sudut 7 derajat bahwasannya memiliki nilai hasil kurva yang masih terlihat besar pada dan memiliki osilasi pada awal mobil bergerak. Data tanpa beban memiliki osilasi yang lebih kecil dan *overshoot* yang lebih kecil dibandingkan dengan ada beban pada mobil tersebut, hal tersebut bisa dikarenakan pada berat mobil tersebut semakin berat sehingga membutuhkan parameter PID yang besar juga untuk melewati jalan tanjakan dan karena besarnya PID yang digunakan pada K_p dapat memberikan *overshoot* yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa beban. Hal tersebut dapat juga dilihat pada hasil *risetime* dan *settling time* yang terlihat dengan tanpa beban memiliki nilai *risetime* dan *settling time* yang lebih kecil karena pada saat itu mobil tidak ada beban yang menyebabkan motor mudah untuk berjalan. Dari beban juga dapat mempengaruhi hasil dari grafik

PID, karena terlihat pada beban besar 37kg memiliki nilai yang lebih besar pada *overshoot*, *risetime*, dan *settling time* karena mobil semakin berat sehingga membutuhkan parameter PID yang besar dan hasil dari parameter PID mempengaruhi dari hasil kecepatan tersebut. Medan panjang juga dapat mempengaruhi hasil tersebut karena pada dengan medan panjang 4m yang terlalu pendek sehingga parameter PID belum menstabilkan kecepatan tersebut karena pendek dari medan tersebut. Selanjutnya pada *steady state error* ini menghasilkan nilai yang besar, bisa dikarenakan pada medan tersebut yang terlalu curam dan mobil berhenti saat sudah melewati tanjakan dengan medan mendatar tersebut. Namun hasilnya saat masih tanjakan bagus dengan nilai kecepatan yang tidak terlalu jauh berbeda pada percobaan jalan menanjak sudut 7 derajat.

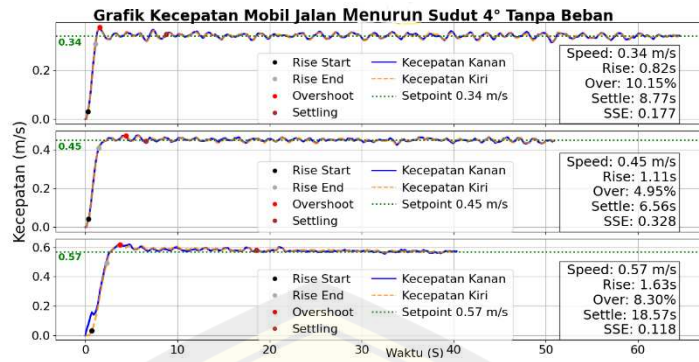
Dari hasil grafik menanjak dengan sudut 7 derajat dapat disimpulkan bahwa kontrol *fuzzy* PID dapat digunakan pada medan tersebut namun memerlukan parameter PID yang besar karena sudut yang besar juga sehingga memerlukan waktu yang cukup untuk menstabilkan kecepatan dari hasil tersebut. Dari beban dan kecepatan juga dapat mempengaruhi hasil dari kecepatan tersebut dengan kecepatan rendah 0,34m/s yang memiliki nilai kecil pada *risetime* (cepat menuju target).

4.5 Percobaan Pada Jalanan Menurun

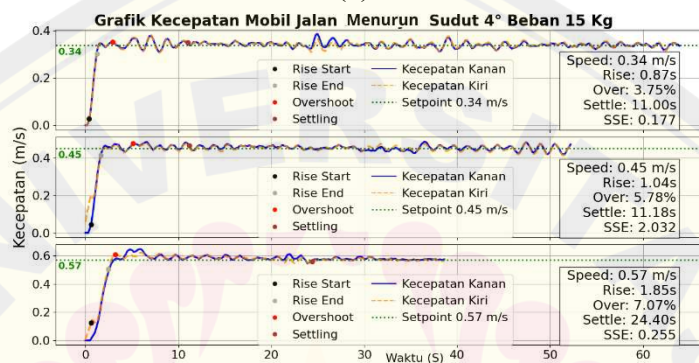
Percobaan ini dengan menggunakan medan dengan jalan berelevasi khususnya menurun untuk pengambilan data tersebut, adanya percobaan menggunakan dua sudut pada pengambilan data tersebut dengan sudut 4 derajat dan sudut 7 derajat. Dari pengambilan data kedua sudut pada jalanan mendatar menggunakan sama seperti sebelumnya dengan variasi tanpa beban dan beban berat 15kg, 27kg, 37kg serta kecepatan dengan nilai 0,34m/s, 0,45m/s, 0,57m/s secara bergantian.

4.5.1 Percobaan pada Jalan Menurun dengan Sudut 4°

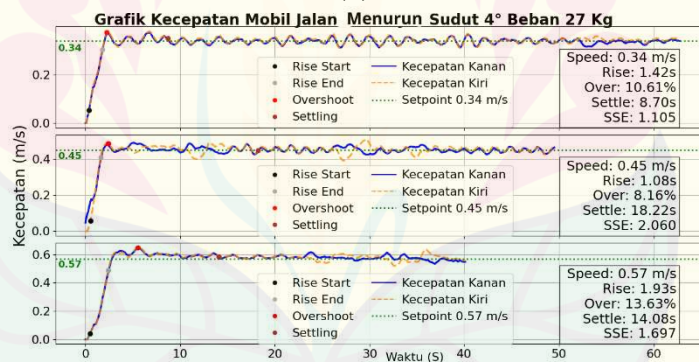
Percobaan pada jalanan menanjak dengan sudut 4 derajat dengan medan panjang 20m yang menggunakan mobil listrik dengan tanpa beban dan variasi beban serta variasi kecepatan pada setiap beban.



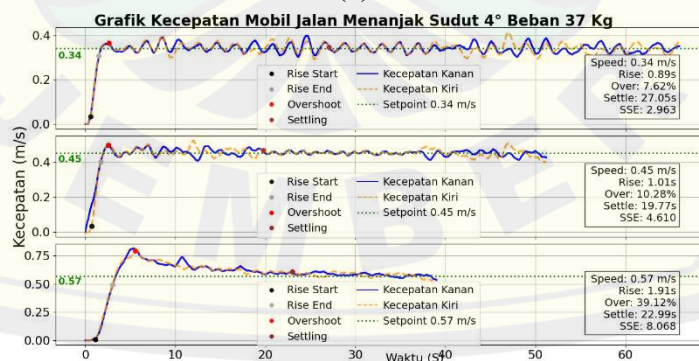
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.5 Grafik Kecepatan Mobil Medan Menurun Sudut 4° (a) Tanpa Beban, (b) Beban 15kg, (c) Beban 27kg, (d) Beban 37kg

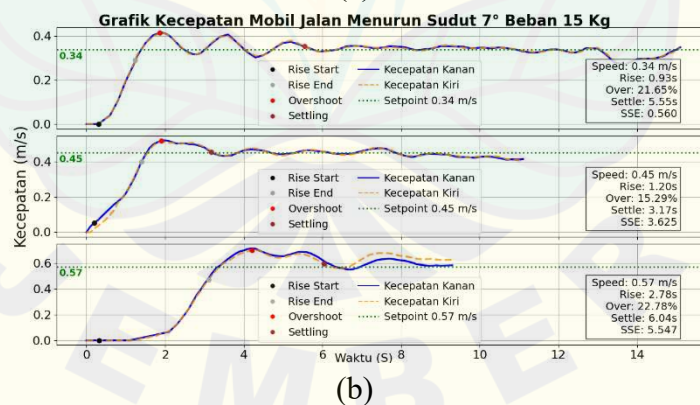
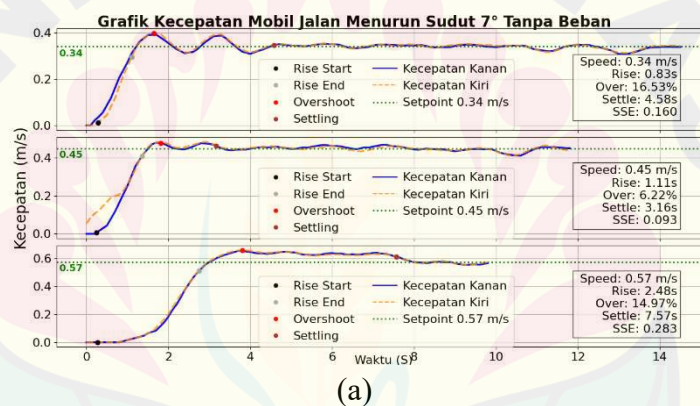
Berdasarkan pada hasil grafik kecepatan di gambar 4.5 dapat dilihat bahwa kecepatan yang menggunakan sistem kontrol *fuzzy* PID di mobil listrik dapat menahan pada kecepatan target yang ditentukan. Dengan hasil jalan yang menurun secara teori harusnya mobil bergerak secara cepat dengan adanya gaya gravitasi namun kontrol *fuzzy* PID dapat melakukannya. Pada hasil grafik jalan menurun 4 derajat dengan kecepatan yang berbeda memiliki waktu yang berbeda dengan medan panjang 20m, karena perbedaan kecepatan yang membuat hasil dari waktu berbeda dengan semakin cepat kecepatan 0,57m/s maka akan semakin cepat untuk waktu dari titik awal hingga titik akhir, begitupun yang lainnya.

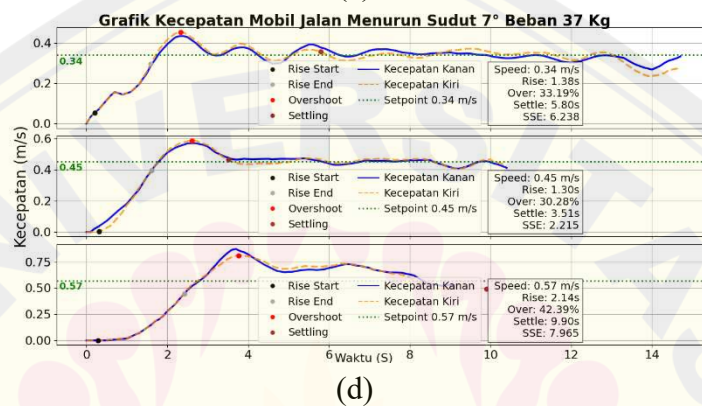
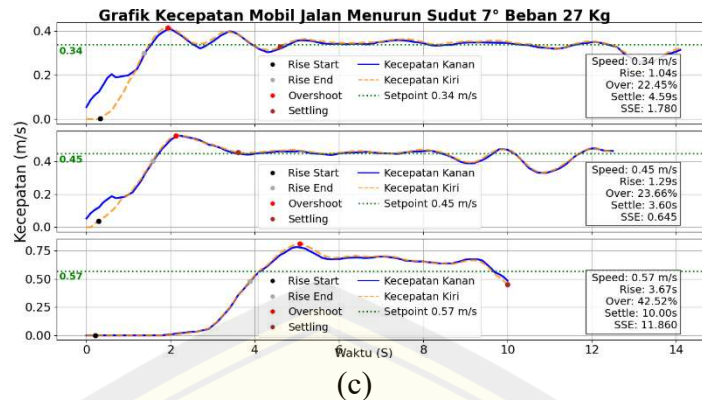
Dari hasil grafik percobaan jalan menurun 4 derajat terlihat bahwa pada awal pergerakan mobil memiliki lonjakan awal atau *overshoot* yang menyebabkan mempercepat laju dari mobil dalam beberapa saat yang kemudian akan kembali turun dan stabil dari respon *fuzzy* PID yang berusaha untuk mempertahankan kecepatan sesuai target.pada kondisi tanpa beban overshoot yang relatif kecil dan sistem dapat kembali ke target secara cepat hal ini dapat dipengaruhi karena tidak adanya beban yang membuat massa dari mobil lebih ringan. Pada kondisi memiliki beban pada beban 25kg dan 27kg terlihat memiliki overshoot yang mulai besar dikarenakan adanya massa pada mobil dan gravitasi pada jalan menurun, namun *fuzzy* PID dapat meredam kecepatan meskipun pada kecepatan 0,57m/s memiliki *overshoot* yang lebih besar daripada kecepatan yang lainnya. Hasil dari *settling time* juga masih cepat yang menuju target dengan kecepatan 0,34m/s dan 0,45m/s pada beban 15kg dan 27kg. selanjutnya pada beban 37kg memiliki nilai *overshoot* tinggi khususnya pada kecepatan 0,57m/s, hal tersebut membuat lonjakan kecepatan yang tinggi pada mobil tersebut. Namun dari kontrol *fuzzy* PID dapat merespon perubahan secara adaptif dengan respon K_p dan K_d yang diperlukan untuk menurunkan *overshoot* tersebut. Namun untuk *steady state error* yang dihasilkan pada percobaan jalan menurun 4 derajat, memiliki nilai yang dibawah 2 untuk *steady state error* yang artinya selisih dari kecepatan mobil dengan target kecepatan yang digunakan tidak jauh dan mobil tersebut dapat menyesuaikan target kecepatan tersebut

Secara hasil dari grafik percobaan jalan menurun 4 derajat dalam sistem kontrol *fuzzy* PID mampu menjaga kecepatan mobil listrik pada kondisi jalan menurun, meskipun terdapat gaya gravitasi. Dari respon sistem tetap stabil menyesuaikan target meskipun terjadi *overshoot* di awal pada variasi beban yang 37kg sekalipun. Hal ini dapat menunjukkan bahwa kontrol *fuzzy* PID mampu menjaga kecepatan mobil, tetapi juga dapat memberikan keamanan dalam percobaan jalan menuruni lintasan.

4.5.2 Percobaan pada Jalan Menurun dengan Sudut 7°

Percobaan pada jalanan menanjak dengan sudut 7 derajat dengan medan panjang 4 meter yang menggunakan mobil listrik dengan tanpa beban dan variasi beban serta variasi kecepatan pada setiap beban.





Gambar 4.6 Grafik Kecepatan Mobil Medan Menurun Sudut 7° (a) Tanpa Beban, (b) Beban 15kg, (c) Beban 27kg, (d) Beban 37kg

Berdasarkan hasil grafik kecepatan pada gambar 4.6 tersebut dapat dilihat dari hasil tersebut mobil listrik yang menggunakan sistem kontrol *fuzzy* PID dapat menahan kecepatan sesuai target yang diinginkan dan variasi beban yang digunakan. Dengan hasil medan menurun terdapat lonjakan awal pada pergerakan akibat dari dorongan gaya gravitasi pada kemiringan sudut 7 derajat yang dapat mempercepat laju dari mobil. Pada hasil grafik percobaan jalan menurun 7 derajat dengan kecepatan yang berbeda memiliki waktu yang berbeda dengan medan panjang 4m, disebabkan karena perbedaan kecepatan juga yang membuat hasil dari waktu yang ditempuh dari awal hingga akhir berbeda pada kecepatan 0,34m/s memiliki waktu tempuh lebih lama daripada kecepatan yang lain yaitu 0,45m/s dan 0,57m/s.

Dari hasil grafik percobaan jalan menurun 7 derajat terlihat bahwa memiliki *overshoot* yang tinggi terutama pada kecepatan tinggi 0,57m/s yang memiliki hasil nilai *overshoot* tinggi daripada pada kecepatan 0,34m/s atau 0,45m/s. Hal tersebut

dapat diakibatkan oleh kemiringan yang termasuk tinggi dengan 7 derajat dan menggunakan kecepatan yang tinggi juga 0,57m/s, jadi dapat menyebabkan *overshoot* yang terlalu tinggi sehingga memerlukan respon yang cepat juga agar dapat menstabilkan kecepatan tersebut. Tetapi dikarenakan membutuhkan waktu untuk menstabilkan kecepatan mobil dengan medan hanya 4 meter jadi hasil dari kecepatan tinggi 0,57m/s masih belum maksimal dalam merespon kecepatan tersebut, hal tersebut mempengaruhi hasil dari *settling time* yang dimana ada beban pada mobil nilai *settling time* tidak ada (masih belum mencapai) karena pendeknya medan tersebut yang tidak ada kecepatan yang stabil pada target. Namun pada kecepatan 0,34m/s dan 0,45m/s masih dapat menstabilkan kecepatan tersebut karena parameter PID yang tidak membutuhkan terlalu besar dalam menstabilkan kecepatan tersebut, sehingga memiliki *settling time* yang lebih cepat terutama pada kecepatan 0,45m/s meskipun pada lonjakan awal tetap ada *overshoot* yang terjadi. Hal tersebut juga dapat dipengaruhi oleh beban yang digunakan, dengan dimana pada beban berat 37kg itu memiliki *rise time* dan *overshoot* yang lebih lama juga daripada beban 15kg dan 27kg maupun tidak ada beban. Hal ini dapat disebabkan karena adanya massa yang berat serta medan yang menurun menyebabkan respon *fuzzy* PID yang memerlukan penyesuaian yang lebih dinamis untuk menstabilkan kecepatan tersebut. Selanjutnya pada *steady state error* memiliki nilai yang bagus dengan kecepatan mobil yang tidak terlalu jauh dengan target kecepatan tersebut, namun pada kecepatan 0,57m/s dengan beban 27kg dan 37kg memiliki nilai *steady state error* yang besar atau tidak bisa dikatakan tidak ada nilai karena kecepatan mobil yang masih belum sesuai dengan target kecepatan dikarenakan medan 4m yang pendek sehingga tidak memiliki nilai *steady state error*.

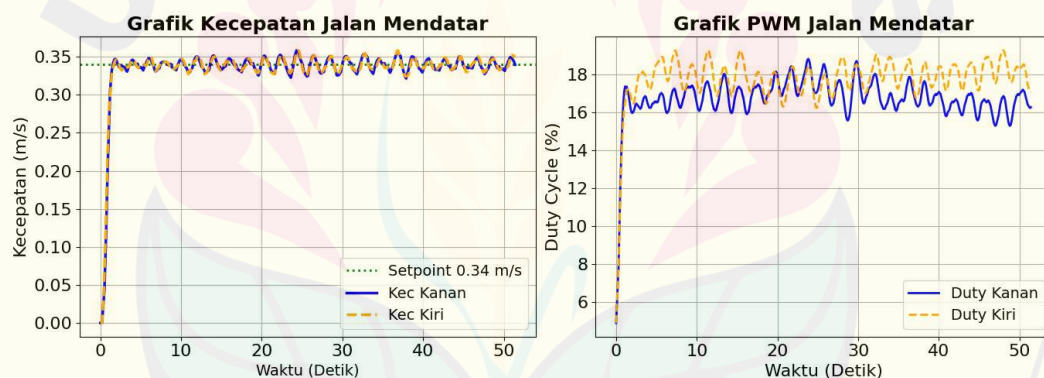
Pada hasil kecepatan pada medan menurun dengan sudut 7 derajat dengan sistem kontrol *fuzzy* PID mampu berusaha menjaga agar kecepatan sesuai dengan target namun dikarenakan adanya medan yang pendek 4 meter sehingga memerlukan waktu juga menyesuaikan kecepatan tersebut. Namun pada kecepatan 0,34m/s dan 0,45m/s memiliki hasil kecepatan baik dalam menyesuaikan kecepatan target. Dengan variasi beban juga dapat mempengaruhi dari hasil pada kecepatan dengan *rise time*, *overshoot*, dan *settling time* yang dihasilkan Hal ini dapat

menunjukkan bahwa kontrol *fuzzy* PID dapat mampu menjaga kecepatan mobil dalam medan turunan dengan sudut 7 derajat.

4.6 Analisis Korelasi Kecepatan terhadap Sinyal PWM Motor

Berdasarkan hasil pengujian kecepatan sebelumnya, pada kecepatan dan PWM (*Pulse Width Modulation*) memiliki hubungan yang searah karena peningkatan pada PWM dapat juga berpengaruh pada kecepatan yang terbaca. Hal ini dimana PWM yang semakin besar yang dikirim ke motor dapat menyebabkan menghasilkan torsi dan kecepatan yang lebih besar juga. Namun hal ini juga dapat dipengaruhi oleh kontrol *fuzzy* PID yang secara otomatis untuk menurunkan atau menaikkan PWM agar dapat pada stabil pada medan berelevasi maupun beban yang digunakan juga supaya mendapat hasil kecepatan yang stabil sesuai target yang ingin dicapai.

4.6.1 Percobaan Jalan Mendatar

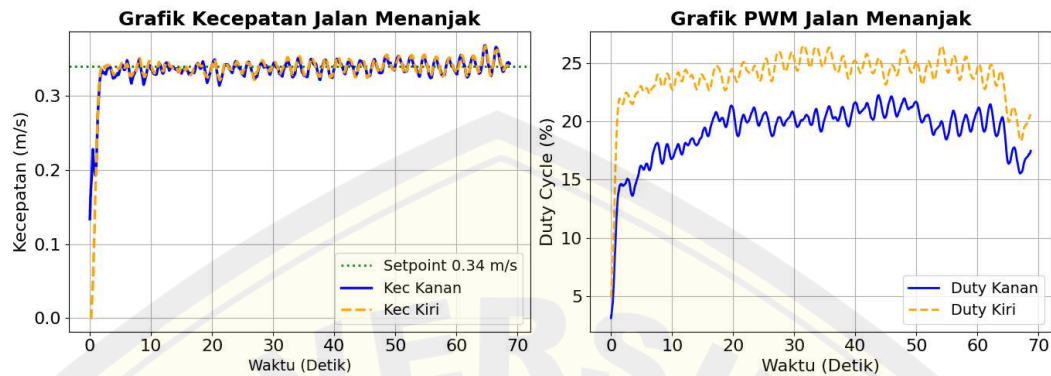


Gambar 4.7 Grafik PWM Motor Kanan dan Kiri Saat Jalan Mendatar

Dari Gambar 4.7 dapat diamati bahwa terdapat keterkaitan antara kecepatan motor kanan dan kiri dengan nilai PWM yang dihasilkan saat mobil listrik bergerak. Grafik menunjukkan bahwa pola kecepatan dan PWM memiliki kecenderungan yang searah, di mana peningkatan nilai PWM akan diikuti oleh peningkatan kecepatan, dan sebaliknya. Selain itu, terlihat pula bahwa kurva PWM mengalami naik-turun secara dinamis, yang merupakan bentuk penyesuaian sistem kontrol untuk mempertahankan kecepatan sesuai target. Perubahan nilai PWM tersebut merupakan hasil dari proses koreksi otomatis oleh kontrol *fuzzy* PID berdasarkan *error* dan *delta error* yang terjadi. Pola serupa antara grafik PWM dan kecepatan

ini menandakan bahwa sistem kontrol bekerja secara konsisten dan responsif dalam menyesuaikan kecepatan mobil.

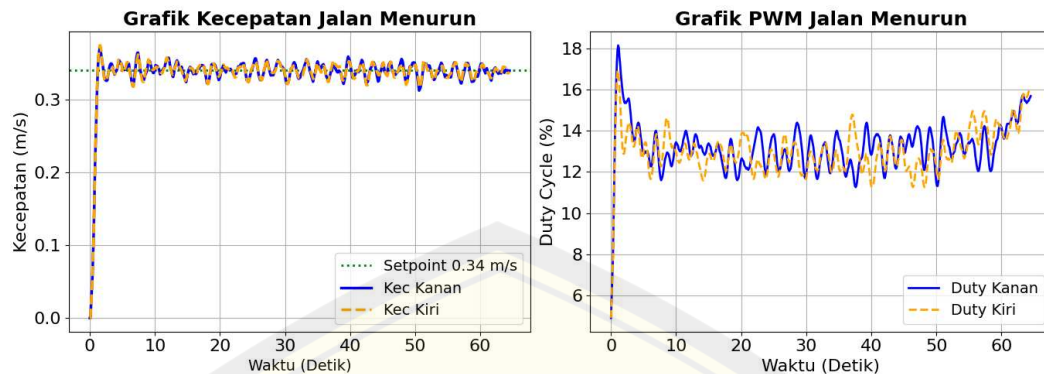
4.6.2 Percobaan Jalan Menanjak



Gambar 4.8 Grafik PWM Motor Kanan dan Kiri Saat Jalan Menanjak

Dari Gambar 4.8 yang menunjukkan kondisi pengujian pada medan menanjak, terlihat adanya keterkaitan antara nilai PWM dan hasil kecepatan mobil listrik. Dapat dilihat bahwa grafik PWM tersebut yang semakin naik perlahan dari awal untuk menyesuaikan kecepatan yang ditargetkan. Sekitar pada detik-30 nilai PWM mulai mengalami fluktuasi naik-turun secara dinamis sebagai bentuk respon dari sistem kontrol *fuzzy* PID dalam menstabilkan kecepatan kendaraan. Selain itu, terdapat perbedaan pada nilai PWM kanan dan kiri memiliki perbedaan yang cukup signifikan namun, terlihat bahwa nilai PWM yang diberikan ke motor kiri cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan motor kanan. Hal ini terjadi bisa terjadi karena adanya hambatan antara sisi kanan dan kiri kendaraan. Bisa jadi karena distribusi berat yang tidak merata, perbedaan gesekan roda dengan permukaan jalan. Hal ini merupakan perbedaan karakteristik motor yang membuat nilai PWM antara motor kanan dan kiri berbeda. Meskipun demikian pada hasil kecepatan kanan dan kiri memiliki nilai yang mendekati target kecepatan yang diinginkan.

4.6.3 Percobaan Jalan Menurun

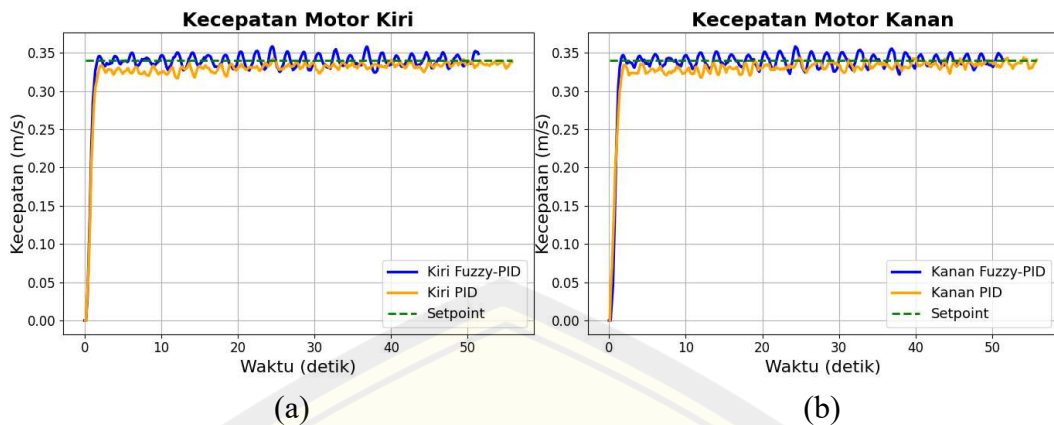


Gambar 4.9 Grafik PWM Motor Kanan dan Kiri Saat Jalan Menurun

Dari gambar 4.9 dengan kondisi pada medan menurun, adanya keterkaitan antara nilai PWM dengan hasil kecepatan mobil listrik. Dengan lintasan menurun memberikan mobil untuk berjalan lebih mudah sehingga pada awal pergerakan relatif besar yang sejalan dengan lonjakan awal pada grafik kecepatan. Namun, mulai sekitar detik ke-10 hingga detik ke-15 nilai PWM mulai mengalami naik – turun secara dinamis dengan sebagai respon dari kontrol *fuzzy* PID untuk menyesuaikan target. Pada grafik tersebut juga memiliki nilai yang tergolong lebih kecil saat mendatar dan menanjak, bisa dikarenakan adanya gaya gravitasi yang menyebabkan terdapat dorongan pada mobil, tetapi pada kecepatan tersebut bisa dikendalikan oleh kontrol *fuzzy* PID.

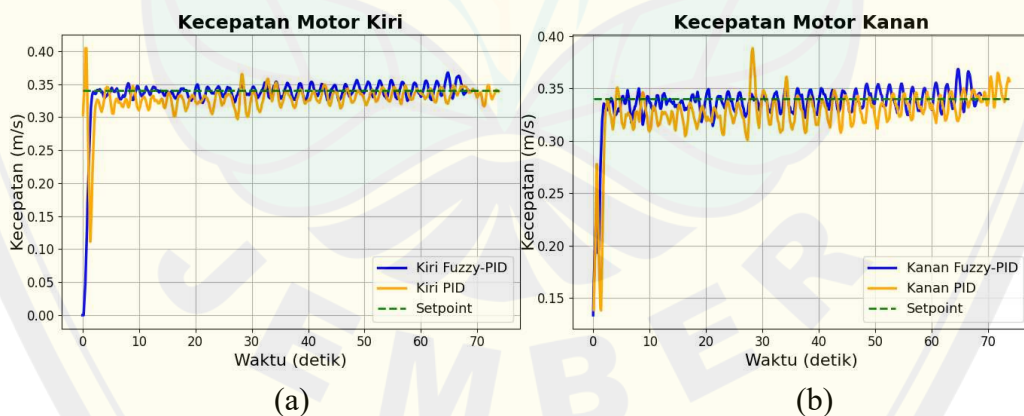
4.7 Perbandingan Hasil dari Metode PID dengan Metode *Fuzzy* PID

Pada pengujian dengan membandingkan penggunaan metode PID konvensional dengan metode *fuzzy* PID pada mobil listrik. Pengujian ini berguna untuk mengetahui penggunaan *fuzzy* dalam meningkatkan stabilitas terutama dalam kondisi jalan yang berelevasi seperti pada jalan tanjakan dan turunan.



Gambar 4.10 Grafik Kecepatan Jalan Mendatar Perbandingan Metode PID dengan Metode *Fuzzy* PID (a) Motor Kiri (b) Motor Kanan

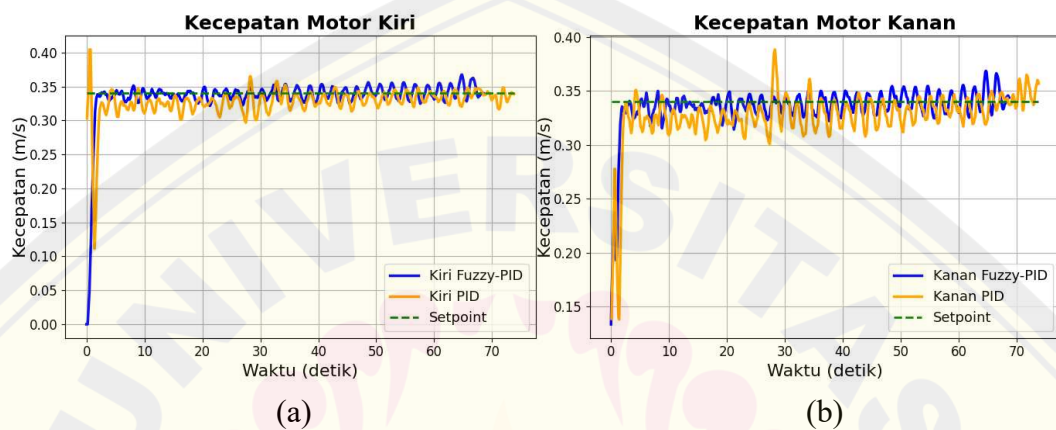
Berdasarkan dari hasil grafik dengan jalan mendatar pada gambar 4.10 bahwa terdapat perbedaan pada hasil kecepatan tersebut. Dengan hasil pid yang memiliki fluktuasi dan perbedaan pada hasil motor kanan dan kiri. Sebaliknya pada metode *fuzzy* PID yang memiliki nilai lebih stabil dan simetris pada kedua motor tersebut. Dari hasil respon pada metode PID memiliki *settling time* yang lebih lambat daripada pada saat menggunakan metode *fuzzy* PID. Dari hasil tersebut bahwa menggunakan metode *fuzzy* PID mampu menyesuaikan parameter secara dinamis dan adaptif yang dapat memberikan performa yang lebih optimal dibandingkan PID konvensional.



Gambar 4.11 Grafik Kecepatan Jalan Menanjak Perbandingan Metode PID dengan Metode *Fuzzy* PID (a) Motor Kiri (b) Motor Kanan

Berdasarkan dari hasil grafik jalan menanjak pada gambar 4.11 bahwa pada hasil kecepatan yang diperoleh memiliki hasil yang berbeda. Dengan yang menggunakan metode PID memiliki nilai *settling time* yang lebih lambat daripada

saat menggunakan metode *fuzzy* PID serta memiliki nilai *steady state error* yang lebih besar saat menggunakan metode PID. Hal ini bisa dikarenakan metode *fuzzy* PID dapat menyesuaikan parameter K_p , K_i , dan K_d secara adaptif terhadap kondisi jalan yang menanjak sehingga dapat menghasilkan respons yang lebih cepat dan stabil. Dengan demikian pada metode *fuzzy* PID memberikan performa yang lebih optimal dibandingkan dengan PID konvensional dalam medan jalan menanjak.



Gambar 4.12 Grafik Kecepatan Jalan Menurun Perbandingan Metode PID dengan Metode *Fuzzy* PID (a) Motor Kiri (b) Motor Kanan

Berdasarkan dari hasil grafik jalan menurun pada gambar 4.12 dengan metode *fuzzy* PID menunjukkan kinerja yang lebih stabil dan presisi dibandingkan dengan metode PID konvensional. Hal tersebut pada *steady state error* yang dihasilkan memiliki cenderung lebih kecil daripada saat menggunakan metode PID. Namun pada respon PID yang lain bahwa pada *settling time* yang memiliki nilai yang lambat daripada menggunakan metode *fuzzy* PID. Dengan kata lain, penggunaan metode *fuzzy* PID dapat menghasilkan kestabilan yang menjadikannya cocok pada medan jalan turunan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan dari pengujian pada sistem kontrol *fuzzy* PID yang dikembangkan dengan menggabungkan metode pengendali PID dan logika *fuzzy*, di mana parameter K_p , K_i , dan K_d disesuaikan secara adaptif berdasarkan nilai *error* dan *delta error* kecepatan kendaraan. Sistem ini kemudian mengatur nilai PWM motor secara otomatis saat mendeteksi perubahan medan jalan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada medan tanjakan, PWM meningkat secara adaptif agar kecepatan tetap stabil dengan saat kecepatan 0,34m/s memiliki PWM yang meningkat yaitu sekitar 15% hingga 25% *duty cycle* yang digunakan supaya dapat stabil kecepatan yang sesuai dengan target kecepatan. Hal ini juga pada medan yang menurun dimana menggunakan target kecepatan 0,34m/s dengan PWM pada awal yaitu sekitar 16% hingga 18 *duty cycle* namun setelahnya akan turun yang menyesuaikan kecepatan target dengan PWM 12% hingga 15% *duty cycle* pada saat medan elevasi turunan. Hal tersebut bahwa sistem terbukti mampu menjaga kecepatan tetap mendekati target dengan PWM yang digunakan sebagai penggerak motor supaya kecepatan mobil roda kanan maupun roda kiri dapat sesuai dengan target kecepatan yang digunakan.
2. Berdasarkan hasil pengujian dengan variasi beban dan sudut kemiringan yang berbeda, dapat disimpulkan bahwa keduanya berpengaruh terhadap kecepatan mobil listrik. Beban pengguna yang semakin besar menyebabkan respon PID juga menjadi lebih tinggi dengan contoh pada kecepatan yang sama yaitu 0,34m/s pada saat menanjak sudut 4 derajat dengan tanpa beban memiliki *risetime* 1,00 detik, *overshoot* 0,37%, *settling time* 10,28 detik yang dibandingkan pada saat beban 37kg memiliki *risetime* 1,25 detik, *overshoot* 10,09%, *settling time* 24.90 detik hal ini dikarenakan massa tambahan mengharuskan motor bekerja lebih keras untuk mencapai kecepatan target. Selain itu, pada pengujian dengan kemiringan jalan sebesar 4 derajat dan 7 derajat, diperoleh hasil yang menunjukkan perbedaan pada karakteristik

respons sistem. Pada kemiringan 4 derajat respon PID yang dihasilkan pada kecepatan 0,34m/s tanpa beban *risetime* 1,00 detik, *overshoot* 0,37%, *settling time* 10,28 detik jika dibandingkan dengan pada saat sudut 7 derajat dengan respon PID yang dihasilkan memiliki *risetime* 1,08 detik, *overshoot* 12,83%, *settling time* 10,09 detik hal ini menunjukkan bahwa pada perbedaan sudut yang digunakan juga dapat memiliki hasil yang berbeda juga dengan *overshoot* yang dihasilkan itu lebih besar pada kemiringan 7 derajat.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran sebagai bahan pertimbangan untuk pengembangan dan penyempurnaan penelitian selanjutnya:

1. Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mengganti sensor proximity menjadi sensor rotary encoder supaya dapat lebih presisi lagi pada pengukuran kecepatan.
2. Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan beberapa sensor deteksi kemiringan untuk meningkatkan deteksi jalan yang berelevasi secara lebih presisi.
3. Mengganti motor dc tipe *power steering* supaya *steering* mobil dapat diatur dan tetap berapa pada jalurnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alghi, S., Sholeh, A., & Hidayat, R. (2024). Implementasi Logika Fuzzy Pada Prediksi Kecepatan di Jalan Tanjakan. *EDUSAINTEK: Jurnal Pendidikan, Sains Dan Teknologi*, 11(4), 2299–2312. <https://doi.org/10.47668/edusaintek.v11i4.754>
- Ali, S., Farkhan, A., & Muqoffa, M. (2019). Redesain Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Banyumas Berdasarkan Pedoman Perancangan Rumah Sakit Peraturan Kementerian Kesehatan. *Jurnal Ilmiah Arsitektur Dan Lingkungan Binaan*, 17(2), 159. <https://doi.org/10.20961/arst.v17i2.23884>
- Aminah, W., Dalimunthe, R. A., & Aulia, R. (2022). Rancang Bangun Sistem Pengisi Baterai Mobil Listrik Berbasis Arduino Uno. *JUTSI (Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi)*, 2(2), 103–112. <https://doi.org/10.33330/jutsi.v2i2.1692>
- Angeti, J., Kadalla, A. S., Dubukumah, G., & Zirata, B. K. (2019). Speed Control of BLDC Motor using Fuzzy: Tuned PID Controller. *Communications on Applied Electronics (CAE)*, 7(29). www.caeaccess.org
- Arduino S.r.l. (n.d.). *Arduino Mega 2560 Rev3*. Arduino. Retrieved July 29, 2025, from <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>.
- Dihuma, M., Arniyanti, A., & Sanghati, S. (2023). Penerapan Terapi Bermain Mewarnai dengan Kecemasan Anak Usia Pra Sekolah. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Sandi Husada*, 12(1), 40–46. <https://doi.org/10.35816/jiskh.v12i1.862>
- Efendi, D. Y. (2024). Implementasi Algoritma Yolo untuk Sistem Kemudi Semi Autonomous pada Transportasi Mobil Listrik Pasien Anak. *Universitas Jember*.
- HudatiI, imroatul, Aji, A. P., & Nurrahma, S. (2021). Kendali Posisi Motor DC dengan Menggunakan PID. *Jurnal Listrik, Instrumentasi Dan Elektronika Terapan*, 2(2), 25–29.

- Jin, L., Zhang, R., Tang, B., & Guo, H. (2020). A Fuzzy-PID scheme for low speed control of a vehicle while going on a downhill road. *Energies*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/en13112795>
- Purwansyah, H. (2021). Komparasi Pengukuran Kecepatan Putar Motor Dc dengan menggunakan Sensor Proximity LJ12A3-4-Z/BY Dan Sensor Hall Effect KY-024. *Universitas Diponegoro*.
- Rahmat, M. (2024). Implementasi ADAS Untuk Pengaman Transportasi Mobil Listrik Pasien Anak Berbasis Logika Fuzzy. *Universitas Jember*.
- Ramadan, A., Rusdinar, A., & Rosa, M. R. (2022). Perancangan Kendali Kecepatan Mobil Listrik Dengan Metode Pid Berbasis Remot Kontrol. *E-Proceeding of Engineering*, 9(2), 152–161.
- Rindengan, A. J., & Langi, Y. A. (2019). Sistem Fuzzy. *Bandung: CV. Patra Media Grafindo*.
- Salsabila, P., Anggraini, I. R., Alifatin, A., & Aini, N. (2022). Play Therapy to Reduce Anxiety in Children During Hospitalization: A Literature Review. *The International Conference of Medicine and Health (ICMEDH)*, 2022, 765–773. <https://doi.org/10.18502/kme.v2i3.11932>
- Sutedjo, Putih, B. P. P., Qudsi, A. O., & Mahaendra, L. S. (2022). Alat Penstabil Kecepatan Motor BLDC Menggunakan Kontrol PID. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 22(2), 134–140. <https://doi.org/10.23917/emitor.v22i2.19384>
- Wardana, A. K. S., Limpraptono, F. Y., & Labib, R. P. M. (2024). Perancangan PWM Voltage Controller sebagai Pengatur Kecepatan Motor DC Shunt Mobil Listrik. *Magnetika*, 7(2).

LAMPIRAN



<https://drive.google.com/drive/folders/1w2GTEJMZD2YRAuUea4PMe0RqDxRAK8rb?usp=sharing>

NB: Menggunakan akun UNEJ