

Rancang Bangun Alat Pemandu Jalan Untuk Penyandang Tunanetra Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani

Rifani Khairani Pohan*, Sriani

Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia

Email: ¹*rifanipohan@gmail.com, ²sriani@uinsu.ac.id

Email Penulis Korespondensi: rifanipohan@gmail.com*

Submitted: 28/07/2025; Accepted: 27/08/2025; Published: 08/09/2025

Abstrak– Penyandang tunanetra memiliki keterbatasan dalam bernavigasi yang dapat membahayakan keselamatan mereka saat beraktivitas. Untuk itu, dibutuhkan alat bantu yang mampu mendeteksi halangan dan memberikan peringatan secara real-time. Penelitian ini bertujuan untuk membuat dan mengembangkan alat pemandu jalan berbasis logika fuzzy Mamdani yang dilengkapi dengan sensor ultrasonik dan sensor infrared. Sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi jarak terhadap halangan, sedangkan sensor infrared digunakan untuk mendeteksi suhu dari api. Sistem menggunakan logika fuzzy dengan kategori jarak (Dekat, Normal, Jauh) dan suhu api (Tidak Panas, Panas), dan menghasilkan peringatan bunyi melalui earphone. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik dapat mendeteksi semua objek pada berbagai jarak dengan akurasi baik, sedangkan sensor infrared mampu mendeteksi suhu dari api. Metode fuzzy Mamdani memberikan keputusan yang logis dan fleksibel, serta sistem peringatan suara dapat dipahami dengan baik oleh pengguna. Pengujian langsung pada dua penyandang tunanetra terhadap objek seperti batu, tangga, meja, galon, botol, dan papan tulis menunjukkan bahwa sistem berjalan secara optimal dan efektif. Selain itu, hasil pengujian numerik jarak juga memperlihatkan performa sensor yang sangat akurat. Tingkat akurasi kategori deteksi mencapai 100% pada sebagian besar pengujian, meskipun terdapat satu kondisi dengan akurasi 0% karena perbedaan interpretasi kategori fuzzy. Sementara itu, akurasi numerik sensor rata-rata berada di atas 99%, dengan waktu respons sistem relatif cepat, yakni 0,5–0,7 detik. Hal ini membuktikan bahwa sistem mampu bekerja secara real-time dan memberikan peringatan secara tepat kepada pengguna tunanetra. Dengan demikian, alat ini dapat menjadi solusi yang bermanfaat untuk meningkatkan mobilitas dan kemandirian penyandang tunanetra.

Kata Kunci: Tunanetra; Logika Fuzzy Mamdani; Tongkat Pemandu; Sensor Ultrasonik; Sensor Infrared; Peringatan Bunyi; Sistem Navigasi.

Abstract– Visually impaired individuals face limitations in navigation that can endanger their safety during daily activities. Therefore, an assistive device is needed that can detect obstacles and provide real-time warnings. This study aims to design and develop a walking guide device based on the Mamdani fuzzy logic method, equipped with an ultrasonic sensor and an infrared sensor. The ultrasonic sensor is used to detect the distance to obstacles, while the infrared sensor is used to detect the temperature of fire. The system applies fuzzy logic with distance categories (Near, Normal, Far) and fire temperature categories (Not Hot, Hot), and generates warning sounds through an earphone. The test results show that the ultrasonic sensor can detect all objects at various distances with good accuracy, while the infrared sensor is able to detect the temperature of fire. The Mamdani fuzzy method provides logical and flexible decisions, and the sound warning system can be easily understood by users. Direct testing with two visually impaired individuals using various objects such as stones, stairs, tables, water gallons, bottles, and whiteboards demonstrated that the system operates optimally and effectively. In addition, the numerical distance testing results also revealed that the sensor performance is highly accurate. The detection category accuracy reached 100% in most tests, although there was one condition with 0% accuracy due to differences in fuzzy category interpretation. Meanwhile, the average numerical accuracy of the sensor was above 99%, with a relatively fast response time of 0.5–0.7 seconds. This proves that the system is capable of working in real-time and providing accurate warnings to visually impaired users. Thus, this device can serve as a useful solution to improve the mobility and independence of visually impaired individuals.

Keywords: Visually Impaired; Mamdani Fuzzy Logic; Guiding Cane; Ultrasonic Sensor; Infrared Sensor; Audio Alert; Navigation System.

1. PENDAHULUAN

Setiap individu mendambakan kehidupan yang berkualitas, karena hal tersebut mencerminkan tingkat kesejahteraan dan kebahagiaan yang terpenuhi baik dari segi fisik maupun psikologis. Namun, bagi penyandang disabilitas seperti tunanetra, mencapai kualitas hidup yang optimal seringkali menjadi tantangan tersendiri akibat keterbatasan dalam beraktivitas dan bernavigasi secara mandiri. Tunanetra adalah kondisi yang dialami oleh sebagian individu dalam kehidupan bermasyarakat. Kehilangan kemampuan penglihatan kerap menjadi penyebab terjadinya berbagai kecelakaan yang menimpa penyandang tunanetra saat menjalani aktivitas harian[1]. Berdasarkan data dari Kementerian Sosial Republik Indonesia tahun 2020, jumlah penyandang tunanetra di Indonesia mencapai sekitar 1,4 juta orang. Jumlah ini diprediksi akan terus meningkat seiring pertumbuhan populasi dan bertambahnya angka harapan hidup[2].

Salah satu alat bantu yang paling umum digunakan oleh penyandang tunanetra dalam menjalani aktivitas sehari-hari adalah tongkat[3]. Tongkat berfungsi untuk membantu navigasi di lingkungan sekitar, memungkinkan penyandang tunanetra menghindari berbagai hambatan serta menemukan jalur yang aman. Selain itu, penggunaan tongkat juga berkontribusi dalam meningkatkan kemandirian karena memungkinkan mereka bergerak lebih leluasa tanpa bergantung pada bantuan orang lain[4]. Di samping itu, tongkat juga dapat mengurangi risiko kecelakaan seperti tersandung, terjatuh, atau terbentur objek di sekitar[5]. Dengan mempertimbangkan peran penting tongkat

tersebut, pengembangan alat pemandu jalan yang lebih efektif, akurat, dan adaptif menjadi hal yang sangat krusial guna mendukung mobilitas serta meningkatkan kualitas hidup penyandang tunanetra.

Pendekatan Fuzzy Mamdani memberikan solusi yang adaptif dan fleksibel dalam mengolah data dari sensor, terutama dalam memahami kondisi lingkungan yang dinamis dan kompleks. Ketika sistem ini diterapkan pada mikrokontroler, alat bantu navigasi dapat dirancang untuk memberikan instruksi yang akurat sesuai dengan situasi sebenarnya di lapangan. Selain itu, pemanfaatan mikrokontroler juga mendukung pembuatan perangkat yang lebih ringkas, praktis, dan mudah dijangkau oleh pengguna[6].

Metode Fuzzy Mamdani merupakan salah satu pendekatan dalam sistem pendukung keputusan yang dikenal memiliki keunggulan dalam hal kemudahan pemahaman, sehingga dapat diterima secara luas oleh berbagai kalangan, termasuk pengguna non-teknis. Selain itu, metode ini juga fleksibel untuk diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk analisis statistik dan pengolahan data sensor. Kemampuan Mamdani dalam meniru cara berpikir manusia melalui aturan-aturan linguistik menjadikannya sangat efektif untuk menginterpretasi data lingkungan yang kompleks dan tidak pasti[7]. Metode Fuzzy Mamdani adalah logika yang menangani ketidakpastian dengan nilai yang tidak terbatas pada benar atau salah. Berbeda dari logika biner, metode ini memungkinkan penilaian secara bertahap, sehingga cocok digunakan dalam sistem yang memerlukan keputusan fleksibel, seperti alat bantu navigasi bagi tunanetra[8].

Mikrokontroler merupakan sebuah komponen elektronik berbentuk IC (Integrated Circuit) yang dirancang untuk menerima input, memproses data, dan menghasilkan output berdasarkan instruksi atau program yang telah ditanamkan di dalamnya. Komponen ini berfungsi sebagai otak dari berbagai perangkat elektronik, memungkinkan sistem bekerja secara otomatis sesuai dengan perintah yang diberikan. Dengan ukurannya yang kecil namun fungsionalitasnya tinggi, mikrokontroler banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari perangkat rumah tangga hingga sistem embedded seperti alat bantu navigasi untuk penyandang tunanetra[9]. Mikrokontroler bekerja dengan menggunakan bahasa pemrograman assembly yang berbasis pada prinsip-prinsip logika digital dasar. Bahasa ini relatif mudah dipahami karena memungkinkan akses langsung ke input dan output, serta memerlukan sedikit instruksi untuk menjalankan fungsi tertentu[10].

ESP32 merupakan modul mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems sebagai penerus ESP8266. Modul ini mendukung konektivitas WiFi dan Bluetooth, sehingga memudahkan pengembangan berbagai aplikasi berbasis Internet of Things (IoT). Dengan prosesor yang lebih cepat, koneksi lebih stabil, lebih banyak pin GPIO, serta dukungan Bluetooth 4.2 dan konsumsi daya rendah, ESP32 menjadi pilihan ideal untuk proyek IoT yang efisien dan multifungsi[11]. Keunggulan mikrokontroler ESP32 dibandingkan dengan jenis mikrokontroler lainnya terletak pada jumlah pin yang lebih banyak, ketersediaan pin analog yang lebih luas, kapasitas memori yang lebih besar, serta dilengkapinya fitur Bluetooth 4.0 Low Energy dan konektivitas WiFi. Fitur-fitur ini membuat ESP32 sangat mendukung pengembangan aplikasi berbasis Internet of Things (IoT)[12].

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [13] dengan judul “Tingkat Bantu Jalan Tunanetra Pendeteksi Halangan Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Mikrokontroler Arduino Nano”, dikembangkan alat bantu navigasi untuk tunanetra menggunakan sensor ultrasonik. Alat ini mampu mendeteksi rintangan dalam jarak 5 cm hingga 50 cm dengan akurasi tinggi. Ketika rintangan berada dalam jarak kurang dari atau sama dengan 50 cm, buzzer akan aktif, dan akan nonaktif jika jaraknya melebihi batas tersebut. Pengujian menunjukkan kinerja alat yang stabil dan konsisten di berbagai jarak. Selain itu, perangkat ini mampu beroperasi selama 9 jam penuh dalam kondisi penggunaan maksimal dengan kapasitas daya sebesar 3,6 Wh.

Penelitian pada tahun 2022 oleh [14] dengan judul “Rancang Bangun Alat Bantu Jalan untuk Penyandang Tunanetra Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Arduino” berfokus pada pengembangan alat bantu navigasi bagi tunanetra di wilayah Kupang. Penelitian ini menyoroti keterbatasan alat bantu mobilitas yang telah ada, khususnya dalam mendeteksi genangan air atau bahaya di permukaan tanah, yang dapat membahayakan keselamatan pengguna saat berjalan.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [15] pada tahun 2020 berjudul “Perancangan Kendali Alat Bantu Tunanetra Berbasis Fuzzy Logic” membahas perancangan tingkat pintar untuk penyandang tunanetra dengan mengintegrasikan sensor ultrasonik dan mikrokontroler Arduino Nano. Alat ini dirancang untuk mendeteksi rintangan di sekitar pengguna sebagai respons terhadap tingginya risiko kecelakaan akibat kehilangan penglihatan. Sistem kendali menggunakan logika fuzzy untuk meningkatkan akurasi dan ketepatan dalam mengenali keberadaan hambatan di lingkungan sekitar.

Penelitian sebelumnya oleh [16] pada tahun 2022 mengkaji pengembangan alat bantu jalan berbasis mikrokontroler ATmega328 untuk penyandang tunanetra. Penelitian ini bertujuan merancang perangkat yang mampu membantu tunanetra dalam mobilitas sehari-hari dengan mendeteksi keberadaan hambatan dari berbagai arah menggunakan sensor ultrasonik, sehingga dapat meningkatkan keamanan dan kenyamanan saat bergerak.

Penelitian sebelumnya oleh [17] Kolyaan pada tahun 2022 dengan judul “Rancang Bangun Smart Stick Sebagai Alat Bantu Jalan Bagi Penyandang Tunanetra Berbasis Mikrokontroler Arduino” merancang alat bantu jalan yang mampu mendeteksi hambatan hingga jarak 200 cm, melebihi jangkauan tingkat konvensional. Sistem ini dilengkapi dengan notifikasi suara menggunakan DFPlayer Mini serta getaran yang disesuaikan dengan posisi objek, sehingga memberikan informasi yang lebih akurat kepada pengguna terkait arah dan jarak rintangan.

Penelitian sebelumnya oleh [18] pada tahun 2021 berjudul “Rancang Bangun Alat Bantu Tuna Netra Menggunakan Tingkat Dengan Sensor Ultrasonik” berhasil mengembangkan tingkat pintar yang dilengkapi

dengan sensor ultrasonik dan buzzer. Sensor tersebut mampu mendeteksi objek dalam rentang 20 hingga 60 cm. Ketika terdapat rintangan dalam jarak tersebut, buzzer akan aktif sebagai peringatan bagi pengguna, sehingga membantu penyandang tunanetra dalam menghindari hambatan saat berjalan.

Meskipun berbagai penelitian sebelumnya telah mengembangkan alat bantu bagi tunanetra dengan memanfaatkan sensor ultrasonik atau logika fuzzy untuk mendeteksi hambatan, akurasi dalam identifikasi objek dan pengambilan keputusan masih menjadi tantangan. Penelitian ini hadir untuk mengisi celah tersebut dengan mengoptimalkan metode Fuzzy Mamdani yang diintegrasikan ke dalam mikrokontroler ESP32, sehingga sistem dapat bekerja secara real-time, lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan, dan memberikan respons yang cepat serta tepat bahkan dalam situasi dengan gangguan tinggi. Keunggulan lain dari penelitian ini adalah dilengkapinya sistem dengan peringatan audio yang dirancang kontekstual dan mudah dipahami, sehingga tidak hanya meningkatkan akurasi deteksi, tetapi juga memberikan pengalaman penggunaan yang lebih aman, mandiri, dan mendukung kepercayaan diri penyandang tunanetra dalam aktivitas sehari-hari.

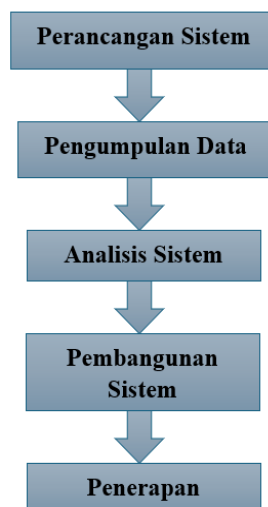
Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini tidak hanya berfokus pada peningkatan akurasi deteksi hambatan, tetapi juga dirancang dengan pendekatan human-centered design untuk memberikan manfaat langsung bagi penyandang tunanetra. Alat ini diharapkan mampu meningkatkan rasa aman, kemandirian, dan kepercayaan diri pengguna dalam beraktivitas sehari-hari. Peringatan audio yang digunakan dirancang sederhana dan mudah dipahami sehingga tidak membingungkan, melainkan membantu pengguna dalam mengambil keputusan dengan cepat. Dengan berfokus pada user experience, sistem ini benar-benar ditujukan sebagai solusi praktis yang mendukung mobilitas pengguna, bukan menambah kerumitan dalam penggunaannya.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat dan mengembangkan alat pemandu jalan bagi penyandang tunanetra yang mampu mendeteksi rintangan secara akurat menggunakan metode Fuzzy Mamdani. Sistem ini dirancang untuk memberikan respons yang cepat dan tepat terhadap hambatan di berbagai kondisi lingkungan, serta dilengkapi dengan peringatan audio guna meningkatkan keselamatan dan kemandirian pengguna dalam beraktivitas sehari-hari.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini melalui serangkaian tahapan sistematis yang meliputi perancangan sistem, pengumpulan data, analisis sistem, pembangunan alat, serta penerapan di lapangan. Setiap tahap dilaksanakan secara terstruktur dan berurutan guna memastikan bahwa alat pemandu jalan yang dikembangkan dapat berfungsi secara optimal serta mampu menjawab permasalahan yang telah dirumuskan. Pendekatan bertahap ini tidak hanya mendukung efektivitas hasil, tetapi juga meminimalkan kesalahan dalam proses pengembangan, sehingga sistem yang dihasilkan benar-benar sesuai dengan kebutuhan pengguna, khususnya penyandang tunanetra. Alur Penelitian dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1 Alur Penelitian

2.2 Perancangan Sistem

Langkah awal dalam proses penelitian ini dimulai dengan tahap perancangan sistem, yang berfokus pada pencarian solusi terhadap permasalahan yang telah diidentifikasi. Pada tahap ini, peneliti menentukan arah dan tujuan penelitian, mengidentifikasi kebutuhan serta karakteristik pengguna, dan menyusun komponen-komponen utama yang akan menjadi bagian dari sistem. Selain itu, dilakukan juga analisis awal terhadap teknologi yang relevan

untuk memastikan sistem yang dirancang benar-benar sesuai dengan kebutuhan pengguna, khususnya penyandang tunanetra.

a. Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras terdiri dari mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur jarak hambatan, serta sensor IR sebagai detektor keberadaan objek atau gerakan di sekitar pengguna. Data dari kedua sensor ini digunakan untuk mengidentifikasi kondisi lingkungan secara real-time. Sebagai media output, digunakan modul audio yang terhubung ke earphone, sehingga pengguna dapat menerima peringatan berupa suara. Seluruh sistem mendapatkan suplai daya melalui USB 5V atau power bank agar portabel. Dengan integrasi ini, perangkat keras mampu melakukan deteksi hambatan sekaligus memberikan peringatan cepat kepada pengguna.

b. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dirancang menggunakan Arduino IDE untuk memprogram mikrokontroler Arduino. Tahapan yang dilakukan meliputi pengambilan data dari sensor ultrasonik, pra-pemrosesan data, fuzzifikasi, inferensi fuzzy Mamdani, hingga defuzzifikasi untuk menghasilkan output berupa intensitas suara melalui buzzer atau earphone. Logika fuzzy diimplementasikan langsung dalam kode Arduino dengan mendefinisikan fungsi keanggotaan (membership function) untuk variabel input (jarak dan keberadaan objek) serta variabel output (tingkat peringatan). Selain itu, perangkat lunak juga mengatur komunikasi antar sensor, pengendalian waktu respon (delay), serta efisiensi penggunaan daya agar sistem dapat bekerja optimal dan responsif.

c. Desain Fuzzy Mamdani

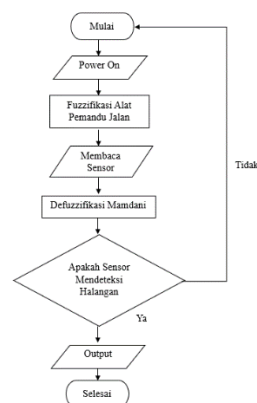
Desain Fuzzy Mamdani pada sistem ini memanfaatkan input jarak, suhu api, dan tingkat bahaya yang difuzzifikasi menjadi himpunan linguistik, lalu diproses melalui aturan fuzzy untuk menghasilkan output berupa tingkat peringatan. Hasil inferensi Mamdani kemudian didefuzzifikasi dengan metode centroid sehingga diperoleh nilai crisp yang ditransmisikan sebagai peringatan suara atau getaran bagi pengguna tunanetra.

2.3 Pengumpulan Data

Pada tahap ini, dilakukan proses pengumpulan informasi yang relevan guna memperoleh pemahaman mendalam terkait kebutuhan dan spesifikasi sistem. Data dikumpulkan melalui berbagai metode seperti survei, observasi lapangan, maupun studi literatur dari penelitian sebelumnya. Pengumpulan data yang dilakukan secara sistematis dan menyeluruh sangat penting untuk memahami konteks permasalahan secara utuh serta menjadi dasar yang kuat dalam mendukung proses analisis dan pengembangan sistem pada tahap selanjutnya.

2.4 Analisis Sistem

Tahap analisis sistem dalam alur penelitian pembuatan alat pemandu jalan bagi penyandang tunanetra menggunakan metode Fuzzy Mamdani mencakup beberapa langkah penting, seperti identifikasi kebutuhan sistem, pemodelan sistem, dan evaluasi kinerja sistem yang akan dibangun. Sebelum masuk ke tahap perancangan alat, penting untuk memahami kebutuhan spesifik dari pengguna, yaitu penyandang tunanetra. Analisis ini mencakup karakteristik penyandang tunanetra yang mengalami keterbatasan dalam mengenali kondisi lingkungan sekitar. Oleh karena itu, mereka sangat bergantung pada alat bantu navigasi yang mampu mendeteksi rintangan dan memberikan arahan secara akurat dan real-time agar mobilitas mereka lebih aman dan mandiri.



Gambar 2 Flowchart Sistem

2.5 Pembangunan Sistem

Pembangunan sistem merupakan proses penyusunan sistem baru yang dirancang untuk menggantikan sistem lama secara menyeluruh dengan tujuan meningkatkan kinerja dan efektivitas sistem yang ada. Dalam konteks alat pemandu jalan bagi penyandang tunanetra, tahap pembangunan dimulai dengan perancangan sistem yang

mencakup pemilihan dan perencanaan komponen perangkat keras seperti sensor ultrasonik, serta perangkat lunak berupa algoritma Fuzzy Mamdani yang berfungsi mengolah data dari sensor dan menghasilkan output yang dapat dipahami pengguna. Selanjutnya, dilakukan penyambungan sensor ke mikrokontroler agar data hasil deteksi dapat dikirimkan secara langsung dan real-time. Setelah itu, sistem diuji dengan mengukur kemampuan sensor dalam mendeteksi objek pada berbagai jarak dan kondisi lingkungan, guna memastikan keakuratan dan keandalannya dalam mendukung mobilitas penyandang tunanetra.

2.6 Penerapan

Pada tahap penerapan, alat pemandu jalan yang telah selesai dirancang dan diuji mulai digunakan langsung oleh penyandang tunanetra sebagai alat bantu navigasi di berbagai lingkungan, khususnya di area luar ruangan seperti jalanan. Sistem ini dirancang untuk memberikan umpan balik dalam bentuk suara, sehingga memungkinkan pengguna memahami kondisi sekitar mereka tanpa perlu mengandalkan penglihatan. Dengan demikian, alat ini membantu meningkatkan kemandirian dan rasa aman penyandang tunanetra dalam beraktivitas sehari-hari. Penerapan logika Fuzzy Mamdani pada sistem ini mengolah data sensor jarak, suhu api, dan tingkat bahaya melalui proses fuzzifikasi, aturan IF-THEN, inferensi, dan defuzzifikasi dengan metode centroid untuk menghasilkan tingkat peringatan. Mekanisme ini membuat sistem lebih adaptif dan mendekati cara manusia menilai kondisi, sehingga meningkatkan kemandirian dan rasa aman penyandang tunanetra.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini diperoleh dari dua responden penyandang tunanetra, yaitu Muhammad Risky dan Reni Syakila. Keduanya berperan sebagai pengguna utama dalam proses uji coba sistem, dengan tujuan untuk mengevaluasi sejauh mana alat pemandu jalan yang dirancang mampu memberikan bantuan navigasi yang efektif.

Tabel 1 Representasi Data

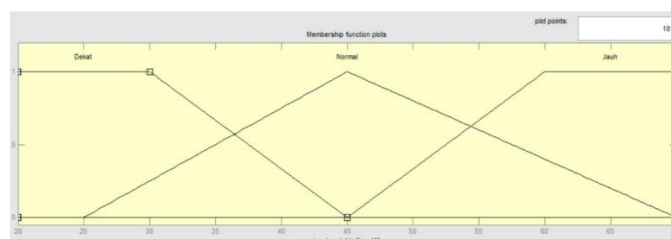
Nama	Objek	Jarak	Suhu Api	Output
Muhammad Risky	Batu	15,9 cm	0 (Tidak Terdeteksi Api)	Bahaya
	Tangga	55 cm		Aman
	Meja	203 cm		Aman
	Galon	35,6 cm		Aman
Reni Syakila	Botol	52,5 cm	0 (Tidak Terdeteksi Api)	Aman
	Papan Tulis	75 cm		Aman

3.2 Perancangan

Pada tahap ini, metode Fuzzy Mamdani diterapkan pada dua data penyandang tunanetra untuk menguji kemampuan sistem dalam mengambil keputusan berdasarkan input sensor. Hasilnya diharapkan dapat memberikan instruksi suara yang akurat dan membantu navigasi pengguna secara efektif.

a. Fuzzifikasi

1. Variabel Jarak



Gambar 3 Fungsi Keanggotaan Variabel Jarak

Dalam kurva fungsi keanggotaan tersebut terdapat 3 kondisi dan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu_{Dekat}[jarak] = \begin{cases} 1; & x \leq 30 \\ \frac{45 - x}{45 - 30}; & 30 \leq x \leq 45; \\ 0; & x \geq 45 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Normal}}[\text{jarak}] = \begin{cases} 0; & x \leq 25 \text{ atau } x \geq 70 \\ \frac{x - 25}{45 - 25}; & 25 \leq x \leq 45 \\ \frac{70 - x}{70 - 45}; & 45 \leq x \leq 70 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Jauh}}[\text{jarak}] = \begin{cases} 0; & x \leq 45 \\ \frac{x - 45}{60 - 45}; & 45 \leq x \leq 60 \\ 1; & x \geq 60 \end{cases}$$

Perhitungan manual fuzzy mamdani pada data jarak Muhammad Riski

$$\mu_{\text{Dekat}}[15,9] = 1$$

$$\mu_{\text{Normal}}[55] = \frac{70-55}{70-45} = \frac{15}{20} = 0,6$$

$$\mu_{\text{Jauh}}[203] = 1$$

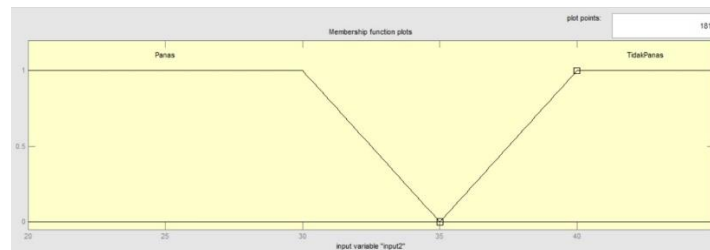
Perhitungan manual fuzzy mamdani data jarak Reni Syakilah

$$\mu_{\text{Dekat}}[35,6] = \frac{45-35,6}{45-30} = \frac{9,4}{15} = 0,6$$

$$\mu_{\text{Normal}}[52,5] = \frac{70-52,5}{70-45} = \frac{17,5}{25} = 0,7$$

$$\mu_{\text{Jauh}}[76] = 1$$

2. Variabel Suhu Api



Gambar 4 Fungsi Keanggotaan Suhu Api

Dalam kurva fungsi keanggotaan tersebut terdapat 2 kondisi dan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu_{\text{Panas}}[\text{suhu api}] = \begin{cases} 1; & x \leq 30 \\ \frac{35 - x}{35 - 30}; & 30 \leq x \leq 35; \\ 0; & x \geq 35 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Tidak Panas}}[\text{suhu api}] = \begin{cases} 1; & x \leq 35 \\ \frac{x - 35}{40 - 35}; & 35 \leq x \leq 40; \\ 0; & x \geq 40 \end{cases}$$

Perhitungan manual fuzzy mamdani pada data suhu api Muhammad Rizki

$$\mu_{\text{Panas}}[0] = 1$$

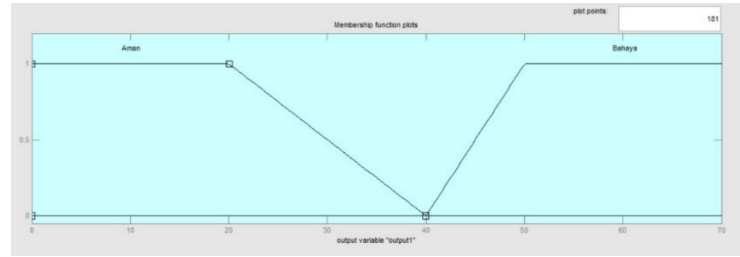
$$\mu_{\text{TidakPanas}}[0] = 0$$

Perhitungan manual fuzzy mamdani pada data suhu api Reni Syakilah

$$\mu_{\text{Panas}}[0] = 1$$

$$\mu_{\text{TidakPanas}}[0] = 0$$

3. Variabel Output



Gambar 5 Fungsi Keanggotaan Variabel Output

Dalam kurva fungsi keanggotaan tersebut terdapat 2 kondisi dan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu_{Aman} = \begin{cases} 1; & x \leq 20 \\ \frac{40-x}{40-20}; & 20 \leq x \leq 40; \\ 0; & x \geq 40 \end{cases}$$

$$\mu_{Bahaya} = \begin{cases} 1; & x \leq 40 \\ \frac{x-40}{50-40}; & 40 \leq x \leq 50; \\ 0; & x \geq 50 \end{cases}$$

b. Aturan Fuzzy

Berdasarkan bentuk umum dari aturan dasar fuzzy Mamdani dan total himpunan fuzzy dari masing-masing variabel input, dapat dibentuk 6 aturan fuzzy yang mungkin ada. Adapun aturan-aturan tersebut akan diuraikan sebagai berikut:

Tabel 2 Aturan Fuzzy Variabel

No	Input		Output
	Jarak	Suhu Api	Tingkat Bahaya
R1	Dekat	Panas	Bahaya
R2	Dekat	Tidak Panas	Bahaya
R3	Normal	Panas	Bahaya
R4	Normal	Tidak Panas	Aman
R5	Jauh	Panas	Bahaya
R6	Jauh	Tidak Panas	Aman

c. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi perhitungan manual Muahammad Risky

$$\alpha - [R1] = \min(\mu_{dekat}[15,9] \cap \mu_{panas}[0]) = \min(1 \cap 1) = 1$$

$$\alpha - [R2] = \min(\mu_{dekat}[15,9] \cap \mu_{tidakpanas}[0]) = \min(1 \cap 0) = 0$$

$$\alpha - [R3] = \min(\mu_{normal}[55] \cap \mu_{panas}[0]) = \min(0,6 \cap 1) = 0,6$$

Fungsi implikasi aturan

$$Z_n = Z_{max} - \alpha \text{-predikatn} \times (Z_{max} - Z_{min}) = 40 - 0,6 \times (50 - 40) = 34$$

$$\alpha - [R4] = \min(\mu_{normal}[55] \cap \mu_{tidakpanas}[0]) = \min(0,6 \cap 0) = 0$$

$$\alpha - [R5] = \min(\mu_{jauh}[203] \cap \mu_{panas}[0]) = \min(0 \cap 1) = 0$$

$$\alpha - [R6] = \min(\mu_{Jauh}[203] \cap \mu_{Tidakpanas}[0]) = \min (0 \cap 0) = 0$$

Selanjutnya menghitung nilai defuzzyfikasi dengan rumus *weight avarage* (WA) :

$$WA = \frac{(a_1 * z_n) + a_1 * z_n}{a_1 * z_n} = \frac{(1.50) + (0.40) + (0.6.34) + (0.40) + (0.40) + (0.40)}{1 + 0 + 0.6 + 0 + 0 + 0} = \frac{70.4}{1.6} = 44$$

2. Defuzzyfikasi perhitungan manual Reni Syahkilah

$$\alpha - [R1] = \min(\mu_{dekat}[35,6] \cap \mu_{panas}[0]) = \min (0,6 \cap 1) = 0,6$$

Fungsi implikasi aturan

$$Z_n = Z_{max} - \alpha \text{-predikatn} \times (Z_{max} - Z_{min}) = 40 - 0,6 \times (50 - 40) = 34$$

$$\alpha - [R2] = \min(\mu_{dekat}[35,6] \cap \mu_{tidakpanas}[0]) = \min (0,6 \cap 0) = 0$$

$$\alpha - [R3] = \min(\mu_{normal}[52,5] \cap \mu_{panas}[0]) = \min (0,7 \cap 1) = 0,7$$

Fungsi implikasi aturan

$$Z_n = Z_{max} - \alpha \text{-predikatn} \times (Z_{max} - Z_{min}) = 40 - 0,7 \times (50 - 40) = 33$$

$$\alpha - [R4] = \min(\mu_{normal}[52,5] \cap \mu_{tidakpanas}[0]) = \min (0,7 \cap 0) = 0$$

$$\alpha - [R5] = \min(\mu_{Jauh}[76] \cap \mu_{panas}[0]) = \min (1 \cap 1) = 1$$

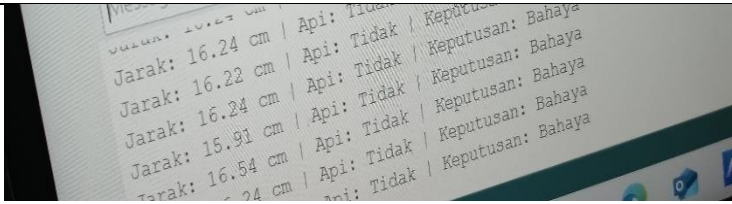
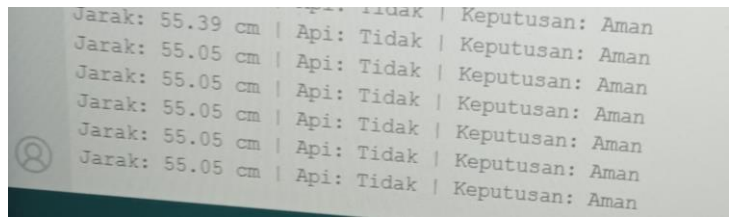
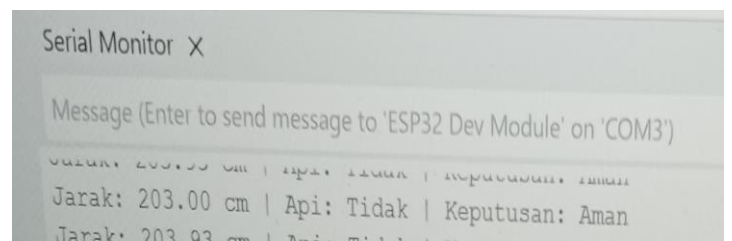
$$\alpha - [R6] = \min(\mu_{Jauh}[76] \cap \mu_{Tidakpanas}[0]) = \min (0 \cap 0) = 0$$

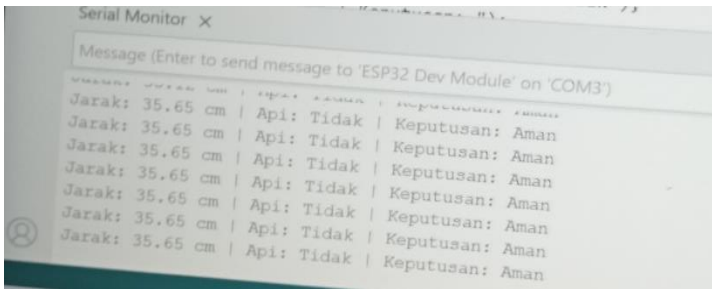
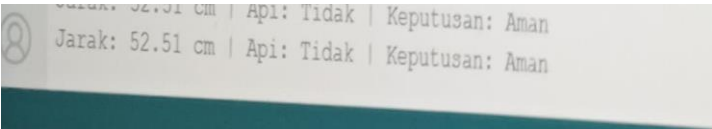
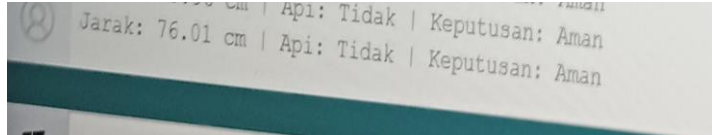
Selanjutnya menghitung nilai defuzzyfikasi dengan rumus *weight avarage* (WA) :

$$WA = \frac{(a_1 * z_n) + a_1 * z_n}{a_1 * z_n} = \frac{(0,6.34) + (0,7.33) + (1.20)}{0,6 + 0,7 + 1} = \frac{63,5}{2,3} = 27,6$$

3.3 Analisis Sistem

Tabel 3 Tampilan Hasil Serial Monitor

Nama	Objek	Output
Muhammad Risky	Batu	
Muhammad Risky	Tangga	
Muhammad Risky	Meja	

Reni Syakila		
	Galon	
	Botol	
Reni Syakilah		
	Papan	
Reni Syalilah	Tulis	

3.4 Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem tongkat pemandu jalan bagi penyandang tunanetra yang dirancang menggunakan metode logika fuzzy Mamdani. Sistem ini mengintegrasikan sensor ultrasonik untuk mengukur jarak objek di depan pengguna dalam rentang 0–60 cm, serta sensor infrared untuk mendeteksi api dalam kisaran 20–45 °C.

Pengujian dilakukan dengan memberikan berbagai kombinasi nilai input dari kedua variabel tersebut, untuk mengamati bagaimana sistem menentukan respon peringatan atau tindakan yang telah di rancang melalui earphone yaitu bunyi peringatan.

Tabel 4 Pengujian Alat

No	Pengujian	Gambar
1	Pengujian Alat pada Objek Pertama Tas Ransel	
2	Pengujian Alat pada Objek Kedua Sepeda Motor	

3 Pengujian Alat pada Objek
Ketiga Kursi



4 Pengujian Alat Pada Suhu
Api



Untuk mengetahui kinerja sistem yang dirancang, dilakukan serangkaian pengujian pada tongkat pemandu tunanetra. Hasil pengujian disajikan pada Tabel berikut

Tabel 5 Tabel Hasil Pengujian Tongkat Pemandu Tunanetra

No	Jarak Sebenarnya (cm)	Kategori Seharusnya (Fuzzy)	Output Alat	Akurasi Deteksi Kategori	Akurasi Numerik Sensor	Waktu Respn (detik)
1	15,91	Dekat	Bahaya	100%	99,9% (jika sensor = 16 cm)	0,5 - 0,6
2	35,65	Dekat	Aman	0%	99,8% (jika sensor = 36 cm)	0,6 - 0,7
3	52,5	Sedang	Aman	100%	99% (jika sensor = 53 cm)	0,6
4	55,05	Sedang	Aman	100%	99,1% (jika sensor = 55 cm)	0,5
5	76,01	Jauh	Aman	100%	99,9% (jika sensor = 76 cm)	0,5
6	203	Jauh	Aman	100%	99,5% (jika sensor = 202 cm)	0,5 - 0,6

3.5 Penerapan

Implementasi alat pemandu jalan bagi penyandang tunanetra menggunakan metode fuzzy Mamdani diterapkan di berbagai lingkungan seperti di dalam maupun di luar ruangan, khususnya di Yayasan Sahabat Anak Bangsa, Gg. Madrasah Jati Makmur, Kecamatan Binjai Utara, Kota Binjai, Sumatera Utara.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan tongkat pemandu berbasis logika fuzzy Mamdani yang efektif mendeteksi rintangan dan mengenali suhu lingkungan. Sistem menggunakan input jarak (0–60 cm) dan suhu (20–45°C) yang diklasifikasikan ke dalam tiga kategori fuzzy, dengan output berupa peringatan suara melalui earphone. Pengujian menunjukkan sensor ultrasonik memiliki akurasi deteksi tinggi, sedangkan sensor inframerah mampu mengenali sumber panas seperti api. Uji coba langsung pada dua penyandang tunanetra membuktikan bahwa alat dapat mengenali berbagai objek dan memberikan peringatan real-time yang mudah dipahami. Hasil numerik menunjukkan akurasi deteksi mencapai 100% pada sebagian besar kondisi, rata-rata akurasi sensor di atas 99%, serta waktu respons cepat (0,5–0,7 detik). Dengan demikian, sistem ini terbukti andal, adaptif, dan bermanfaat untuk meningkatkan mobilitas serta kemandirian penyandang tunanetra.

REFERENCES

- [1] N. Simanjuntak, R. L. Ginting, M. P. Setianta, N. A. Salsabila, and S. Hidayah, “Proses Adaptasi Anak Tunanetra Terhadap Lingkungan Masyarakat,” *J. Inov. Penelit. Ilmu Pendidik. Indones. Vol.*, vol. 2, no. 1, pp. 80–85, 2025.
- [2] H. Fawwaz, D. Kusumawati, M. Rayyaan, F. Rakhim, and H. Fabroyir, “Asisten Tunanetra berbasis Voice User Interface dan Realtime Video to Voice Recognition,” vol. 2, no. SDGs 10, pp. 3–7, 2024.
- [3] A. Haslindah, S. Sukirman, A. W. Hakis, and N. I. T. Sa’na, “Pengembangan Alat Bantu Jalan Tunanetra Dengan Tongkat Cerdas Berbasis Arduino,” *ILTEK J. Teknol.*, vol. 19, no. 01, pp. 12–17, 2024, doi: 10.47398/iltek.v19i01.108.
- [4] T. Cinnotabi, A. Bin Anuar, and A. Kadir, “Pada Penyandang Disabilitas Fisik,” vol. 10, no. 1, pp. 55–73, 2025.
- [5] A. B. Ramadhan and R. Pramdhana, “Alat Deteksi Objek pada Tongkat Bantu Tunanetra Berbasis Kamera,” no. 18524108, 2022.
- [6] A. Indra, Y. Brianorman, and R. W. S. Insani, “Implementasi Fuzzy Mamdani Untuk Mengontrol Motor Getar Pada Gelang Khusus Tuna Netra (Pendeteksi Jarak Suatu Objek),” *Digit. Intell.*, vol. 3, no. 1, p. 1, 2022, doi: 10.29406/diligent.v3i1.3820.
- [7] M. Muntahanah, S. Handayani, and L. Lidia, “Penerapan Metode Fuzzy Mamdani Penentuan Strategi Belajar Siswa Pada Persiapan Ujian Nasional Berbasis Komputer (UNBK),” *Pseudocode*, vol. 8, no. 2, pp. 108–117, 2021, doi: 10.33369/pseudocode.8.2.108-117.
- [8] I. Ahmad, A. Anantama, A. Wantoro, A. S. Puspaningrum, L. P. Deviana, and M. B. Maharani, “Implementasi Metode Fuzzy Pada Sistem Sirkulasi Udara Berbasis Internet of Things,” *J. Tek. dan Sist. Komput.*, vol. 9, no. 2, pp. 1–11, 2021.
- [9] Nicole Mahdi Wardana, “Rancang Bangun Sistem Radar Menggunakan Mikrokontroler untuk Pendeteksi Objek Otomatis,” *Ocean Eng. J. Ilmu Tek. dan Teknol. Marit.*, vol. 3, no. 2, pp. 48–62, 2024, doi: 10.58192/ocean.v3i2.2180.
- [10] G. K. Y. Arlingga and A. Widodo, “Pengembangan Media Video Tutorial Pembelajaran Mikrokontroler Arduino Pada Mata Pelajaran Teknik Pemrograman Mikroprosesor dan Mikrokontroler di SMK,” *Edukatif J. Ilmu Pendidik.*, vol. 3, no. 5, pp. 2638–2651, 2021, doi: 10.31004/edukatif.v3i5.866.
- [11] F. A. Aryatama and S. Samsugi, “Sistem Keamanan Kendaraan Bermotor Dengan ESP32 Menggunakan Kontrol Android,” *Smatika J.*, vol. 14, no. 01, pp. 167–181, 2024, doi: 10.32664/smatika.v14i01.1267.
- [12] *et al.*, “Perbandingan Kinerja Arduino Uno dan ESP32 Terhadap Pengukuran Arus dan Tegangan,” *J. Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 13, no. 1, pp. 35–47, 2021, doi: 10.5614/joki.2021.13.1.4.
- [13] M. Rio and Z. Wulansari, “Perancangan Alat Otomasi Menggunakan Sensor Yang Diperlukan,” vol. 4, no. 2, pp. 315–320, 2020.
- [14] S. Juliana Taneo, J. Tarigan, F. Rambu Ngana, and A. Ch Louk, “Rancang Bangun Alat Bantu Jalan Untuk Penyandang Tunanetra Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Arduino,” *J. Fis. Fis. Sains dan Apl.*, vol. 7, no. 1, pp. 82–84, 2022.
- [15] Muharomeita Aulia, Ekawati Prihatini, and Nyayu Latifah Husni, “Perancangan Kendali Alat Bantu Tunanetra Berbasis Fuzzy Logic,” *J. Rekayasa Elektro Sriwij.*, vol. 1, no. 2, pp. 62–70, 2020, doi: 10.36706/jres.v1i2.15.
- [16] N. R. Ramadhan *et al.*, “Rancang Bangun Alat Bantu Jalan Sebagai Pendukung Aktivitas Penyandang Tunanetra Berbasis Mikrokontroler Atmega 328,” *J. Ilm. Multidisiplin*, vol. 1, no. 2, pp. 149–155, 2022, doi: 10.5281/zenodo.7885286.
- [17] R. R. P. Rio Rezky Parirak and Y. Kolyaan, “Rancang Bangun Smart Stick Sebagai Alat Bantu Jalan Bagi Penyandang Tunanetra Berbasis Mikrokontroler Arduino,” *J. Sci. Res. Dev.*, vol. 4, no. 2, pp. 269–275, 2023, doi: 10.56670/jsrd.v4i2.75.
- [18] R. Soekarta, D. Yapari, and M. ismail Zulkaedi, “Rancang Bangun Alat Bantu Tuna Netra Menggunakan Tongkat Dengan Sensor Ultrasonik,” *Insect (Informatics Secur. J. Tek. Inform.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–9, 2021, doi: 10.33506/insect.v7i1.1688.