

Prototipe Sistem Auto Brake Pada Mobil Rc Menggunakan Sensor Ultrasonic Dan Metode Fuzzy

Ebby Dimiyan Enoko
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
ebbydimiyan@student.telkomuniversity.ac.id

Basuki Rahmat
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia
basukir@telkomuniversity.ac.id

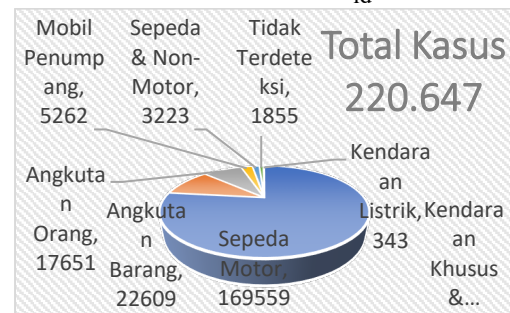
Erwin Susanto
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia
erwinelektro@telkomuniversity.ac.id

Abstrak - Keselamatan dalam berkendara merupakan aspek krusial, terutama saat menghadapi tantangan mendadak yang menyebabkan potensi kecelakaan. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem pengereman otomatis (*autobrake*) pada mobil *Remote Control* (RC) dengan memanfaatkan sensor ultrasonik dan logika fuzzy. Sistem ini dikembangkan untuk mendeteksi objek di depan kendaraan dan secara otomatis mengaktifkan pengereman berdasarkan kombinasi antara jarak dan kecepatan kendaraan. Komponen utama yang digunakan meliputi sensor HC-SR04 untuk pengukuran jarak serta rotary encoder sebagai pengukur kecepatan. Logika fuzzy diterapkan dengan dua variabel input jarak dan kecepatan dan satu output berupa tingkat pengereman, masing-masing menggunakan lima fungsi keanggotaan berbasis trapesium. Penelitian ini meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian kinerja sistem terhadap berbagai skenario kecepatan dan jarak objek. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu merespons secara adaptif terhadap perubahan kondisi, dengan memberikan sinyal pengereman yang proporsional dan waktu yang tepat. Sistem ini berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai prototipe dasar dalam penerapan teknologi keselamatan aktif pada kendaraan pintar di masa depan.

Kata kunci: sensor ultrasonik, *autobrake*, fuzzy logic, kendaraan RC, Arduino

I. PENDAHULUAN

Angka kecelakaan lalu lintas di Indonesia menjadi isu serius yang memerlukan perhatian. Berdasarkan data Korps Lalu Lintas (Korlantas) Polri melalui Integrated Road Safety Management System (IRSMS), sepanjang Januari hingga Oktober 2024 tercatat 220.647 kasus kecelakaan lalu lintas, dengan 22.970 di antaranya mengakibatkan korban jiwa [1]. Kasus kecelakaan dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



GAMBAR 1
kasus Kecelakaan periode januari-Oktober

Data ini menunjukkan besarnya risiko yang dihadapi pengguna jalan. Salah satu tantangan utama bagi pengendara adalah potensi kecelakaan saat melaju dengan kecepatan tinggi, terutama di jalan yang padat. Hal ini dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya kecelakaan jika pengemudi gagal merespons secara cepat dan mengambil keputusan yang sesuai dengan situasi.

Kemajuan teknologi kendaraan menuntut adanya peningkatan sistem keselamatan. Salah satu tantangan signifikan adalah ketidakmampuan pengemudi untuk merespons hambatan secara cepat, terutama pada kecepatan tinggi. Dalam konteks kendaraan kecil seperti mobil RC, hal ini menjadi representasi miniatur dari sistem keselamatan yang dapat diterapkan pada skala lebih besar. Penerapan sistem pengereman otomatis menjadi solusi potensial untuk merespons hambatan secara real-time.

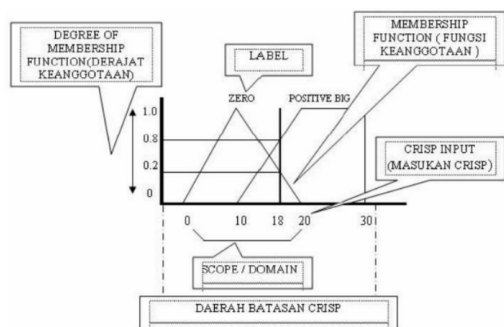
Penelitian ini memanfaatkan sensor ultrasonik sebagai detektor hambatan, serta logika fuzzy sebagai pengolah data untuk menghasilkan tingkat pengereman sesuai kondisi. Berbeda dari penelitian terdahulu yang menggunakan jumlah membership function terbatas, penelitian ini mengimplementasikan lima *membership function* untuk *input* kecepatan, jarak, dan *output* pengereman guna meningkatkan presisi dan adaptivitas sistem. Tujuan utama penelitian ini adalah membangun sistem *autobrake* yang

responsif, adaptif, dan dapat diimplementasikan pada kendaraan RC sebagai model awal.

II. KAJIAN TEORI

A. Teori Sistem Kontrol Fuzzy

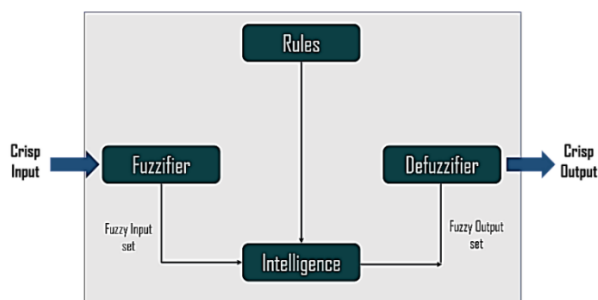
Sistem kontrol fuzzy adalah metode pengendalian yang menggunakan logika fuzzy, yang merupakan teknik pemrosesan informasi yang mengelola data dengan memanfaatkan nilai derajat kepastian dalam rentang 0 hingga 1 [2]. Konsep logika fuzzy ini pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965, Lotfi Asker Zadeh adalah seorang ilmuwan Amerika Serikat berkebangsaan Iran dari Universitas California di Berkeley [3], Logika fuzzy berasal dari konsep himpunan fuzzy, yang merupakan pengembangan teori himpunan klasik. Dalam sistem kontrol fuzzy, setiap variabel memiliki derajat kedalaman yang menunjukkan sejauh mana nilai tersebut termasuk dalam suatu kategori. Sistem ini banyak diterapkan pada bidang yang memerlukan respon otomatis terhadap variabel yang tidak pasti atau tidak linier. Konsep dasar logika fuzzy dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.



GAMBAR 2

Konsep Dasar Logika Fuzzy [4]

Dalam sistem kontrol fuzzy, terdapat 4 bagian utama seperti pada Gambar 3 di bawah ini:



GAMBAR 3

Arsitektur Logika fuzzy [5]

- **Aturan** : sistem ini bekerja berdasarkan aturan sederhana “IF-THEN” atau “JIKA-MAKA” yang menghubungkan kondisi tertentu dengan respon yang sesuai
- **Fuzzifikasi** : mengubah input crisp menjadi nilai fuzzy melalui fungsi keanggotaan.

- **Inference Engine** : Proses ini menyebabkan kesesuaian antara input fuzzy dan aturan, kemudian mengaktifkan aturan yang relevan untuk menghasilkan respons kontrol yang sesuai.
- **Defuzzification** : mengubah output fuzzy menjadi nilai crisp, misalnya menggunakan metode centroid

Logika fuzzy telah banyak digunakan dalam teori kontrol, teori keputusan, dan manajemen sains. Salah satu keunggulan logika fuzzy adalah kemampuannya melakukan penalaran berbasis bahasa, sehingga tidak memerlukan persamaan matematis kompleks untuk merancang objek yang akan dikendalikan. Salah satu contoh penerapan logika fuzzy dalam kehidupan sehari-hari adalah mesin cuci yang pertama kali dibuat di Jepang oleh Matsushita *Electric Industrial Company* pada tahun 1990 [6]. Dalam penelitian ini, logika fuzzy digunakan untuk mengatur intensitas pengereman mobil RC berdasarkan hambatan jarak. Hal ini memungkinkan mobil RC beroperasi dengan aman meskipun data jarak yang diterima tidak selalu konsisten.

B. Algoritma Pengontrolan Kendaraan

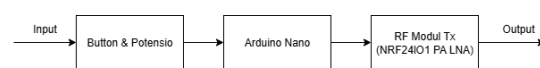
Algoritma kontrol berfungsi sebagai pusat pengambilan keputusan dalam sistem *autobreak* kendaraan otonom. Sistem ini memanfaatkan sensor untuk mendeteksi hambatan dan secara otomatis mengaktifkan pengereman guna mencegah atau mengurangi dampak tabrakan [7]. Pendekatan awal berdasarkan kontrol umpan balik seperti PID kemudian berkembang menggunakan logika fuzzy yang lebih adaptif terhadap kondisi dinamis.

Sistem *autobreak* kini banyak diterapkan sebagai fitur keselamatan aktif pada kendaraan modern, seperti AEB (*Automatic Emergency Braking*), yang mampu memperlambat kendaraan saat mendeteksi potensi tabrakan [8]. Dalam penelitian ini, algoritma *autobreak* diterapkan pada mobil RC dengan sensor ultrasonik untuk mendeteksi objek di depan dan mengatur pengereman secara otomatis.

III. METODE

A. Desain

Bagian ini membahas sistem pengereman mobil otomatis. Terdapat 2 diagram blok yaitu sistem transmitter dan sistem receiver.

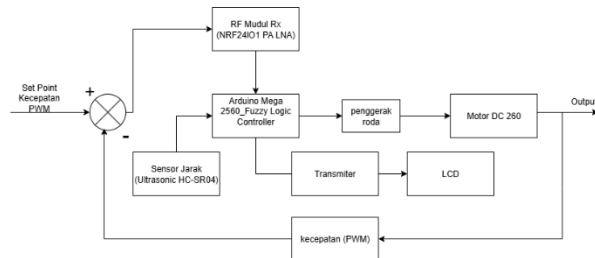


GAMBAR 4

Diagram Blok Sistem Transmitter

Pada Gambar 4 merupakan diagram blok yang menunjukkan alur kerja sistem transmitter pada alat ini. *Button & potensio* merupakan masukan data untuk kontrol arah roda ke arah kiri/kanan dan maju,

kemudian Arduino Nano merupakan komponen utama pada sistem ini yang berfungsi sebagai mikrokontroler yang mengendalikan sistem, dan Modul NRF24101 sebagai transmitter (pengirim) sinyal menuju receiver.



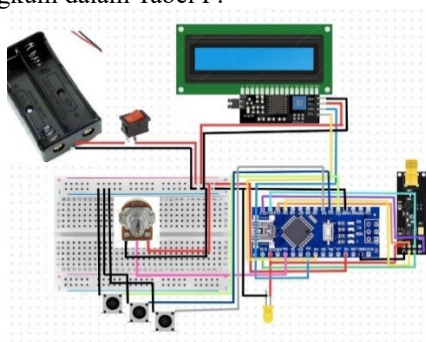
GAMBAR 5
Diagram Blok Sistem Receiver

Gambar 5 menunjukkan diagram blok prototipe *autobreak* pada mobil RC, yang menggambarkan alur kerja sistem penerima. Modul NRF24L01 menerima sinyal kendali dari pengontrol jarak jauh untuk menggerakkan roda depan melalui servo MG996R. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 memproses perintah tersebut serta data dari sensor ultrasonik yang digunakan untuk mendeteksi jarak terhadap hambatan di depan kendaraan.

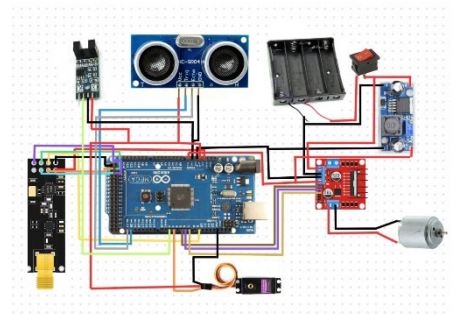
Data jarak kemudian diolah menggunakan logika fuzzy melalui tiga tahapan utama: fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi. Hasil dari proses ini menentukan intensitas pengereman yang dikirim ke motor DC sebagai aktuator rem. Informasi jarak dan kecepatan kendaraan ditampilkan secara real-time melalui LCD, sehingga sistem mampu mengurangi kecepatan atau berhenti secara otomatis saat hambatan terdeteksi.

B. Desain Perangkat Keras

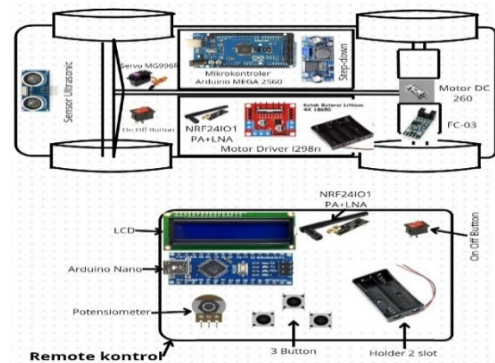
Perangkat yang digunakan dalam sistem ini adalah Arduino Nano, Modul NRF24101 Transmitter (pengirim) dan Receiver (penerima), 3 *Button*, potensio, Arduino mega 2560, Motor servo MG996r, Motor DC, *step-down*, ultrasonic HC-SR04, dan LCD. Perangkat-perangkat ini akan dirangkai sehingga menjadi sebuah alat yang dapat digunakan untuk sistem pengereman otomatis. Daftar keseluruhan komponen yang terpilih dirangkum dalam Tabel I.



GAMBAR 6
Wiring Rangkaian sistem Transmitter



GAMBAR 7
Wiring Rangkaian Sistem Receiver



GAMBAR 8
Desain Alat

Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan diagram rangkaian yang telah dirancang. Berbagai komponen dihubungkan sesuai pada skematik tersebut sehingga dapat berfungsi dengan baik dan berjalan secara keseluruhan. Desain alat dapat di lihat pada Gambar 8.

TABEL 1
Pemilihan Komponen

| N o | Unsur pembentuk sistem | Jenis komponen | Komponen terpilih |
|-----|------------------------|------------------------------------|--------------------|
| 1 | Detektor | Modul Jarak | Ultrasonik HC-SR04 |
| | | Modul Komunikasi nirkabel | NRF24L01 PA LNA |
| 2 | Aktuator | Servo | Servo S0017M |
| | | Serial Terminal | LCD 16 x 2 |
| | | Motor DC | Motor DC 260 |
| 3 | Mikrokontroler | Modul mikrokontroler (Receiver) | Arduino Mega 2560 |
| | | Modul mikrokontroler (Transmitter) | Arduino Nano |

A. Pengujian Sensor Jarak

Kalibrasi sensor ultrasonik HC-SR04 bertujuan untuk memancarkan tingkat akurasi pembacaan jarak oleh sensor terhadap jarak sebenarnya. Pengujian dilakukan dengan mengukur hasil pembacaan sensor dengan pengukuran aktual menggunakan alat ukur roll meter. Data pada Tabel II, menunjukkan nilai error sebesar 0,15. Hal ini menjadikan pengujian tidak perlu dilakukan lagi, dikarenakan nilai error yang sudah cukup dapat ditoleransi ketika melakukan pengukuran HC-SR04.

TABEL 2
Pengambilan Data HC-SR04

| No | Jarak Sesungguhnya (cm) | Waktu (μs) | Jarak yang dibaca HC-SR04 (cm) | Error Rate (%) |
|-------------------------------------|-------------------------|------------|--------------------------------|----------------|
| 1 | 5 | 331 | 5 | 0 |
| 2 | 10 | 637 | 10 | 0 |
| 3 | 15 | 943 | 16 | 6,66 |
| 4 | 20 | 1167 | 20 | 0 |
| 5 | 25 | 1435 | 24 | 4 |
| 6 | 30 | 1762 | 30 | 0 |
| 7 | 35 | 2021 | 34 | 2,85 |
| 8 | 40 | 2286 | 39 | 2,5 |
| 9 | 45 | 2678 | 45 | 0 |
| 10 | 50 | 2929 | 51 | 2 |
| Rata-Rata Error ((JS-JYD)/JYD)x100% | | | | 0,15 |

B. Pengujian Motor Servo

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sudut yang diperintahkan pada motor servo benar-benar tercapai secara akurat. Berdasarkan data pada Tabel III, dari 10 kali pengujian, sebanyak 8 di antaranya menunjukkan kesesuaian penuh antara nilai yang diprogram dengan derajat aktual yang dihasilkan oleh motor servo.

TABEL 3
Pengambilan Data Servo

| No | Derajat Pada Program | Derajat sesungguhnya | Hasil |
|----|----------------------|----------------------|---------------|
| 1 | 0 | 0 | Sesuai |
| 2 | 6 | 6 | Sesuai |
| 3 | 12 | 12 | Sesuai |
| 4 | 19 | 20 | Kurang Sesuai |
| 5 | 24 | 24 | Sesuai |
| 6 | 30 | 30 | Sesuai |
| 7 | 37 | 38 | Kurang Sesuai |
| 8 | 42 | 42 | Sesuai |
| 9 | 45 | 45 | Sesuai |
| 10 | 54 | 54 | Sesuai |

C. Pengujian NRF24I01 PA+LNA

Pengujian kalibrasi NRF24L01 PA+LNA menunjukkan bahwa rata-rata delay mengalami peningkatan seiring bertambahnya jarak. Pada jarak 1 meter, rata-rata delay hanya sekitar 0,90 ms. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengiriman dan penerima data berlangsung sangat cepat dan efisien begitu juga dengan jarak 2 meter, rata-rata delay hanya sekitar 1,12 ms. Ketika jarak mulai bertambah, delay memang mengalami sedikit peningkatan, namun tetap tergolong stabil dan masih dalam batas wajar. pada jarak 3-5 meter, transmisi mulai menurun ditandai dengan adanya packet loss. Secara keseluruhan dari 15 pengambilan data hanya 11 yang berhasil dan 4 gagal. Dengan demikian, modul NRF24L01 PA+LNA optimal digunakan pada jarak 1-2 meter, sementara pada jarak menengah hingga jauh komunikasi berkurang.

TABEL 4
Pengambilan Data NRF24I01 PA+LNA

| No. | Jarak Meter | TX | RX | Delay (ms) | Status |
|-----|-------------|---------|---------|------------|----------|
| 1 | 1 M | 1007.80 | 1008.60 | 0.85 | Berhasil |
| 2 | | 1196.40 | 1197.20 | 0.90 | Berhasil |
| 3 | | 1410.30 | 1411.10 | 0.95 | Berhasil |
| 4 | 2 M | 1289.10 | 1290.00 | 1.05 | Berhasil |
| 5 | | 1506.80 | 1507.70 | 1.10 | Berhasil |
| 6 | | 1168.50 | 1169.40 | 1.20 | Berhasil |
| 7 | 3 M | 1371.20 | 1372.60 | 1.40 | Berhasil |
| 8 | | 1586.70 | 1588.10 | 1.55 | Berhasil |
| 9 | | 1670.20 | - | - | Gagal |
| 10 | 4 M | 1234.90 | 1236.40 | 1.85 | Berhasil |
| 11 | | 1459.50 | 1461.00 | 1.95 | Berhasil |
| 12 | | 1091.10 | - | - | Gagal |
| 13 | 5 M | 1607.80 | - | - | Gagal |
| 14 | | 1616.20 | - | - | Gagal |
| 15 | | 1623.50 | 1625.80 | 2.45 | Berhasil |

D. Pengujian FC-03 RPM

Pada pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa kecepatan sensor (seperti rotary encoder, dan tachometer) memberikan data yang akurat dan konsisten. Data Tabel V menunjukkan tingkat error pada sensor FC-03 menunjukkan variasi nilai, dengan error tertinggi sebesar 2,5% pada pengukuran ke-2 dan error terendah sebesar 1,7% pada beberapa pengukuran. Hal ini menunjukkan bahwa sensor FC-03 dapat memberikan hasil yang cukup akurat dan stabil.

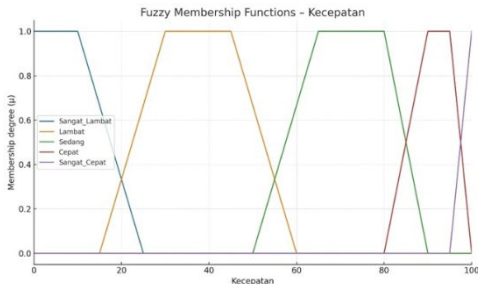
TABEL 5
Pengambilan Data RPM

| No | PPR (pulsa Per Rotasi) | RPM dari Sensor | RPM dari tachometer | Selisih (%) |
|----|------------------------|-----------------|---------------------|-------------|
| 1 | 20 | 135 | 132 | 2.3 |
| 2 | 20 | 123 | 120 | 2.5 |
| 3 | 20 | 153 | 150 | 2.0 |
| 4 | 20 | 147 | 144 | 2.1 |
| 5 | 20 | 162 | 166 | 2.4 |

| | | | | |
|----|----|-----|-----|-----|
| 6 | 20 | 147 | 144 | 2.1 |
| 7 | 20 | 159 | 162 | 1.9 |
| 8 | 20 | 177 | 174 | 1.7 |
| 9 | 20 | 183 | 180 | 1.7 |
| 10 | 20 | 177 | 180 | 1.7 |

E. Simulasi Logika Fuzzy Menggunakan Matlab

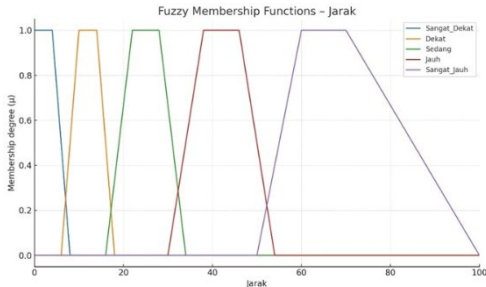
Sistem kontrol logika fuzzy ini memiliki dua input, yaitu kecepatan dari *prototype* dan jarak dengan hambatan di depannya. Sementara itu, keluaran dari sistem ini adalah tingkat pengereman pada mobil RC. Setiap input dalam logika fuzzy memiliki fungsi keanggotaan (*membership function*) yang direpresentasikan dalam bentuk kurva trapesium. Dengan 5 nilai keanggotaan (*membership function*) pada masukan kecepatan seperti sangat lambat, lambat, sedang, cepat, sangat cepat pada masukan jarak berupa sangat dekat, dekat, sedang, jauh, sangat jauh dan 5 nilai keanggotaan (*membership function*) keluaran berupa Rem sangat kecil, kecil, sedang, besar, dan sangat besar. Pada kecepatan dapat dilihat pada Gambar 11, pada nilai keanggotaan jarak dapat dilihat pada Gambar 12, dan nilai keanggotaan pengereman dapat dilihat pada Gambar 13. Rule yang digunakan terdapat 25 rule yang dapat di lihat pada Gambar 14.



GAMBAR 11
Membership Function Kecepatan

Input 1 Kecepatan

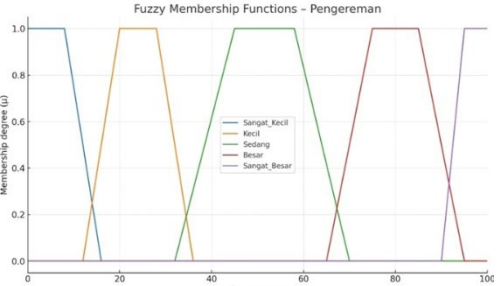
- Sangat_Lambat = [0 0 10 25]
- Lambat = [15 30 45 60]
- Sedang = [50 65 80 90]
- Cepat = [80 90 95 100]
- Sangat_Cepat = [95 100 100 100]



GAMBAR 12
Membership Function Jarak

Input 2 Jarak

- Sangat_Dekat = [0 0 4 8]
- Dekat = [6 10 14 18]
- Sedang = [16 22 28 34]
- Jauh = [30 38 46 54]
- Sangat_Jauh = [50 60 70 100]



GAMBAR 13
Membership Function Pengereman

Output Pengereman

- Sangat_Kecil = [0 0 8 16]
- Kecil = [12 20 28 36]
- Sedang = [32 45 58 70]
- Besar = [65 75 85 95]
- Sangat_Besar = [90 95 100 100]

| |
|--|
| 1. If (Kecepatan is Sangat_Cepat) and (Jarak is Sangat_Dekat) then (Pengereman is Sangat_Besar) (1) |
| 2. If (Kecepatan is Sangat_Cepat) and (Jarak is Dekat) then (Pengereman is Sangat_Besar) (1) |
| 3. If (Kecepatan is Sangat_Cepat) and (Jarak is Sedang) then (Pengereman is Besar) (1) |
| 4. If (Kecepatan is Sangat_Cepat) and (Jarak is Jauh) then (Pengereman is Sedang) (1) |
| 5. If (Kecepatan is Sangat_Cepat) and (Jarak is Sangat_Jauh) then (Pengereman is Sedang) (1) |
| 6. If (Kecepatan is Cepat) and (Jarak is Sangat_Dekat) then (Pengereman is Sangat_Besar) (1) |
| 7. If (Kecepatan is Cepat) and (Jarak is Dekat) then (Pengereman is Besar) (1) |
| 8. If (Kecepatan is Cepat) and (Jarak is Sedang) then (Pengereman is Sedang) (1) |
| 9. If (Kecepatan is Cepat) and (Jarak is Jauh) then (Pengereman is Kecil) (1) |
| 10. If (Kecepatan is Cepat) and (Jarak is Sangat_Jauh) then (Pengereman is Sangat_Kecil) (1) |
| 11. If (Kecepatan is Sedang) and (Jarak is Sangat_Dekat) then (Pengereman is Besar) (1) |
| 12. If (Kecepatan is Sedang) and (Jarak is Dekat) then (Pengereman is Sedang) (1) |
| 13. If (Kecepatan is Sedang) and (Jarak is Sedang) then (Pengereman is Sedang) (1) |
| 14. If (Kecepatan is Sedang) and (Jarak is Jauh) then (Pengereman is Kecil) (1) |
| 15. If (Kecepatan is Sedang) and (Jarak is Sangat_Jauh) then (Pengereman is Sangat_Kecil) (1) |
| 16. If (Kecepatan is Lambat) and (Jarak is Sangat_Dekat) then (Pengereman is Sedang) (1) |
| 17. If (Kecepatan is Lambat) and (Jarak is Dekat) then (Pengereman is Sedang) (1) |
| 18. If (Kecepatan is Lambat) and (Jarak is Sedang) then (Pengereman is Kecil) (1) |
| 19. If (Kecepatan is Lambat) and (Jarak is Jauh) then (Pengereman is Sangat_Kecil) (1) |
| 20. If (Kecepatan is Lambat) and (Jarak is Sangat_Jauh) then (Pengereman is Sangat_Kecil) (1) |
| 21. If (Kecepatan is Sangat_Lambat) and (Jarak is Sangat_Dekat) then (Pengereman is Kecil) (1) |
| 22. If (Kecepatan is Sangat_Lambat) and (Jarak is Dekat) then (Pengereman is Kecil) (1) |
| 23. If (Kecepatan is Sangat_Lambat) and (Jarak is Sedang) then (Pengereman is Sangat_Kecil) (1) |
| 24. If (Kecepatan is Sangat_Lambat) and (Jarak is Jauh) then (Pengereman is Sangat_Kecil) (1) |
| 25. If (Kecepatan is Sangat_Lambat) and (Jarak is Sangat_Jauh) then (Pengereman is Sangat_Kecil) (1) |

GAMBAR 14
Rule Fuzzy Logic

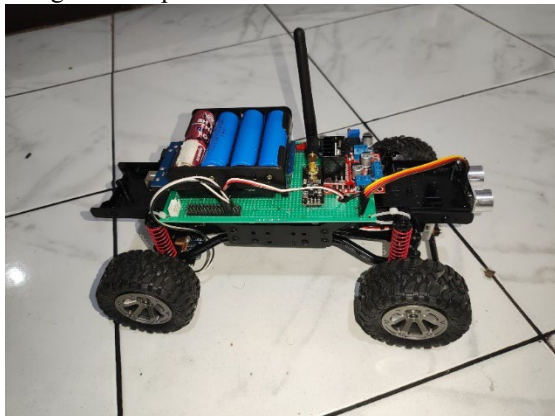
TABEL 6
Rule Fuzzy Logic

| n | kecepatan | Jarak | Pengerema |
|---|--------------|------------|------------|
| o | | | n |
| 1 | Sangat_Cepat | Sangat_Dek | Sangat_Bes |
| | | at | ar |
| 2 | Sangat_Cepat | Dekat | Sangat_Bes |
| | | | ar |
| 3 | Sangat_Cepat | Sedang | Besar |
| 4 | Sangat_Cepat | Jauh | Sedang |
| 5 | Sangat_Cepat | Sangat_Jau | Sedang |
| | | h | |
| 6 | Cepat | Sangat_Dek | Sangat_Bes |
| | | at | ar |
| 7 | Cepat | Dekat | Besar |
| 8 | Cepat | Sedang | Sedang |
| 9 | Cepat | Jauh | Kecil |
| 1 | Cepat | Sangat_Jau | Sangat_Kec |
| | | h | il |
| 1 | Sedang | Sangat_Dek | Besar |
| | | at | |
| 1 | Sedang | Dekat | Sedang |
| | | | |
| 2 | | | |

| | | | |
|--------|---------------|--------------|--------------|
| 1 3 | Sedang | Sedang | Sedang |
| 1 4 | Sedang | Jauh | Kecil |
| 1 5 | Sedang | Sangat_Jauh | Sangat_Kecil |
| 1 6 | Lambat | Sangat_Dekat | Sedang |
| 1 7 | Lambat | Dekat | Sedang |
| 1 8 | Lambat | Sedang | Kecil |
| 1 9 | Lambat | Jauh | Sangat_Kecil |
| 2 0 | Lambat | Sangat_Jauh | Sangat_Kecil |
| 2 1 | Sangat_Lambat | Sangat_Dekat | Kecil |
| 2 2 | Sangat_Lambat | Dekat | Kecil |
| 2 3 | Sangat_Lambat | Sedang | Sangat_Kecil |
| 2 4 | Sangat_Lambat | Jauh | Sangat_Kecil |
| 2 5 | Sangat_Lambat | Sangat_Jauh | Sangat_Kecil |

F. Integrasi sistem RX dan TX

Prototype pada Gambar 15 merupakan hasil dari integrasi sistem antara perangkat keras dan perangkat lunak, di mana sensor ultrasonik, *driver* motor L298N, modul komunikasi NRF24L01, dan mikrokontroler Arduino Mega 2560 bekerja bersama melalui algoritma logika fuzzy untuk mengatur kecepatan kendaraan secara otomatis.



GAMBAR 15
Integrasi Sistem RX

Pada program, proses pengereman kendaraan berbasis logika fuzzy dimulai dari penerimaan data kecepatan *set-point* (*dataReceived.pwm*) yang dikirim melalui modul NRF24L01 dan pembacaan jarak kendaraan (*distance*) menggunakan sensor ultrasonik yang diakses melalui library NewPing. Kedua nilai tersebut menjadi *input* fuzzy, yaitu *input* 1 (kecepatan) dan *input* 2 (jarak), yang didefinisikan

melalui fungsi *setupFuzzy()*. Di dalam fungsi ini, dibuat 5 *membership function* (*FuzzySet*) untuk masing-masing variabel *input* yaitu, input 1 (kecepatan) terdiri dari himpunan Sangat Lambat, Lambat, Sedang, Cepat, dan Sangat Cepat, sedangkan *input* 2 (jarak) terdiri dari Sangat Dekat, Dekat, Sedang, Jauh, dan Sangat Jauh, dan untuk *output* (pengereman) juga memiliki 5 *membership function* yaitu Sangat Kecil, Kecil, Sedang, Besar, dan Sangat Besar.

Hubungan antar-himpunan ini diatur dalam 25 aturan fuzzy (*fuzzy rules*) yang menggunakan metode *joinWithAND* sebagai operator logika. Contohnya, jika kecepatan cepat dan jarak dekat, maka *output*nya adalah rem besar. Aturan ini mengatur tingkat pengereman sesuai kondisi kecepatan dan jarak aktual. Saat program berjalan di fungsi *loop()*, nilai kecepatan dari *remote* dikonversi ke skala 0–100 menggunakan (*map(dataReceived.pwm, 0, 254, 0, 100)*), lalu dimasukkan ke input fuzzy bersama dengan nilai jarak dari sensor (*fuzzy->setInput(...)*). Proses *fuzzify()* kemudian menghitung derajat keanggotaan tiap *input* terhadap fungsi keanggotaan yang sudah didefinisikan, dan *defuzzify(1)* menghasilkan nilai *crisp* pengereman (*rem*) dengan rentang 0–100 sesuai hasil inferensi fuzzy.

Nilai pengereman ini kemudian dikonversi menjadi rem ke skala PWM (*map(rem, 100, 0, 254, 0)*), sehingga semakin besar nilai pengereman, semakin besar pula pengurangan PWM motor. Nilai hasil pemetaan (*pwmRemap*) dikurangkan dari PWM awal yang diterima dari *remote* (*dataReceived.pwm*) untuk mendapatkan *pwmGabungan*. Nilai ini selanjutnya dibatasi (*constrain*) agar tidak di bawah 0 atau melebihi 254. Jika hasilnya ≤ 0 , fungsi *stopMotor()* dijalankan untuk menghentikan kendaraan sepenuhnya. Jika lebih besar dari 0, fungsi *forwardMotor(pwmGabungan)* dijalankan untuk menggerakkan motor maju dengan PWM yang sudah dikurangi sesuai tingkat pengereman fuzzy.

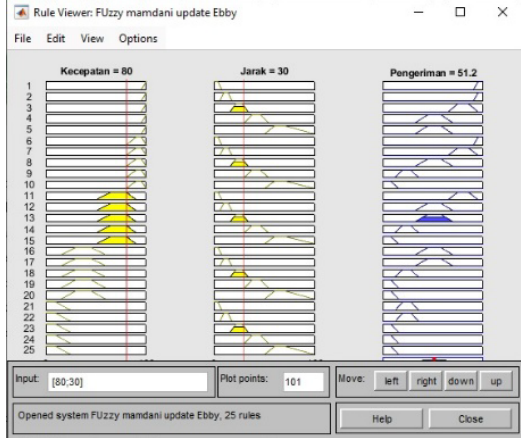
Dengan sistem ini, logika fuzzy tidak hanya menghitung berapa besar pengereman yang diperlukan, tetapi juga langsung mempengaruhi sinyal PWM yang masuk ke *driver* motor L298N. Hal ini memastikan bahwa semakin dekat jarak ke objek dan semakin tinggi kecepatan, maka sistem akan secara otomatis memberikan pengereman yang lebih besar, hingga menghentikan kendaraan jika jarak sudah sangat dekat, sehingga mencegah tabrakan. Proses ini menunjukkan bahwa integrasi antara perangkat keras, algoritma fuzzy logic, dan pengendalian motor berhasil membentuk sistem yang utuh, di mana setiap komponen saling mendukung untuk mencapai fungsi pengereman otomatis yang aman.



GAMBAR 16
Integrasi Sistem TX

Remote kontrol pada Gambar 16 ini berbasis Arduino Nano yang berfungsi sebagai pengirim sinyal kendali ke RX. TX dikendalikan oleh pengguna untuk mengatur arah dan kecepatan kendaraan. Arduino nano sebagai mikrokontroler, potensiometer berfungsi sebagai input manual dari pengguna untuk menentukan kecepatan yang diinginkan, NRF24I01 untuk mengirim data secara nirkabel ke RX, 3 *button* untuk mengendalikan arah ke kiri, kanan, dan mundur, LCD 16x2 untuk menampilkan status sistem atau nilai input.

G. Hasil Perbandingan Alat dan Matlab
Pengujian dilakukan untuk membandingkan hasil pengereman sistem fuzzy Mamdani yang diterapkan pada prototipe mobil RC dengan hasil keluaran dari sistem fuzzy pada MATLAB. Pengujian dilakukan sebanyak 20 kali dengan variasi kecepatan awal (dinyatakan dalam PWM), serta variasi jarak hambatan di depan kendaraan.



GAMBAR 17
Rule Viewer MATLAB

Berdasarkan hasil pengujian sistem logika fuzzy Mamdani yang ditampilkan melalui Rule Viewer MATLAB seperti pada Gambar 17. penulis memasukkan input kecepatan sebesar 80 % dengan jarak 30 cm, sistem menghasilkan output pengereman sebesar 51,2. Hasil ini sesuai dengan tampilan pada LCD Arduino yang menunjukkan nilai PWM sebesar 203 (sekitar 80%), jarak 30 cm, dan output pengereman sebesar 51 seperti pada Gambar 18 di bawah ini,



GAMBAR 18
Tampilan Hasil Pengujian TX

Hasil menunjukkan kesesuaian antara simulasi MATLAB dan implementasi aktual di mikrokontroler. Hal ini membuktikan bahwa sistem fuzzy yang diimplementasikan pada Arduino berhasil mereplikasi logika fuzzy yang telah dirancang di MATLAB secara akurat. Selain itu, berdasarkan Tabel VI di bawah ini.

TABEL 7
Perbandingan Alat dan Matlab

| No | Kece pata n Awal (PW M) | Kece pata n dala m % (Mat lab) | Jara k Ham bata n (cm) 5 | Penge rema n mobil | Penge rema n Matla b | Sel isi h |
|----|--|--|--|-----------------------------|----------------------------------|-----------------|
| 1 | 254 | 100 | 10 | 96 | 96.4 | 0.4 |
| 2 | 254 | 100 | 15 | 96 | 96.1 | 0.1 |
| 3 | 229 | 90 | 20 | 51 | 51.2 | 0.2 |
| 4 | 229 | 90 | 25 | 51 | 51.2 | 0.2 |
| 5 | 203 | 80 | 30 | 51 | 51.2 | 0.2 |
| 6 | 203 | 80 | 35 | 24 | 24 | 0 |
| 7 | 178 | 70 | 40 | 24 | 24 | 0 |
| 8 | 178 | 70 | 45 | 24 | 24 | 0 |
| 9 | 152 | 60 | 50 | 24 | 24 | 0 |
| 10 | 152 | 60 | 55 | 6 | 6.79 | 0.79 |
| 11 | 127 | 50 | 60 | 6 | 6.49 | 0.49 |
| 12 | 127 | 50 | 65 | 6 | 6.49 | 0.49 |
| 13 | 102 | 40 | 70 | 5 | 5.96 | 0.96 |
| 14 | 102 | 40 | 75 | 6 | 6.22 | 0.22 |
| 15 | 76 | 30 | 80 | 6 | 6.49 | 0.49 |
| 16 | 76 | 30 | 85 | 6 | 6.79 | 0.79 |
| 17 | 51 | 20 | 90 | 7 | 7.08 | 0.08 |
| 18 | 51 | 20 | 95 | 7 | 7.38 | 0.38 |
| 19 | 25 | 10 | 100 | 50 | 50 | 0 |

| | | | | | | |
|--|----|----|-----|----|----|------|
| 20 | 25 | 10 | 100 | 50 | 50 | 0 |
| Rata-Rata Selisih (total selisih : 20) | | | | | | 0.29 |

Pada Tabel VI menunjukkan hasil pengujian sistem, Pengujian dilakukan untuk membandingkan hasil sistem fuzzy pada mobil RC dengan simulasi MATLAB. Pengujian berhasil memberikan respon pengereman yang bervariasi sesuai dengan hambatan kedekatan. Semakin dekat jaraknya, maka output PWM yang dihasilkan semakin besar sehingga motor DC semakin lambat atau bahkan berhenti. Artinya, sistem fuzzy logic mampu mengatur tingkat pengereman secara adaptif dan responsif.

H. Hasil Pengujian

Pengujian sistem pengereman otomatis pada mobil RC dilakukan dengan dua variasi kondisi, yaitu Variasi 1 seperti pada Gambar 19 dengan jarak awal 80 cm dan hambatan tiba-tiba pada jarak 30 cm, serta Variasi 2 seperti pada Gambar 20 dengan jarak awal 120 cm dan hambatan tiba-tiba pada jarak 15 cm.



GAMBAR 19
Pengujian Alat variasi 1

TABEL 8
Perbandingan Alat dan Matlab

| n o | P W M | J a r a k A w a l | o b s t i c a l d a d a k a n | J a r a k T e r b a c a p e n g e r e m a n | w a k t u p e n g e r e m a n | P e n g e r e m a n |
|-----|-------|-------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|---------------------|
| 1 | 60 | 80 | 30 | 27 | 38 ms | rem |
| 2 | 65 | 80 | 30 | 28 | 37 ms | rem |
| 3 | 70 | 80 | 30 | 25 | 38 ms | rem |
| 4 | 75 | 80 | 30 | 19 | 44 ms | rem |
| 5 | 80 | 80 | 30 | 19 | 47 ms | rem |
| 6 | 85 | 80 | 30 | 18 | 45 ms | rem |
| 7 | 90 | 80 | 30 | 18 | 44 ms | rem |
| 8 | 95 | 80 | 30 | 16 | 42 ms | rem |
| 9 | 100 | 80 | 30 | 10 | 42 ms | rem |

| | | | | | | |
|----|-----|----|----|---|-------|--------|
| 10 | 105 | 80 | 30 | 6 | 53 ms | tabrak |
|----|-----|----|----|---|-------|--------|

Pada Variasi 1, sistem mampu mendeteksi hambatan dan melakukan pengereman dengan baik pada kecepatan rendah hingga sedang (PWM 60–105). Dengan posisi hambatan berada pada 30 cm dimana pengereman pada jarak 27–6 cm dengan waktu pengereman berkisar antara 37–47 ms. Namun, pada kecepatan tinggi (PWM 105), jarak terbaca hanya 6 cm sehingga mobil tidak sempat berhenti dan terjadi tabrakan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan, semakin kecil jarak deteksi sensor, dan semakin lama waktu yang dibutuhkan sistem untuk menghentikan kendaraan.



GAMBAR 20
Pengujian Alat variasi 2

TABEL 9
Perbandingan Alat dan Matlab

| n o | P W M | J a r a k A w a l | o b s t i c a l d a d a k a n | J a r a k T e r b a c a p e n g e r e m a n | w a k t u p e n g e r e m a n | P e n g e r e m a n |
|-----|-------|-------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|---------------------|
| 1 | 60 | 120 | 15 | 24 | 47 ms | rem |
| 2 | 65 | 120 | 15 | 27 | 44 ms | rem |
| 3 | 70 | 120 | 15 | 24 | 45 ms | rem |
| 4 | 75 | 120 | 15 | 21 | 42 ms | rem |
| 5 | 80 | 120 | 15 | 15 | 47 ms | rem |
| 6 | 85 | 120 | 15 | 14 | 44 ms | rem |
| 7 | 90 | 120 | 15 | 10 | 42 ms | rem |
| 8 | 95 | 120 | 15 | 8 | 45 ms | rem |

| | | | | | | |
|---|----|----|----|---|-------|--------|
| 9 | 10 | 12 | | | | |
| | 0 | 0 | 15 | 5 | 44 ms | tabrak |
| 1 | 10 | 12 | | | | |
| 0 | 5 | 0 | 15 | 4 | 43 ms | tabrak |

Pada Variasi 2, meskipun jarak awal lebih jauh yaitu 120 cm, posisi rintangan yang lebih dekat (15 cm) membuat sistem pengereman bekerja lebih berat. Pada kecepatan rendah hingga sedang (PWM 60–105), mobil masih mampu berhenti dengan jarak terbaca 24–4 cm dan waktu pengereman relatif stabil pada kisaran 42–47 ms. Namun, pada PWM tinggi (100 dan 105), jarak terbaca sudah mencapai 4 cm sehingga mobil tidak sempat berhenti dan menabrak rintangan. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa posisi rintangan memiliki pengaruh yang lebih besar dibandingkan jarak awal kendaraan terhadap pengereman.

Secara keseluruhan, waktu pengereman pada kisaran yang cukup konsisten yaitu 37–47 ms, yang menunjukkan bahwa respon logika fuzzy cukup stabil. Namun, keterbatasan terlihat pada kondisi kecepatan tinggi, di mana sistem tidak mampu menghentikan kendaraan tepat waktu. Hal ini membuktikan bahwa sistem fuzzy logic dapat bekerja untuk kecepatan rendah hingga sedang, sementara untuk kecepatan tinggi diperlukan optimasi lebih lanjut, baik pada sensitivitas sensor ultrasonik, penyesuaian aturan fuzzy, maupun penentuan batas aman kecepatan kendaraan agar sistem pengereman otomatis dapat berfungsi maksimal tanpa menimbulkan tubrukan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian prototipe sistem rem otomatis pada mobil RC yang menggunakan sensor ultrasonik dan metode logika fuzzy, dapat disimpulkan bahwa sistem ini mampu mendeteksi hambatan di depan kendaraan secara real-time dengan menggunakan sensor HC-SR04, yang memiliki rata-rata error rendah sebesar 0,15%. Metode logika fuzzy yang digunakan terdiri dari dua input, yaitu jarak dan kecepatan, serta satu output berupa tingkat pengereman. Masing-masing input dan output memiliki lima fungsi memori yang terbukti mampu memberikan respon pengereman terhadap kondisi jalan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja dalam mengatur kecepatan kendaraan untuk menghindari tabrakan, berdasarkan nilai jarak dan kecepatan aktual. Dengan demikian, sistem yang dirancang telah berhasil memenuhi tujuan penelitian

dalam meningkatkan keselamatan operasional kendaraan RC, khususnya dalam menghadapi skenario rintangan yang muncul secara tiba-tiba.

REFERENSI

- [1] S. Aulia, “Sepanjang 2024 Angka Kecelakaan Lalu Lintas di Indonesia Tembus 220.647 Kasus,” *otomotif.kompas.com*. Accessed: Jan. 14, 2025. [Online]. Available: <https://otomotif.kompas.com/read/2024/11/22/171200115/sepanjang-2024-angka-kecelakaan-lalu-lintas-di-indonesia-tembus-220.647>
- [2] N. L. Mauliddiyah, “Prototype Sistem Pengereman Otomatis Pada Mobil RC Dengan Sistem Kendali Fuzzy Logic Berbasis Arduino MEGA 2560,” vol. 2560, p. 6, 2021.
- [3] R. Adolph, *LOGIKA FUZZY TAHANI by INDAH WAHYUNI* 48. 2016.
- [4] Junaidi, “Implementasi Fuzzy Logic Dengan Metode Mamdani Untuk Sistem Pendukung Keputusan Kinerja Dosen,” *J. Inf. Syst.*, vol. 3, no. 1, pp. 17–27, 2023, doi: 10.61488/jis.v3i1.256.
- [5] S. R. Yahya *et al.*, *Metode Fuzzy Logic*, no. May. 2023.
- [6] A. Saelan, “Logika Fuzzy,” Makalah If2091 Struktur Diskrit Tahun 2009. Accessed: Oct. 27, 2024. [Online]. Available: <https://raharja.ac.id/2020/04/06/logika-fuzzy/#:~:text=Logika fuzzy dapat digunakan dalam,matematik dari objek yang dikendalikan.>
- [7] DI, “Kontroller Kendaraan Otonom: Teknologi dan Algoritma Kontrol untuk mencakup Mobilitas Mandiri,” *Kmtech.Id*. Accessed: Oct. 27, 2024. [Online]. Available: <https://www.kmtech.id/post/kontroller-kendaraan-otonom-teknologi-dan-algoritma-kontrol-untuk-mencapai-mobilitas-mandiri>
- [8] Cycy, “Revolusi Industri Otomotif Peran Kecerdasan Buatan dalam Mobil Masa Depan,” *Wartamu.Id*. Accessed: Oct. 27, 2024. [Online]. Available: <https://www.wartamu.id/revolusi-industri-otomotif-peran-kecerdasan-buatan-dalam-mobil-masa-depan/>