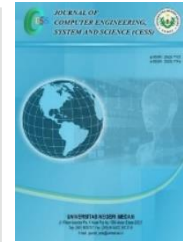


Contents list available at www.jurnal.unimed.ac.id

CESS
(Journal of Computing Engineering, System and Science)

journal homepage: <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/cess>



Implementasi Logika Fuzzy Mamdani Pada Robot Penghindar Halangan

Implementation Of Mamdani Fuzzy Logic on Obstacle Avoidance Robots

Wahiddatun Nisa^{1*}, Dwi Marisa Midyanti², Dedi Triyanto³, Irma Nirmala⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Rekayasa Sistem Komputer, Fakultas MIPA Universitas Tanjungpura

Jalan Prof Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak Telp/Fax.: (0561) 577963

email: ¹ninishms44@student.untan.ac.id, ²dwi.marisa@siskom.untan.ac.id,

³dedi.triyanto@siskom.untan.ac.id, ⁴irma.nirmala@siskom.untan.ac.id

Submitted: 30 Juni 2022 | Revision: 20 Juli 2022 | Accepted: 29 Juli 2022

ABSTRAK

Pengguna kendaraan mobil dan motor di jalan raya sering kita jumpai terjadi kecelakaan lalu lintas. Kecelakaan lalu lintas itu disebabkan karena beberapa hal salah satunya adalah kelalaian pengemudi itu sendiri. Berdasarkan permasalahan tersebut dibuatlah sebuah sistem otomatis pada kendaraan untuk mengurangi terjadinya kecelakaan lalu lintas dengan dimulai dari skala prototipe robot beroda dua untuk menghindari halangan menggunakan metode Logika Fuzzy Mamdani. Pada penelitian ini telah dibuat sistem robot penghindar halangan yang dapat menghindari halangan dan pengaturan kecepatan motor secara otomatis berdasarkan jarak halangan didepannya. Sistem ini dibangun menggunakan mikrokontroler Arduino uno sebagai sistem kendali, 3 buah sensor ultrasonik sebagai pengukur jarak robot terhadap halangan, motor driver dan motor DC sebagai arah gerak robot. Pengaturan kecepatan motor secara otomatis digunakan sistem pengambil keputusan dengan menggunakan 27 rule. Hasil pengujian sensor Ultrasonik dapat mendeteksi halangan yang ada di samping kiri, kanan dan depan dengan rentang jarak dekat, sedang dan jauh dari 2 sampai 50 cm. Pada sistem pengaturan kecepatan motor dapat mengatur kecepatan lambat, normal dan cepat pada rentang 50-60 PWM secara otomatis menggunakan sistem keputusan Logika Fuzzy Mamdani dengan akurasi sistem 93% dari 27 kali pengujian.

Kata Kunci: *Arduino uno; motor driver; robot beroda; sensor Ultrasonik; Logika Fuzzy Mamdani*

ABSTRACT

Users of cars and motorbikes on the highway we often encounter traffic accidents. Traffic accidents are caused by several things, one of which is the negligence of the driver himself.

*Penulis Korespondensi:

email: ninishms44@student.untan.ac.id

Based on these problems, an automatic system was made for the vehicle to reduce the occurrence of traffic accidents by starting from the prototype scale of a two-wheeled robot to avoid obstacles using the Mamdani fuzzy logic method. In this research, an obstacle avoidance robot system has been created that can avoid obstacles and regulate motor speed automatically based on the distance of the obstacle in front of it. This system was built using an Arduino uno microcontroller as a control system, 3 ultrasonic sensors to measure the distance of the robot from obstacles, a motor driver, and a DC motor as the direction of the robot's motion. The motor speed regulation is automatically used by a decision-making system using 27 rules. The ultrasonic sensor test results can detect obstacles on the left, right, and front with a range of near, medium, and far from 2 to 45 cm. The motor speed regulation system can set slow, normal, and fast speeds in the 50-60 PWM range automatically using a fuzzy logic decision system with 93% system accuracy.

Keywords: *Arduino uno; motor drivers; wheeled robots; Ultrasonic sensor; Mamdani Fuzzy Logic*

1. PENDAHULUAN

Salah satu kegiatan pemindahan barang dan penumpang dari satu tempat ke tempat lainnya biasa disebut dengan transportasi [1]. Transportasi memiliki peran yang sangat penting dalam segala aktivitas kehidupan masyarakat salah satunya sebagai alat transportasi seperti kendaraan mobil. Semakin bertambahnya aktivitas masyarakat yang menggunakan kendaraan mobil ini dapat menyebabkan aktivitas lalu lintas bertambah. Bertambahnya aktivitas lalu lintas dapat menyebabkan kecelakaan lalu lintas. Kecelakaan lalu lintas ini tidak dapat diprediksi kapan terjadi atau dimana akan terjadi dapat mengakibatkan kerusakan harta benda bahkan dapat memakan korban jiwa. Tercatat 30.568 jiwa meninggal dunia akibat kecelakaan lalu lintas menurut data Korp Kepolisian Republik Indonesia (Korlantas POLRI) sepanjang tahun 2017 [2].

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan maka dibuatlah sebuah sistem otomatis pada kendaraan untuk mengurangi terjadinya kecelakaan. Penelitian ini dimulai dari skala prototipe robot beroda dua untuk menghindari halangan. Pada pengembangan sebuah sistem otomatis yang dibuat pada robot beroda dua untuk menghindari halangan diperlukan kecerdasan buatan agar robot dapat memiliki kemampuan cara berpikir seperti manusia. Salah satu kecerdasan buatan yang diterapkan pada robot beroda adalah logika *fuzzy*. Logika *fuzzy* digunakan dalam penelitian ini sebagai sistem kendali keputusan robot untuk bergerak menghindari halangan. Logika *fuzzy* yang digunakan adalah metode Mamdani.

Ada beberapa penelitian terdahulu mengenai robot beroda. Diantaranya penelitian menggunakan tiga sensor Ultrasonik, Arduino uno dan dua buah motor servo. Penelitian ini bertujuan membuat robot penghindar halangan untuk menghindari halangan yang berada disekitar robot dan dapat bergerak maju, belok kiri, dan kanan [3]. Pada penelitian ini tidak menggunakan logika fuzzy sebagai sistem kendali keputusan gerak robot.

Penelitian lainnya tentang robot beroda menggunakan Logika *Fuzzy* [4]. Penelitian tersebut menggunakan mikrokontroler Arduino uno, satu buah sensor Ultrasonik, motor *driver*, motor servo dan motor DC. Tujuan penelitian adalah robot dapat menelusuri ruangan dan menghindari halangan yang berada di sekitarnya. Namun penelitian ini perlu ditambahkan dua buah sensor Ultrasonik di samping agar robot dapat mendeteksi halangan yang berada di daerah atau sudut yang sulit dideteksi.

Berikutnya penelitian tentang robot beroda menggunakan sistem keputusan Logika *fuzzy* pernah dilakukan dengan tiga jenis sensor yaitu sensor SRF (*Sonar Range Finder*), sensor inframerah dan sensor garis [5]. Penelitian tersebut membuat sebuah robot yang dapat menelusuri peta lapangan dengan segala kondisi tanpa adanya tabrakan.

Merujuk dari penelitian yang pernah dilakukan, maka selanjutnya dikembangkan sebuah robot penghindar halangan menggunakan metode Logika *Fuzzy* Mamdani. Penelitian ini menggunakan beberapa perangkat keras yaitu tiga buah sensor ultrasonik yang diletakkan di depan, samping kiri dan kanan sebagai alat pengukur jarak robot terhadap halangan. Arduino uno sebagai pusat pengolah data dan kendali robot. Motor *driver* jenis L298N digunakan sebagai pengatur kecepatan dan arah gerak robot. Dua motor DC sebagai kemudi robot. Logika *fuzzy* sebagai perangkat lunak digunakan untuk sistem pengambil keputusan robot yang menghasilkan gerak dan kecepatan motor DC sehingga robot dapat menghindari halangan.

2. DASAR TEORI

2.1. Perangkat Keras

Ada banyak jenis robot yang dapat ditemukan saat ini. Jenis-jenis robot antara lain robot manipulator, robot humanoid, robot berkaki, robot terbang, robot *mobile* (bergerak) dan robot dalam air [6]. Jenis robot yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis robot *mobile*. Ciri-ciri dari robot *mobile* adalah robot tersebut menggunakan roda/ban untuk berpindah tempat. Penelitian ini menggunakan jenis robot beroda dua.

Sensor jarak yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor Ultrasonik HC-SR04 yang memiliki 4 pin terdiri dari *gnd*, *vcc*, *trigger*, dan *echo*. Sensor Ultrasonik sudah banyak digunakan dalam penelitian untuk mengukur jarak salah satunya adalah tentang alat deteksi banjir secara otomatis yang pernah dilakukan [7]. *Controller* yang digunakan pada penelitian ini adalah Arduino uno yang merupakan mikrokontroler cukup banyak digunakan sebagai kendali robot. Jenis mikrokontroler yang digunakan pada penelitian ini memiliki 14 pin digital *input/output* [8].

Perangkat lainnya motor *driver* L298N berfungsi untuk menentukan kecepatan dan arah putaran motor DC [9]. Motor DC banyak digunakan dalam penelitian salah satunya tentang robot *mobile* untuk menarik troli makanan yang pernah dilakukan [10]. Motor DC dapat mengubah tenaga listrik menjadi tenaga kinetik atau gerak [11]. Pada penelitian ini motor DC digunakan sebagai sistem kemudi robot penghindar halangan.

2.2. Kendali Logika *Fuzzy*

Logika *fuzzy* dapat dikatakan metode terbaik karena selain mudah menggunakannya ada beberapa hal yang menjadi keunggulan metode tersebut yaitu logika *fuzzy* tidak memerlukan model matematik yang eksplisit dari sistem kendali lainnya [12]. Logika *fuzzy* digunakan untuk sistem kendali keputusan robot dalam bergerak menghindari halangan yang berada di samping kiri, kanan dan depan. Pada penelitian ini diterapkan metode *fuzzy* Mamdani. Metode Mamdani sering digunakan sebagai sistem keputusan pada penelitian, salah satunya tentang mengatur kecepatan putaran kipas angin dan intensitas lampu [13]. Nama lain dari Metode *Fuzzy* Mamdani adalah Metode Max-Min. Ada 4 tahap untuk menghasilkan sebuah *output* yaitu *fuzzifikasi*, aplikasi fungsi implikasi, komposisi aturan, dan *defuzzifikasi* [14].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian tentang implementasi Logika *Fuzzy* Mamdani pada robot penghindar halangan dilakukan dengan berbagai tahapan untuk membuat sistem. Tahapan tersebut berisi studi literatur, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi sistem, pengujian, analisa kebutuhan, kesimpulan dan saran.

Tahap pertama yang dilakukan dalam penelitian adalah studi literatur. Tahap studi literatur dilakukan untuk mencari referensi seperti buku, jurnal penelitian dan artikel yang berkaitan dengan penelitian ini. Literatur tersebut digunakan untuk mempelajari sistem kerja dari perangkat keras dan sistem pengambil keputusan logika *fuzzy* Mamdani.

Tahap selanjutnya adalah analisis kebutuhan. Analisis kebutuhan robot penghindar halangan menggunakan logika *fuzzy* terbagi menjadi dua yaitu, kebutuhan perangkat keras dan kebutuhan perangkat lunak yang dapat mendukung proses perancangan serta implementasi sistem.

Tahap berikutnya dalam penelitian adalah perancangan sistem. Perancangan sistem robot penghindar halangan dilakukan pada perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Kemudian setelah tahap perancangan sistem, tahapan yang dilakukan adalah implementasi sistem. Implementasi sistem dimulai dengan implementasi perangkat keras karena pembacaan jarak dapat diperoleh dari sensor-sensor yang telah terpasang di robot. Kemudian perangkat keras tersebut akan ditanamkan kode program logika *fuzzy*. Program ini yang nantinya menjadi sistem keputusan bagi robot, sehingga robot dapat menghindari halangan seperti yang diharapkan.

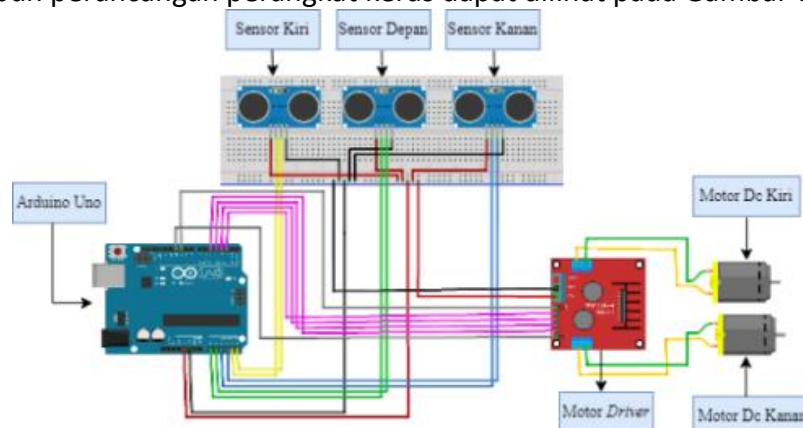
Tahap berikutnya dilakukan pengujian sistem. Pada tahap pengujian, dilakukan untuk mengecek sistem yang dibuat sesuai atau tidak dengan perancangan. Tahap ini dilakukan dengan cara menguji sistem pengukuran jarak robot terhadap halangan, penerapan logika *fuzzy* pada robot serta pengujian keseluruhan sistem. Apabila tahap pengujian terjadi *error* atau kesalahan maka akan kembali ke tahap perancangan sistem. Kemudian apabila pengujian sistem dilakukan berhasil maka dilanjutkan ke tahap kesimpulan dan saran.

3.1. Perancangan Arsitektur Sistem

Perancangan arsitektur sistem dilakukan pada dua tahap yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Adapun tahapan masing-masing perancangan dijabarkan sebagai berikut:

3.1.1. Perancangan Perangkat Keras

Pada perancangan perangkat keras merupakan perancangan sistem dari robot penghindar halangan. Adapun perancangan perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 1.

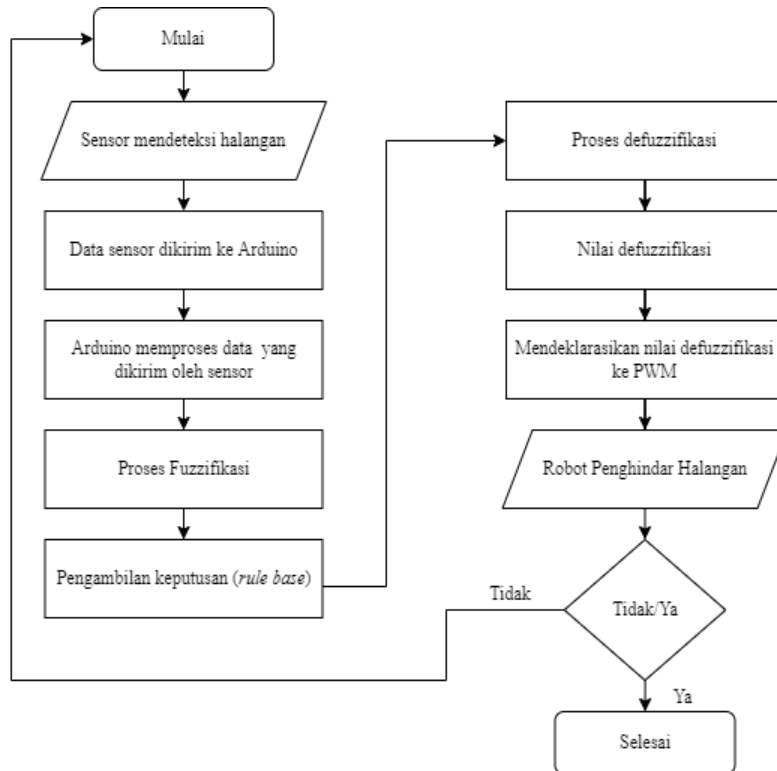


Gambar 1. Perancangan Perangkat Keras

Berdasarkan Gambar 1 perancangan perangkat keras secara keseluruhan merupakan gabungan sensor dan komponen perangkat lainnya yang dihubungkan ke Arduino uno. Perancangan ini membuat sistem otomatis pada robot untuk menghindari halangan samping kiri, kanan, maupun depan.

3.1.2. Perancangan Perangkat Lunak

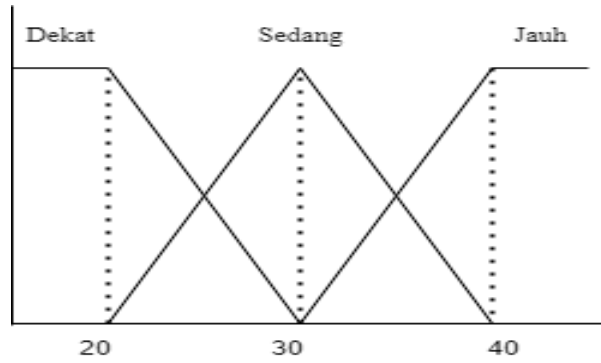
Pada perancangan perangkat lunak merupakan alur sistem kerja dari robot penghindar halangan menggunakan logika *Fuzzy Mamdani*. Adapun gambaran dari alur sistem kerja ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Perancangan Perangkat Lunak

Berdasarkan Gambar 2 sensor mendeteksi halangan yang berada di depan, samping kiri dan kanan sehingga diperoleh jarak robot terhadap halangan. Kemudian data jarak robot akan diproses Arduino uno menggunakan sistem pengambil keputusan logika *fuzzy*. Pada proses ini untuk menghasilkan *output* maka 4 tahap yaitu fuzzifikasi, aplikasi fungsi implikasi, komposisi aturan, dan defuzzifikasi.

Tahap fuzzifikasi ini dilakukan pembentukan himpunan *fuzzy* dari variabel sensor sebagai *input* dan variabel motor sebagai *output* untuk mendapatkan nilai derajat keanggotaan. Variabel sensor terbagi menjadi tiga yaitu sensor depan, sensor samping kiri dan samping kanan. Setiap variabel dari masing-masing sensor terdiri dari tiga fungsi himpunan yaitu dekat, sedang dan jauh dengan satuan panjang sentimeter (cm). Adapun bentuk kurva fungsi keanggotaan sensor dilihat pada Gambar 3.



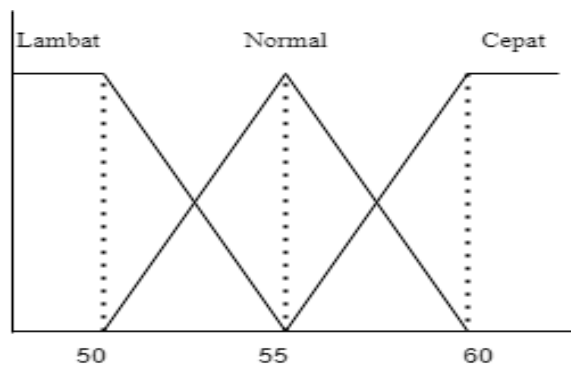
Gambar 3. Kurva Keanggotaan Sensor

$$\mu_{dekat} = \begin{cases} 1; & x \leq 20 \\ \frac{(30 - x)}{(30 - 20)}; & 20 < x \leq 30 \\ 0; & x \geq 30 \end{cases}$$

$$\mu_{sedang} = \begin{cases} 0; & x \leq 20 \text{ atau } x \geq 40 \\ \frac{(x - 20)}{(30 - 20)}; & 20 < x \leq 30 \\ \frac{(40 - x)}{(40 - 30)}; & 30 < x \leq 40 \end{cases}$$

$$\mu_{jauh} = \begin{cases} 0; & x \leq 30 \\ \frac{(x - 30)}{(40 - 30)}; & 30 < x \leq 40 \\ 1; & x \geq 40 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan motor terdiri dari dua variabel yaitu motor DC kiri dan kanan. Masing-masing variabel memiliki tiga fungsi himpunan yaitu lambat, normal, dan cepat yang satuan waktunya PWM. Adapun bentuk kurva keanggotaan motor dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva Keanggotaan Motor

$$\mu_{lambat} = \begin{cases} 1; & x \leq 50 \\ \frac{(55 - x)}{(55 - 50)}; & 50 < x \leq 55 \\ 0; & x \geq 55 \end{cases}$$

$$\mu_{normal} = \begin{cases} 0; & x \leq 50 \text{ atau } x \geq 60 \\ \frac{(x - 50)}{(55 - 50)}; & 50 < x \leq 55 \\ \frac{(60 - x)}{(60 - 55)}; & 55 < x \leq 60 \end{cases}$$

$$\mu_{cepat} = \begin{cases} 0; & x \leq 55 \\ \frac{(x - 55)}{(60 - 55)}; & 55 < x \leq 60 \\ 1; & x \geq 60 \end{cases}$$

Tahap aplikasi fungsi implikasi adalah pembuatan *rule*. *Rule* yang dibuat merupakan penghubung antara variabel *input* dan *output*. *Rule* pada penelitian menggunakan “if-and” dan penghubung antara variabel *input* dan *output* adalah “and”. Penelitian sistem kendali robot penghindar halangan dibuat *rule* sebanyak 27. Adapun *rule* robot penghindar halangan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Rule* Robot Penghindar Halangan

| <i>Rule</i> | Kondisi |
|-------------|---|
| 1 | If sensor kiri dekat and sensor depan dekat and sensor kanan dekat and motor kiri lambat and motor kanan lambat |
| 2 | If sensor kiri dekat and sensor depan dekat and sensor kanan sedang and motor kiri cepat and motor kanan lambat |
| 3 | If sensor kiri dekat and sensor depan dekat and sensor kanan jauh and motor kiri cepat and motor kanan lambat |
| ... | ... |

Setelah tahap implikasi yang menghasilkan *rule* sebanyak 27 dalam penelitian ini, maka selanjutnya dilakukan komposisi aturan. Proses ini dilakukan untuk mencari nilai α predikat setiap aturan dengan menggunakan metode Max-Min. Secara umum nilai keanggotaan yang didapatkan dapat dilihat pada persamaan 1.

$$\mu[x] = \max (\mu_{sf}(x_i), \mu_{kf}(x_i)) \quad (1)$$

Keterangan:

$\mu_{sf}(x_i)$ = nilai keanggotaan kecepatan motor sampai aturan ke-i

$\mu_{kf}(x_i)$ = nilai keanggotaan kecepatan motor aturan ke-i

Proses defuzifikasi merupakan pemetaan bagi nilai-nilai *output fuzzy* yang dihasilkan pada tahap komposisi aturan. Pada penelitian robot ini proses defuzifikasi menggunakan metode COA (*Center Of Area*). Hasil keluaran dari proses defuzifikasi berupa kecepatan lambat, sedang dan jauh dengan rentang nilai 50 PWM sampai 60 PWM. Adapun metode ini dapat dilihat pada persamaan 2.

$$z^* = \frac{\sum_{j=1}^n z_j \cdot \mu_C(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu_j(z_j)} \quad (2)$$

Keterangan:

z^* = nilai total kecepatan motor

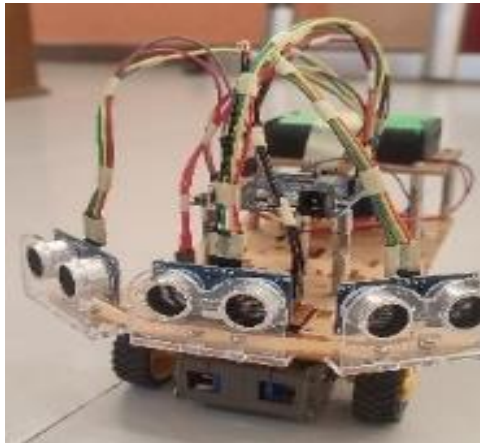
$\mu_C(z_j)$ = nilai derajat keanggotaan dari sensor

z_j = nilai kecepatan motor

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Implementasi Sistem

Setelah tahap perancangan selesai dilakukan, maka selanjutnya melakukan implementasi sistem robot penghindar halangan. Pada implementasi robot penghindar halangan digunakan tiga sensor Ultrasonik yang terhubung ke Arduino uno sehingga robot dapat mendeteksi halangan yang berada di depan, samping kiri dan kanan. perangkat keras lainnya yaitu motor *driver* dihubungkan ke Arduino uno berfungsi untuk menentukan arah dan kecepatan motor. Kemudian motor DC yang terhubung dengan motor *driver* berfungsi sebagai kemudi gerak robot. Adapun bentuk fisik dari robot penghindar halangan menggunakan Logika Fuzzy Mamdani dapat dilihat pada Gambar 5.



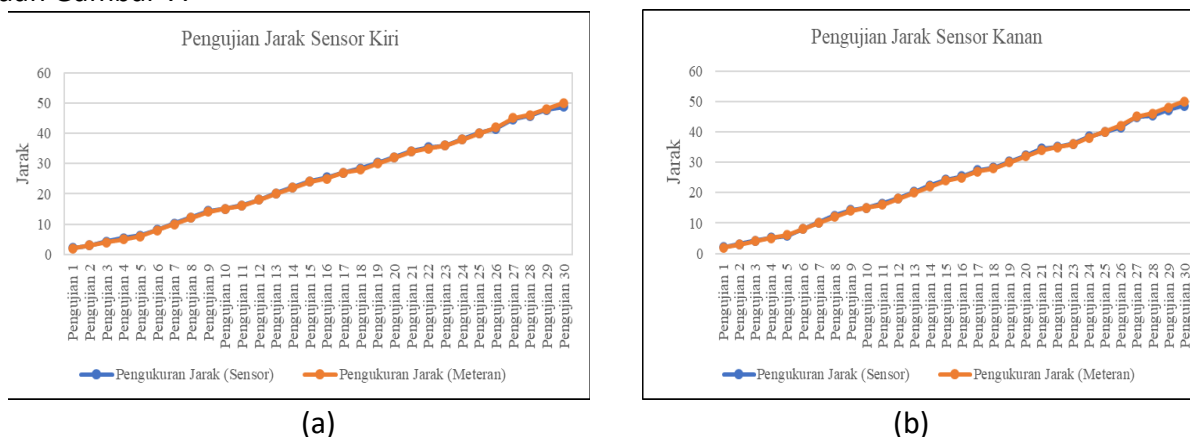
Gambar 5. Robot Penghindar Halangan

4.2. Pengujian Sistem

Setelah implementasi sistem selesai dan bekerja dengan baik, maka dilakukan tahap pengujian sistem. Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui kesalahan dan akurasi sistem robot penghindar halangan. Adapun pengujian sistem dilakukan pada pengujian jarak robot, pengujian penerapan Logika Fuzzy Mamdani pada robot dan pengujian keseluruhan sistem.

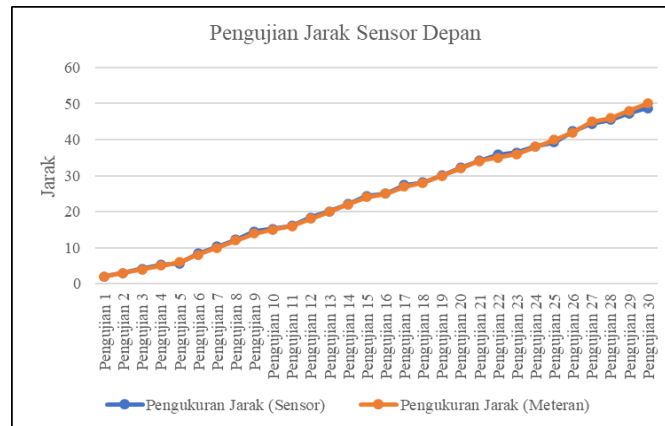
4.2.1 Pengujian Jarak Robot

Pengujian jarak robot terhadap halangan dilakukan sebanyak 30 kali pada tiga buah sensor dengan rentang jarak dari 2 cm sampai 50 cm. Adapun hasil pengujian masing-masing sensor dapat dilihat pada Gambar 6 (a) Pengujian Jarak Sensor Kiri (b) Pengujian Jarak Sensor kanan dan Gambar 7.



Gambar 6. (a) Pengujian Jarak Sensor Kiri (b) Pengujian Jarak Sensor Kanan

Berdasarkan Gambar 6 (a) pengujian jarak sensor kiri yang telah dilakukan didapatkan nilai rata-rata *error* sebesar 1,63%. Sedangkan Gambar 6 (b) pengujian jarak sensor kanan yang didapatkan nilai rata-rata *error* sebesar 1,67%. Hasil pengujian jarak sensor kiri dan kanan terhadap halangan yang berada didepannya dapat bekerja dengan baik.



Gambar 7. Pengujian Jarak Sensor Depan

Gambar 7 merupakan pengujian jarak sensor depan yang telah dilakukan sehingga didapatkan nilai rata-rata *error* sebesar 1,86%. Hasil pengujian jarak sensor depan terhadap halangan yang berada didepannya dapat bekerja dengan baik.

4.2.2 Pengujian Penerapan *Fuzzy Mamdani* Pada Robot

Pengujian Penerapan metode Logika *Fuzzy Mamdani* dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sistem. Penelitian ini dilakukan sebanyak 27 kali pengujian sesuai dengan jumlah *rule* yang digunakan. Pengujian dilakukan dengan meletakkan halangan di masing-masing sensor. Jarak pengujian robot terhadap halangan digunakan sesuai dengan rentang dari tiga fungsi himpunan variabel input sensor, yaitu jarak dekat dengan rentang dari 2 cm sampai 20. Sedangkan jarak sedang dari rentang 21 cm sampai 40 cm dan jarak jauh dari jarak 41 cm. Kemudian tiap sensor pada robot mendeteksi jarak halangan yang berada pada bagian samping kiri, kanan, dan depan. Adapun bentuk fisik dari pengujian penerapan Logika *Fuzzy Mamdani* pada robot penghindar halangan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengujian Penerapan *Fuzzy* Pada Robot

Adapun data hasil pengujian penerapan Logika *Fuzzy Mamdani* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Penerapan Logika Fuzzy Pada Robot

| Input Sensor pada Robot saat pengujian | | | Output Saat Pengujian | | Target Output | | Pengujian Berhasil / Tidak |
|--|-------------------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------|-------------------|----------------------------|
| Nilai Sensor Kiri (cm) | Nilai Sensor Depan (cm) | Nilai Sensor Kanan (cm) | Nilai Kecepatan Motor Kiri (PWM) | Nilai Kecepatan Motor Kanan (PWM) | Motor Kiri (PWM) | Motor Kanan (PWM) | |
| 15,12 (Dekat) | 17,68 (Dekat) | 10,19 (Dekat) | 50,00 (Lambat) | 50,00 (Lambat) | Lambat | Lambat | Berhasil |
| 10,29 (Dekat) | 12,65 (Dekat) | 31 (Dekat) | 59,05 (Cepat) | 50,95 (Lambat) | Cepat | Lambat | Berhasil |
| 10,29 (Dekat) | 12,65 (Dekat) | 41,37 (Jauh) | 59,65 (Cepat) | 50,35 (Lambat) | Cepat | Lambat | Berhasil |
| 4,69 (Dekat) | 30,62 (Sedang) | 8,95 (Dekat) | 53,3 (Normal) | 53,30 (Normal) | Normal | Normal | Berhasil |
| 5,96 (Dekat) | 30,1 (Sedang) | 31,21 (Sedang) | 56,21 (Normal) | 51,35 (Lambat) | Normal | Lambat | Berhasil |
| 8,92 (Dekat) | 26,7 (Sedang) | 44,28 (Jauh) | 57,16 (Normal) | 50,68 (Lambat) | Normal | Lambat | Berhasil |
| 17,37 (Dekat) | 20,57 (Jauh) | 17,44 (Dekat) | 50,51 (Lambat) | 50,51 (Lambat) | Cepat | Cepat | Tidak |
| 7,73 (Dekat) | 42,3 (Jauh) | 34,66 (Sedang) | 55,84 (Normal) | 52,49 (Lambat) | Normal | Lambat | Berhasil |
| 4,11 (Dekat) | 54,24 (Jauh) | 56,67 (Jauh) | 56,69 (Normal) | 50,00 (Lambat) | Normal | Lambat | Berhasil |
| 32,56 (Sedang) | 11,58 (Dekat) | 9,43 (Dekat) | 51,85 (Lambat) | 58,15 (Cepat) | Lambat | Cepat | Berhasil |
| 30,62 (Sedang) | 9,50 (Dekat) | 31,36 (Sedang) | 51,28 (Lambat) | 51,28 (Lambat) | Lambat | Lambat | Berhasil |
| 30,62 (Sedang) | 9,4 (Dekat) | 45,6 (Jauh) | 59,38 (Cepat) | 50,86 (Lambat) | Cepat | Lambat | Berhasil |
| 30,62 (Sedang) | 33,21 (Sedang) | 17,1 (Dekat) | 52,28 (Lambat) | 56,38 (Normal) | Lambat | Normal | Berhasil |
| 30,62 (Sedang) | 33,21 (Sedang) | 30,46 (Sedang) | 53,76 (Normal) | 53,82 (Normal) | Normal | Normal | Berhasil |
| 27,77 (Sedang) | 31,39 (Sedang) | 34,88 (Jauh) | 55,1 (Normal) | 53,83 (Lambat) | Normal | Lambat | Berhasil |
| 22,59 (Sedang) | 39,59 (Jauh) | 7,08 (Dekat) | 54,81 (Lambat) | 55,18 (Normal) | Lambat | Normal | Berhasil |
| 22,34 (Sedang) | 39,5 (Jauh) | 26,22 (Sedang) | 55,01 (Cepat) | 55,97 (Cepat) | Cepat | Cepat | Berhasil |
| 33,75 (Sedang) | 38,21 (Jauh) | 41,36 (Jauh) | 56,63 (Cepat) | 56,63 (Cepat) | Cepat | Cepat | Berhasil |
| 35 (Jauh) | 14,81 (Dekat) | 9,24 (Dekat) | 52,42 (Lambat) | 57,58 (Cepat) | Lambat | Cepat | Berhasil |

Tabel 2. Pengujian Penerapan Logika Fuzzy Pada Robot (Lanjutan)

| Input Sensor pada Robot saat pengujian | | | Output Saat Pengujian | | Target Output | | Pengujian Berhasil / Tidak |
|--|-------------------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------|-------------------|----------------------------|
| Nilai Sensor Kiri (cm) | Nilai Sensor Depan (cm) | Nilai Sensor Kanan (cm) | Nilai Kecepatan Motor Kiri (PWM) | Nilai Kecepatan Motor Kanan (PWM) | Motor Kiri (PWM) | Motor Kanan (PWM) | |
| 43,2 (Jauh) | 7,75 (Dekat) | 10,03 (Sedang) | 50,00 (Lambat) | 55,00 (Normal) | Lambat | Cepat | Tidak |
| 40,17 (Jauh) | 5,8 (Dekat) | 45,3 (Jauh) | 50,00 (Lambat) | 55,00 (Normal) | Lambat | Normal | Berhasil |

| | | | | | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|--------|----------|
| 39,3 (Jauh) | 31,78 (Sedang) | 10,5 (Dekat) | 50,17 (Lambat) | 54,92 (Normal) | Lambat | Normal | Berhasil |
| 41,75 (Jauh) | 35,15 (Sedang) | 36,31 (Sedang) | 52,72 (Lambat) | 55,22 (Normal) | Lambat | Normal | Berhasil |
| 41,42 (Jauh) | 34,14 (Sedang) | 38,16 (Jauh) | 52,12 (Lambat) | 55,43 (Normal) | Lambat | Normal | Berhasil |
| 40,78 (Jauh) | 39,57 (Jauh) | 19,59 (Dekat) | 60,00 (Cepat) | 60,00 (Cepat) | Cepat | Cepat | Berhasil |
| 45,3 (Jauh) | 40,02 (Jauh) | 32,91 (Sedang) | 57,1 (Cepat) | 57,10 (Cepat) | Cepat | Cepat | Berhasil |
| 41,05 (Jauh) | 42,77 (Jauh) | 45,51 (Jauh) | 60,00 (Cepat) | 60,00 (Cepat) | Cepat | Cepat | Berhasil |

Pada Tabel 2 menunjukkan pengujian yang telah dilakukan bahwa 25 kali pengujian berhasil dan 2 kali tidak berhasil. Pengujian yang tidak berhasil disebabkan oleh pembacaan sensor yang tidak sesuai dengan jarak ukur yang sebenarnya, maka hasil yang dikeluarkan tidak sesuai dengan *rule*. Pembacaan sensor yang tidak sesuai oleh sensor Ultrasonik disebabkan beberapa faktor yaitu terjadinya noise pada sensor dan benda yang letaknya miring atau tidak sejajar dengan sensor dapat membuat sensor yang lain menerima pantulan gelombang sehingga menyebabkan jarak ukur tidak sesuai dengan yang sebenarnya. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan maka didapatkan akurasi sistem. Perhitungan untuk mendapatkan akurasi dijabarkan sebagai berikut:

$$\text{Error (\%)} \text{ sistem} = \left| \frac{27-25}{27} \right| \times 100 = 7\%$$

$$\text{Akurasi (\%)} \text{ sistem} = 100 - 7 = 93\%$$

4.2.3 Pengujian Keseluruhan Sistem

Tahap ini dilakukan untuk menguji sistem robot penghindar halangan pada area yang telah dibuat. Adapun pengujian keseluruhan sistem dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Pengujian Keseluruhan Sistem

Berdasarkan pada Gambar 9 pengujian dilakukan dengan menekan tombol power terlebih dahulu pada robot, kemudian sensor mulai mendeteksi halangan yang berada di depan, samping kiri maupun kanan. Hasil dari pengujian ini robot dapat bergerak maju, mundur, belok kiri dan belok kanan dengan kecepatan motor sesuai jarak sensor terhadap halangan disekitarnya. Meskipun hasil robot menunjukkan sistem dapat bekerja dengan baik, ada

beberapa gerak robot yang tidak sesuai akibatnya terjadi tabrakan dikarenakan adanya *error* dari *input* sensor dan pada saat mundur terjadi tabrakan dibelakang robot.

4.3. Pembahasan

Pengujian perangkat keras dilakukan dengan cara menguji sensor yang terhubung dengan Arduino uno guna memastikan sensor dapat mendeteksi halangan yang berada di depan, samping kiri maupun kanan. Berdasar pengujian pengukuran jarak terhadap halangan yang telah dilakukan bahwa sensor dapat mendeteksi jarak dari rentang 2 cm sampai 50 cm dengan nilai rata-rata *error* sensor kiri sebesar 1,63%, sensor depan sebesar 1,86%, dan sensor kanan sebesar 1,67%. *Error* yang didapatkan dapat disebabkan oleh kualitas sensor yang digunakan dan kesejajaran halangan terhadap sensor. Pada nilai *error* yang didapatkan dari pengujian masing-masing sensor maka sensor Ultrasonik dengan rata-rata ketelitian sebesar 98% dapat digunakan untuk mendeteksi halangan pada robot.

Pengujian perangkat lunak dilakukan pada robot penghindar halangan dengan menerapkan metode Logika *Fuzzy* Mamdani. Pengujian dilakukan sebanyak 27 kali dengan 25 kali berhasil dan 2 tidak berhasil. Faktor yang menjadi tingkat keberhasilan ini tergantung dari *input* sensor, dikarenakan *output* yang dihasilkan akan berbeda dengan *rule* yang telah ditentukan. Berdasarkan hasil pengujian yang telah didapatkan maka akurasi sistem robot penghindar halangan sebesar 93%.

Selanjutnya pada pengujian keseluruhan sistem yang telah dilakukan. Robot dapat menghindari halangan yang berada di samping kiri, kanan dan depan. Robot bergerak mundur ketika jarak halangan berada pada jarak yang dekat. Bergerak maju ketika jarak halangan berada jauh dari robot. Robot juga bergerak belok kiri atau belok kanan ketika halangan berada disamping robot. Namun pada saat mundur robot menabrak halangan yang berada dibelakang.

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan pada penelitian ini bahwa, implementasi robot penghindar halangan menggunakan tiga sensor ultrasonik sebagai pengukur jarak terhadap halangan berhasil dilakukan dengan rentang jarak deteksi robot sebesar 2 cm sampai 50 cm. Pengujian pengukuran jarak robot terhadap halangan yang telah dilakukan didapatkan *error* rata-rata setiap sensor yaitu sensor kiri sebesar 1,63%, sensor depan sebesar 1,86%, dan sensor kanan sebesar 1,67%.

Hasil pengujian robot penghindar halangan menggunakan Logika *Fuzzy* Mamdani dapat bekerja dengan baik. Robot dapat bergerak maju, mundur, belok kiri dan belok kanan untuk menghindari halangan dengan kecepatan motor sesuai dengan jarak robot terhadap halangan yang memiliki akurasi sistem sebesar 93%.

Berdasarkan pengujian keseluruhan sistem dapat bekerja dengan baik. Robot dapat menghindari halangan yang berada di depan, samping kiri dan kanan sehingga robot dapat bergerak maju, mundur, belok kiri dan belok kanan. Namun pada saat robot bergerak mundur terjadi tabrakan maka disarankan untuk pengembangan selanjutnya pada penelitian ditambahkan sensor dibagian belakang.

REFERENSI

- [1] A. Salim, "Manajemen Transportasi Cetakan Pertama," *Jakarta: Ghalia Indonesia*, 2000.
- [2] B. Amak, N. S. H. Malonda, and P. A. T. Kawatu, "Hubungan Perilaku Safety Riding Pengendara Ojek Online Dengan Kejadian Kecelakaan Lalulintas di Kota Manado," *Indonesian Journal of Public Health and Community Medicine*, vol. 1, no. 1, 2020.
- [3] O. Supriadi, "Perancangan Robot AVOIDER Berbasis Arduino UNO Menggunakan Tiga Sensor Ultrasonik," *EPIC*, no. 2614–8595, pp. 1–11, 2019.
- [4] B. Wibowo Sanjaya and H. Priyatman, "Implementasi Logika Fuzzy Pada Robot Beroda Penghindar Halangan Berbasis Arduino UNO R3."
- [5] G. Dewantoro, D. Susilo, and P. P. Adi, "Implementasi Pengendali Logika Fuzzy pada Navigasi Robot Penjejak Dinding," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 16, no. 2, pp. 72–77, 2017.
- [6] U. Ristian, F. Hadary, and Y. Brianorman, "Visualisasi dan Pengendalian Gerak Robot Lengan 4 Dof menggunakan Visual Basic," *Coding Jurnal Komputer dan Aplikasi*, vol. 1, no. 1, 2013.
- [7] R. Risdiandi, "Analisis Cara Kerja Sensor Ultrasonik Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno Untuk Merancang Alat Deteksi Banjir Secara Otomatis," *OSF Preprints. January*, vol. 2, 2021.
- [8] M. Syahwil, "Panduan mudah simulasi dan praktek mikrokontroler arduino," *Yogyakarta: Andi*, 2013.
- [9] Y. M. Dinata, "Arduino itu mudah." *Arduino Itu Mudah*—2015-ISBN: 978-602-02-5851-5-PT Elex Media Komputindo, Jakarta, 2015.
- [10] W. K. Mawardani, J. Susila, and J. Priambodo, "Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Dengan Metode Fuzzy Logic pada Mobile Robot untuk Menarik Troli Makanan," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 11, no. 1, pp. A1–A7, 2022.
- [11] E. Pitowarno, "Robotika desain, kontrol, dan kecerdasan buatan," *Yogyakarta: Andi Offset*, 2006.
- [12] M. Yasyfi, "Rancang Bangun Robot Pemadam Api Beroda Four Wheel Drive (4Wd) Berbasis Kendali Logika Fuzzy," *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, vol. 2, no. 1, 2017.
- [13] C. Danuputri, "Penentuan Kecepatan Putar Kipas Angin Dan Intensitas Lampu Dengan Fuzzy Logic Mamdani," *Jurnal Algoritma, Logika dan Komputasi*, vol. 3, no. 2, 2020.
- [14] S. Kusumadewi and H. Purnomo, "Aplikasi Logika Fuzzy untuk pendukung keputusan," 2004.
- [15] J. Arifin, L. N. Zulita, and H. Hermawansyah, "Perancangan Murottal Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560," *Jurnal Media Infotama*, vol. 12, no. 1, 2016.