

Rancang Bangun Troli Belanja Pengikut Berbasis Sensor Ultrasonik Dan Logika Fuzzy

Romy Neval Silvado^{1*}, Eko Mardianto², Nanda Rusyda Saufa³, Satriyo⁴, M. Ridhwan Sufandi⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Pontianak, Jalan Ahmad Yani, Pontianak, Indonesia

*Penulis Korespondensi, e-mail: romysilvado@gmail.com

Received:15/06/2026

Revised:20/07/2026

Accepted:07/08/2026

ABSTRAK

Penggunaan troli dorong konvensional di pusat perbelanjaan sering kali membatasi ruang gerak, menyita fokus pengunjung, dan memicu masalah ketertiban akibat penempatan troli yang tidak teratur setelah digunakan. Merespons kendala tersebut, penelitian ini mengusulkan desain troli otomatis yang mampu mengikuti pergerakan pengguna. Sistem navigasi ini dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang memproses data jarak dari enam unit sensor ultrasonik untuk melacak target dan memetakan rintangan. Guna menghasilkan manuver motor DC yang halus dan menghindari tabrakan, algoritma Logika Fuzzy diterapkan sebagai pusat pengambil keputusan arah dan kecepatan. Uji coba prototipe yang dilakukan di lingkungan kampus menunjukkan bahwa troli berhasil mengikuti pengguna pada jarak aman dan bermanuver menghindari halangan secara responsif berdasarkan kalkulasi pemetaan sensor jarak.

Kata Kunci: Arduino Mega 2560, logika fuzzy, pengikut pengguna, sensor ultrasonik, troli otomatis

ABSTRACT

The use of conventional shopping carts in shopping malls often restricts mobility, distracts visitors, and causes disorder due to carts being left haphazardly after use. In response to these challenges, this study proposes a design for an automated shopping cart capable of following the user's movements. This navigation system is controlled by an Arduino Mega 2560 microcontroller that processes distance data from six ultrasonic sensors to track targets and map obstacles. To ensure smooth DC motor maneuvers and avoid collisions, a Fuzzy Logic algorithm is used to determine direction and speed. Prototype testing conducted on campus demonstrated that the cart successfully followed the user at a safe distance and maneuvered to avoid obstacles responsively based on calculations from the distance sensor mapping.

Keywords: automatic trolley, Arduino Mega 2560, fuzzy logic, ultrasonic sensor, user follower

1. PENDAHULUAN

Pengoperasian kereta belanja manual di pusat ritel hingga kini masih menghadirkan tantangan tersendiri bagi kenyamanan konsumen. Aktivitas mendorong beban belanjaan tidak hanya menyita tenaga, tetapi juga memecah fokus pengunjung, khususnya bagi mereka yang berbelanja sembari mengawasi anak-anak. Hal ini sejalan dengan temuan riset yang mengindikasikan bahwa ketersediaan fasilitas pendukung mobilitas berdampak langsung pada tingkat kepuasan dan loyalitas pelanggan [1]. Di samping itu, isu penataan ruang juga kerap muncul akibat kebiasaan pengunjung yang meninggalkan kereta belanjanya di sembarang lorong, sehingga menghambat sirkulasi pengunjung lain dan menciptakan pemandangan yang kurang rapi. Oleh sebab itu, diperlukan terobosan berupa sistem troli otonom yang tidak sekadar bisa bergerak mandiri, melainkan juga didesain untuk menunjang efisiensi operasional di area perbelanjaan.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi teknologi otomatisasi dan navigasi, namun masih memiliki keterbatasan saat diaplikasikan pada kasus troli supermarket. Penelitian terkait membuktikan

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



keandalan kombinasi sensor ultrasonik dan Fuzzy Logic, namun penerapannya masih terbatas pada alat bantu mobilitas tunanetra, bukan pada kendaraan beroda pembawa beban [2]. Studi lain berhasil mengimplementasikan sistem kendali Fuzzy pada robot penyusur dinding untuk menjaga jarak konstan [3], yang kemudian dikembangkan lebih lanjut menggunakan berbagai variasi arsitektur perancangan sensor dan kendali navigasi cerdas [6], [7]. Selanjutnya, proyek *CartGo* mengusulkan troli otomatis menggunakan sensor ultrasonik dan inframerah, namun belum menggunakan peninjauan presisi yang adaptif terhadap ketidakpastian pergerakan pengguna [4]. Untuk sistem pergerakan mandiri, metode *leader-follower* menggunakan logika fuzzy untuk melacak manusia sekaligus menghindari rintangan juga telah banyak diteliti guna mengoptimalkan respons pergerakan motor DC secara dinamis [8], [9].

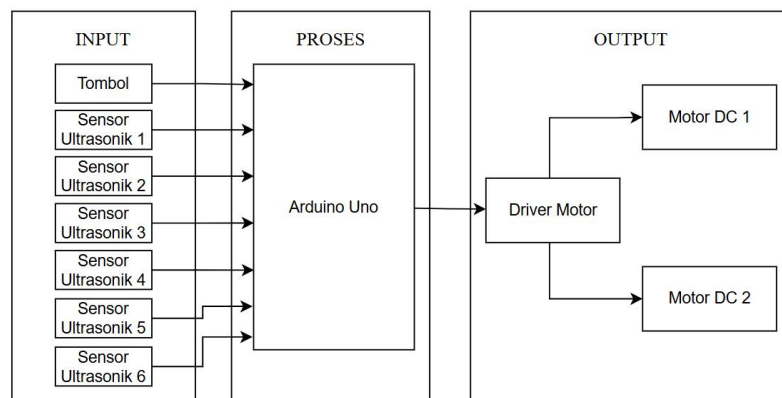
Untuk mengatasi keterbatasan dari sistem-sistem sebelumnya, penelitian ini mengusulkan rancang bangun troli belanja pengikut pengguna yang mengintegrasikan data dari enam buah sensor ultrasonik. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada strategi konfigurasi enam sensor untuk meminimalkan area titik buta (*blind spot*) serta penerapan algoritma Fuzzy Logic untuk navigasi troli. Pendekatan ini diuji pada ruang terbuka publik untuk mengevaluasi kemampuan troli dalam mengatur arah dan kecepatan gerak motor DC secara otomatis, beradaptasi dengan perubahan posisi pengguna, menjaga jarak aman, serta menghindari rintangan secara responsif.

2. METODE PENELITIAN

Tahapan operasional dalam riset ini meliputi proses desain perangkat keras sekaligus pengembangan perangkat lunak dengan mengandalkan papan Arduino Mega 2560 sebagai otak pemrosesan utamanya.

2.1 Desain Sistem *Hardware*

Platform fisik utama yang diimplementasikan adalah keranjang belanja supermarket berbahan logam kokoh. Modul Arduino Mega 2560 bertugas menjadi inti pemrosesan sinyal dari sensor dan pengambil keputusan algoritma *Fuzzy Logic* [5]. Sensor Ultrasonik HC-SR04 digunakan sebagai perangkat masukan (*input*) jarak utama navigasi. Terdapat enam buah sensor yang digunakan: tiga di bagian depan untuk melacak pergerakan pengguna, satu dikiri, satu dikanan, dan satu dibelakang untuk mendeteksi serta menghindari rintangan. Motor JGA25-370 12V 300RPM dengan *gearbox* digunakan sebagai aktuator utama penggerak roda secara *differential drive*. Pengendalian kecepatan putaran motor dilakukan menggunakan modul driver BTS7960 yang diatur dengan variasi sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*). Seluruh sistem ditenagai oleh baterai aki Valve Regulated Lead Acid (VRLA) 12 Volt berkapasitas 7Ah.



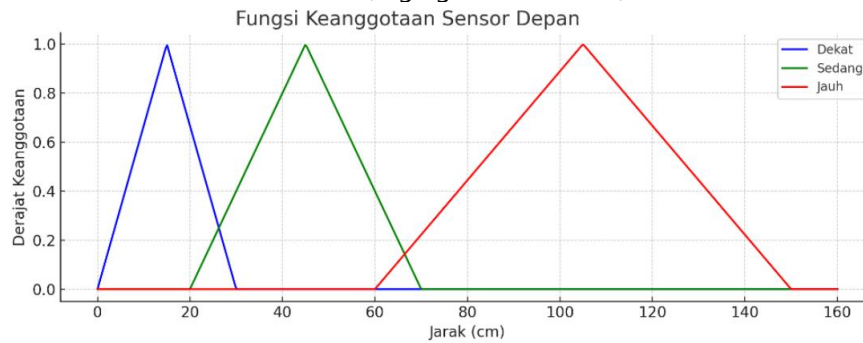
Gambar 1: Diagram Blok

2.2 Perancangan Sistem Fuzzy Logic

Algoritma Logika Fuzzy diaplikasikan sebagai otak kendali agar troli memiliki insting navigasi yang luwes dan adaptif. Sistem ini bertugas menerjemahkan fluktuasi data jarak dari sensor ultrasonik menjadi parameter pengaturan putaran roda yang dinamis secara otomatis.

- a. Tahap Fuzzifikasi: Jarak yang dibaca oleh sensor depan dikonversi menjadi nilai keanggotaan menggunakan kurva representasi segitiga. variabel jarak tangkapan dari sensor bagian depan dipetakan ke dalam tiga kategori derajat keanggotaan, yaitu :

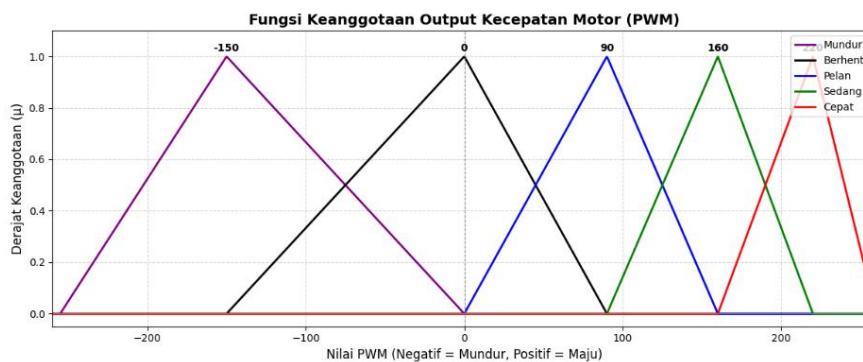
- Dekat = 0 – 30 (segitiga: 0, 15, 30)
- Sedang = 20 – 70 (segitiga: 20, 45, 70)
- Jauh = 60 – 150 (segitiga: 60, 105, 150)



Gambar 2: Input Fuzzyfication Jarak Depan

Sedangkan variabel keluaran (*output*) besaran PWM untuk kontrol motor direpresentasikan dalam lima himpunan *fuzzy*. Mundur, Berhenti, Pelan, Sedang, dan Cepat :

- Mundur = -255 – 0 (segitiga: -255, -150, 0)
- Berhenti = -150 – 90 (segitiga: -150, 0, 90)
- Pelan = 0 – 160 (segitiga: 0, 90, 160)
- Sedang = 90 – 220 (segitiga: 90, 160, 220)
- Cepat = 160 – 255 (segitiga: 160, 220, 255)



Gambar 3: Output Defuzzyfication Kecepatan

- b. Evaluasi Aturan (Rule Base): Sistem menggunakan inferensi dengan 27 aturan *fuzzy* untuk menentukan arah pergerakan roda kiri (M1) dan roda kanan (M2). Kombinasi pembentukan aturan rule fuzzy,

TABEL I : RULE BASE FUZZY

No	IF AND	THEN
----	--------	------



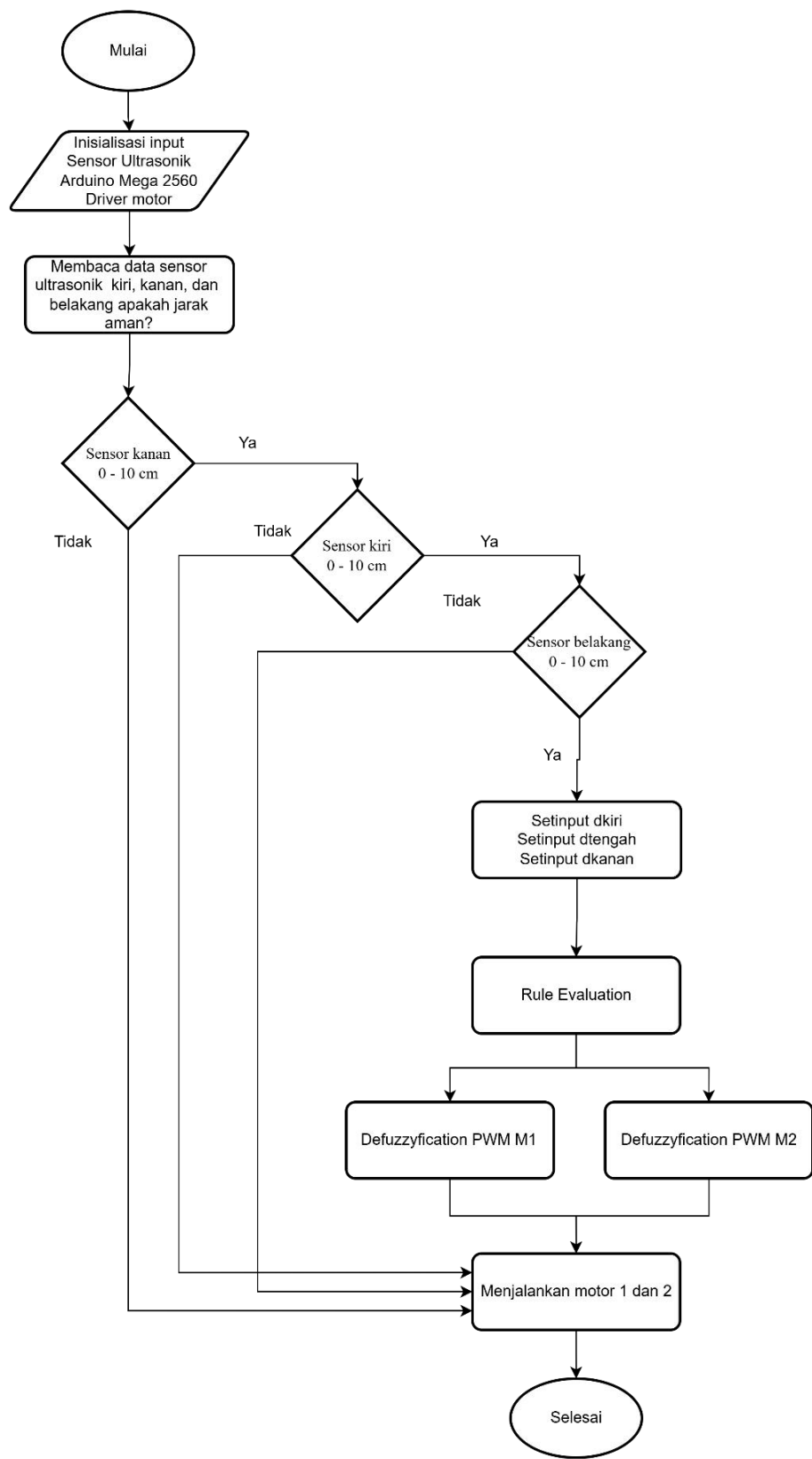
	D. Kiri	D. Tengah	D. Kanan	M1 (Kiri)	M2 (Kanan)
1	Dekat	Sedang	Dekat	STOP	STOP
2	Dekat	Dekat	Dekat	MUNDUR	MUNDUR
3	Dekat	Dekat	Sedang	MUNDUR	SEDANG
4	Sedang	Dekat	Dekat	SEDANG	MUNDUR
5	Dekat	Dekat	Jauh	MUNDUR	CEPAT
6	Jauh	Dekat	Dekat	CEPAT	MUNDUR
7	Dekat	Jauh	Dekat	SEDANG	SEDANG
8	Sedang	Sedang	Sedang	SEDANG	SEDANG
9	Sedang	Sedang	Dekat	PELAN	PELAN
10	Dekat	Sedang	Sedang	PELAN	PELAN
11	Sedang	Dekat	Sedang	STOP	STOP
12	Sedang	Sedang	Jauh	MUNDUR	PELAN
13	Jauh	Sedang	Sedang	PELAN	MUNDUR
14	Sedang	Jauh	Sedang	SEDANG	SEDANG
15	Jauh	Jauh	Jauh	CEPAT	CEPAT
16	Dekat	Jauh	Jauh	MUNDUR	CEPAT
17	Jauh	Jauh	Dekat	CEPAT	MUNDUR
18	Jauh	Dekat	Jauh	PELAN	PELAN
19	Sedang	Jauh	Jauh	MUNDUR	SEDANG
20	Jauh	Jauh	Sedang	SEDANG	MUNDUR
21	Jauh	Sedang	Jauh	SEDANG	SEDANG
22	Dekat	Sedang	Jauh	MUNDUR	SEDANG
23	Jauh	Sedang	Dekat	SEDANG	MUNDUR
24	Sedang	Dekat	Jauh	MUNDUR	PELAN
25	Jauh	Dekat	Sedang	PELAN	MUNDUR
26	Dekat	Jauh	Sedang	MUNDUR	CEPAT
27	Sedang	Jauh	Jauh	CEPAT	MUNDUR

Sistem inferensi yang digunakan mengevaluasi aturan menggunakan metode Mamdani (Max-Min). Sebagai contoh hasil inferensi: apabila sensor membaca jarak pengguna pada kategori 'Sedang' (seperti pada Aturan 8), maka derajat keanggotaan tersebut diproses melalui fungsi implikasi MIN. Hasil pemotongan kurva dari seluruh aturan yang aktif kemudian diagregasi menggunakan fungsi MAX sebelum masuk ke tahap defuzzifikasi.

- c. Tahap Defuzzifikasi: Metode yang diaplikasikan adalah *Weighted Average* (rata-rata terbobot) untuk mengubah persilangan himpunan *fuzzy* output menjadi nilai tegas (*crisp*). Pendekatan terbobot ini sangat efektif dalam melakukan optimasi performansi sistem kendali pada platform robotika bergerak [10]. Output berupa parameter nilai tegas ini memastikan respons gerak roda troli berjalan secara linier, halus, dan natural.

Alur kerja keseluruhan dari sistem troli belanja otomatis dalam mendeteksi dan mengikuti pengguna dapat dilihat pada diagram alir berikut:





Gambar 4: Alur Kerja Navigasi



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Realisasi Fisik Prototipe

Di proses ini, wujud fisik rancangan hardware untuk troli belanja pengikut otomatis telah berhasil dirakit dan diintegrasikan sesuai dengan perancangan sistem. Gambar 5 memperlihatkan wujud fisik prototipe troli secara keseluruhan. Sistem ini dibagi menjadi dua area penempatan komponen utama.

Pada bagian depan keranjang, dipasang modul sensor yang terdiri dari tiga buah sensor ultrasonik HC-SR04 yang menghadap ke depan (deteksi sudut serong kiri, lurus depan, dan serong kanan). Ketiga sensor ini berfungsi sebagai instrumen pelacak utama untuk mendeteksi keberadaan dan pergerakan pengguna. Selain itu, terdapat penambahan tiga sensor ultrasonik lainnya yang masing-masing menghadap ke sisi kiri, sisi kanan, dan sisi belakang. Sensor-sensor pendukung ini berperan sebagai *safety obstacle avoidance* untuk memastikan troli tidak menabrak rintangan atau rak belanja saat melakukan manuver berbelok maupun mundur. Sebuah sakelar juga disematkan pada panel ini untuk kemudahan akses menyalakan atau mematikan sistem.

Pada bagian bawah troli, ditempatkan sebuah kotak kontrol utama yang berfungsi sebagai pusat komputasi dan manajemen daya. Kotak tersebut memuat mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang mengeksekusi algoritma *Fuzzy Logic*, serta modul *driver* motor BTS7960 yang bertugas mengatur sinyal PWM. Untuk sistem penggerak mekanik, digunakan dua buah motor DC tipe JGA25-370 12V 300RPM yang dikonfigurasi secara *differential drive* pada sepasang roda pendorong. Seluruh komponen elektronik aktif dan aktuator ini ditenagai secara mandiri oleh sebuah baterai aki (VRLA) berkapasitas 12V 7Ah yang diletakkan di rak bawah guna menjaga titik berat (*center of gravity*) troli tetap stabil saat bermanuver.



Gambar 5: Hasil Pembuatan Alat

3.2 Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian akurasi dilakukan pada rentang 10 cm hingga 150 cm untuk elemen penjejakan. Tabel I menunjukkan hasil uji kinerja *Hardware* pada sensor ultrasonik bagian depan tengah.

TABEL II : HASIL PENGUJIAN SENSOR

Nilai Sebenarnya (cm)	Nilai Terbaca (cm)	Persentase Error (%)
10	10	0%
30	30	0%
50	50	0%
70	70	0%
90	89	1%
120	118	2%
150	148	1%

Berdasarkan Tabel II, sensor depan membuktikan akurasi absolut tanpa adanya bias (*error* 0%) pada rentang operasional idealnya yaitu di jarak dekat hingga menengah (10–70 cm). Penyimpangan kecil baru ditemukan saat jarak ditingkatkan menjadi 80 cm ke atas, dengan persentase *error* maksimum yang dicatat hanya berkisar di 3%. Kestabilan pengukuran jarak dari modul HC-SR04 ini berperan penting demi kelancaran pengumpanan *crisp input* ke fungsi *Fuzzy* tanpa filter tambahan. Lebih jauh lagi, uji sistem modul keselamatan sampling di jarak ultra-dekat 5-10 cm turut membukukan tingkat *error* konsisten 0%.

3.3 Pengujian Respon Gerak (Manuver)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keberhasilan troli dalam merespon pergerakan pengguna, baik saat pengguna bergerak lurus (tengah), berbelok ke kanan, maupun berbelok ke kiri. Pengujian difokuskan pada evaluasi respon sensor dengan target berada pada rentang jarak 20 cm hingga 120 cm. Untuk jarak di bawah 20 cm, pengujian manuver (mengikuti objek) tidak dilakukan karena sistem keamanan aktif merespons jarak tersebut sebagai kondisi bahaya tabrakan, yang memicu troli untuk langsung berhenti atau bergerak mundur. Berikut adalah hasil pengujian manuver berdasarkan rentang jarak objek:

TABEL III : HASIL PENGUJIAN RESPON GERAK

Rentang Jarak (cm)	Posisi Objek Kanan	Posisi Objek Kiri	Posisi Objek Tengah	Keterangan
20	√	√	√	Troli merespon semua arah dari belok kanan, kiri dan maju kedepan
30	√	√	√	Troli merespon semua arah dari belok kanan, kiri dan maju kedepan
40	√	√	√	Troli merespon semua arah dari belok kanan, kiri dan maju kedepan



50	√	√	√	Troli merespon semua arah dari belok kanan, kiri dan maju kedepan
60	√	√	√	Troli merespon semua arah dari belok kanan, kiri dan maju kedepan
70	√	√	√	Troli merespon semua arah dari belok kanan, kiri dan maju kedepan
80	x	√	x	Kanan & tengah gagal mendeteksi objek, troli hanya merespon belok kekiri
90	√	√	√	Troli merespon semua arah dari belok kanan, kiri dan maju kedepan
100	√	x	√	Kiri sensor tidak merespon, troli tidak berbelok kekiri
110	√	√	x	Troli merespon belok kanan dan kiri, untuk maju sensor tidak merespon.
120	√	√	√	Troli merespon semua arah dari belok kanan, kiri dan maju kedepan
Total Berhasil	10	10	9	
Persentase	90,9%	90,9%	81,8%	

Dari hasil uji manuver, mesin troli dievaluasi pada 11 titik rentang jarak, mulai dari 20 cm hingga 120 cm. Pada manuver adaptasi sudut belok ke arah kanan, troli berhasil sebanyak 10 kali dari total 11 titik pengujian, sehingga menghasilkan tingkat kesuksesan sebesar 90,9%. Kegagalan pada manuver kanan hanya tercatat pada jarak 80 cm. Manuver belok ke arah kiri juga membukukan keberhasilan yang sebanding, yakni 90,9%, dengan sistem gagal merespon pada titik 100 cm. Untuk kemampuan mempertahankan lintasan lurus (mengikuti pengguna di posisi tengah), troli mencatatkan persentase presisi di angka 81,8% (9 kali berhasil dari 11 titik). Penyimpangan pada gerak lurus ini terjadi di jarak 80 cm dan 110 cm, yang semata-mata diakibatkan oleh letak objek yang sesekali berada tepat di antara zona blind spot (titik buta) pada persimpangan cakupan antar sensor depan.

3.4 Pengujian dan Analisis PWM Motor Berdasarkan Logika Fuzzy

Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan nilai keluaran PWM aktual pada perangkat keras dengan hasil perhitungan defuzzifikasi secara manual. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa program kendali kecepatan yang ditanamkan pada mikrokontroler telah berjalan sesuai dengan perancangan teoritis. Tabel IV merangkum hasil perbandingan data PWM dari pengujian ini,

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195

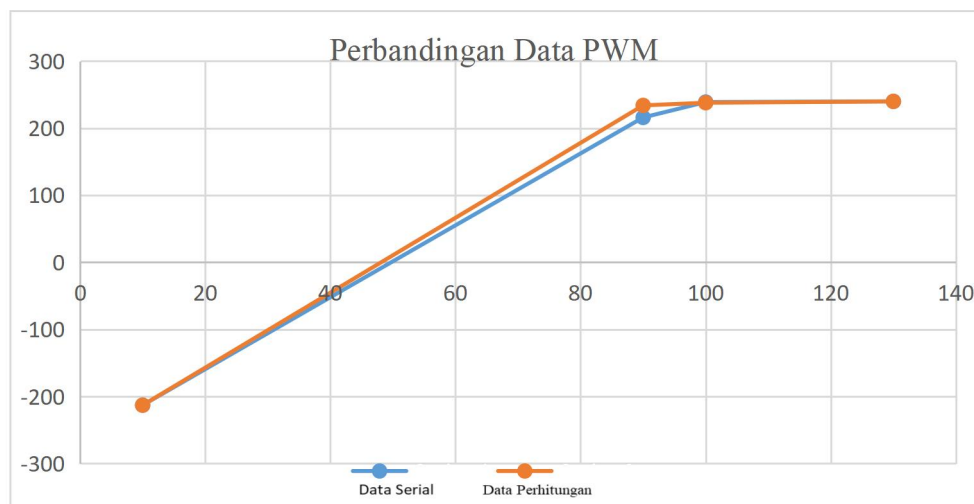


TABEL IV : PERBANDINGAN PWM

No	Jarak Objek (cm)	Nilai PWM	Kondisi Troli	Perhitungan PWM
1	10	-213	Mundur	-213
2	50	0	Diam	0
3	90	216	Maju	234
4	100	239	Maju	238
5	130	240	Maju	240

Berdasarkan Tabel IV, respons aktuator terhadap jarak objek dapat dibagi menjadi tiga kondisi utama. Saat objek terdeteksi sangat dekat (≤ 30 cm), sistem merespons dengan memberikan nilai PWM negatif tinggi (-213) agar troli bergerak mundur untuk menghindari tabrakan. Pada rentang jarak menengah yaitu 40–80 cm, troli memasuki zona aman di mana motor tidak diberikan tegangan (PWM 0), sehingga troli dalam keadaan diam. Sebaliknya, ketika jarak pengguna menjauh ≥ 90 cm, sistem memicu pergerakan motor untuk maju (PWM meningkat dari 216 hingga 240) guna mengikuti pengguna.

Melalui perbandingan dengan perhitungan manual menggunakan metode *Weighted Average*, dapat dipastikan bahwa tidak ditemukan penyimpangan pada program yang dieksekusi oleh Arduino Mega. Algoritma berjalan dengan baik tanpa adanya kesalahan perhitungan (error komputasi). Berdasarkan data pengujian pada tabel tersebut, grafik perbandingan respons kecepatan (PWM) terhadap perubahan jarak objek.



Gambar 6: Grafik Perbandingan PWM

Grafik diatas menunjukkan bahwa titik data pengujian aktual hampir berhimpit sepenuhnya dengan garis hasil perhitungan matematis. Hal ini membuktikan bahwa mikrokontroler mampu memproses metode *Fuzzy Logic* secara presisi. Selain itu, grafik tersebut juga memperlihatkan bahwa perubahan kecepatan troli



tidak terjadi secara drastis, melainkan bergerak secara halus dan bertahap (gradual) sesuai dengan prinsip logika fuzzy.

4. KESIMPULAN

Sistem pengikut otomatis pada troli telah berhasil diimplementasikan dan menunjukkan kinerja yang stabil pada pengujian di lingkungan publik terbuka. Sensor HC-SR04 beroperasi secara efektif pada rentang jarak 20–120 cm dengan persentase error di bawah 3%. Kecepatan reaksi aktuator pada perubahan pergerakan pengguna mencapai tingkat keberhasilan 90,9% untuk manuver belok dan 81,8% untuk lintasan lurus melalui serangkaian uji pada rentang jarak 20–120 cm. Penerapan algoritma Fuzzy Logic Mamdani dan defuzzifikasi Weighted Average terbukti efektif dalam mengeksekusi kendali transisi kecepatan putaran motor DC secara presisi dan halus. Meskipun demikian, penerapan sistem ini untuk operasional ritel komersial masih memerlukan pengembangan lebih lanjut, khususnya untuk beradaptasi dengan dinamika rintangan dan pantulan sinyal di dalam ruangan (indoor) yang padat.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Pontianak atas fasilitas dan dukungan yang diberikan selama penelitian ini berlangsung. Penghargaan juga disampaikan kepada Bapak Eko Mardianto, S.ST., M.T. dan Ibu Nanda Rusyda Saufa, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing, serta Bapak Satriyo, S.T., M.Kom. dan Bapak M. Ridhwan Sufandi, S.T., M.T. selaku dosen penguji, atas arahan, saran, dan masukannya dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. P. Tedjakusuma, A. Delananda, dan E. Andajani, "Pengaruh Logistics Service Quality Terhadap Customer Satisfaction dan Customer Loyalty Pada Industri Ritel di Indonesia," *KELUWIH: Jurnal Sosial Dan Humaniora*, vol. 1, no. 1, pp. 21–29, 2020.
- [2] S. R. Sulistiyanti, H. Fitriawan, M. I. Saputra, dan E. Dhika, "Pengaplikasian Logika Fuzzy Pada Alat Bantu Mobilitas Tunanetra Dengan Multisensor Hc-Sr04," *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 3S1, pp. 4569–4578, 2024.
- [3] A. S. Saputra, M. Sobirin, R. Khana, dan J. Muliadi, "Implementasi Sistem Kendali Fuzzy Pada Manuver Robot Susur Dinding," *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 20–26, 2025.
- [4] A. D. Effendi, A. S. Effendi, A. Fahla, dan R. Hidayat, "Cart-Go: Robot Troli Otomatis Pembawa Barang Belanjaan di Supermarket," *Jurnal Komputer Dan Elektro Sains*, vol. 3, no. 1, pp. 11–15, 2024.
- [5] A. E. Prastyo, "Mengenal Arduino Mega 2560 (Spesifikasi dan Konfigurasi Pin)," *Arduino Indonesia*, 2019. [Online]. Available: <https://www.arduinoindonesia.id/2019/01/arduino-mega-2560.html>.
- [6] A. Jati, *et al.*, "A Multi-robot System Coordination Design and Analysis on Wall Follower Robot Group," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 8, no. 5, 2018.
- [7] G. F. Fitriana, "Optimasi Performansi Pengendalian Robot Swarm menggunakan Logika Fuzzy," *Jurnal RESTI*, vol. 5, no. 1, 2021.
- [8] M. Riman dan A. Abi-Char, "Fuzzy Logic Control for Mobile Robot Navigation in Automated Storage," *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, vol. 12, no. 2, 2023.
- [9] G. F. Fitriana dan R. Adhitama, "Robot Leader Follower Menghindari Halangan Menggunakan Algoritma Logika Fuzzy Interval Tipe 2," *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 3, no. 3, pp. 371–376, 2019.
- [10] A. Zuhdi, *et al.*, "Comparative Evaluation of Fuzzy Logic Controllers for Robotic Manipulators," *E-Journal PTTI*, vol. 1, no. 1, 2025.

