SKRIPSI

PERBANDINGAN LOGIKA *FUZZY* MAMDANI DAN *THRESHOLDING* DALAM SISTEM PERINGATAN SUARA PADA TONGKAT PINTAR TUNA NETRA

DISUSUN OLEH

DESI LUVITA SARI RITONGA
2209020219

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN

2026

PERBANDINGAN LOGIKA *FUZZY* MAMDANI DAN *THRESHOLDING* DALAM SISTEM PERINGATAN SUARA PADA TONGKAT PINTAR TUNA NETRA

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom) dalam Program Studi Tenologi Informasi. Pada Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

DESI LUVITA SARI RITONGA

2209020219

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI

FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : Perbandingan Logika fuzzy Mamdani dan Thresholding Dalam Sistem Peringatan Suara Pada Tongkat Pintar Tuna Netra

Nama Mahasiswa : Desi Luvita Sari Ritonga

NPM : 2209020219

Program Studi : Teknologi Informasi

Menyetujui

Komisi Pembimbing

(Mulkan Azhari S.Kom, M.Kom)

NIDN. 0108129402

Ketua Program Studi

Fatma Sari Hutagalung, S.Kom, M.Kom

NIDN. 0117019301

Dekan

(Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom.)

NIDN. 0127099201

PERNYATAAN ORISINALITAS

PERBANDINGAN LOGIKA *FUZZY* MAMDANI DAN *THRESHOLDING* DALAM SISTEM PERINGATAN SUARA PADA TONGKAT PINTAR TUNA NETRA

SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah hasil karya sendiri, kecuali beberapa kutipan dan ringkasan yang masing-masing disebutkan sumbernya.

Medan, Juni 2026

Yang membuat pernyataan



Desi Luvita Sari Ritonga

NPM. 2209020219

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH
UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama	: Desi Luvita Sari Ritonga
NPM	: 2209020219
Program Studi	: Teknologi Informasi
Karya Ilmiah	: Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Hak Bedas Royalti Non-Eksekutif *(Non-Exclusive Royalty free Right)* atas penelitian skripsi saya yang berjudul:

PERBANDINGAN LOGIKA *FUZZY* MAMDANI DAN *THRESHOLDING* DALAM SISTEM PERINGATAN SUARA PADA TONGKAT PINTAR TUNA NETRA

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksekutif ini, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara berhak menyimpan, mengalih media, memformat, mengelola dalam bentuk database, merawat dan mempublikasikan Skripsi saya ini tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemegang dan atau sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Medan, Juni 2026
Yang membuat pernyataan

Desi Luvita Sari Ritonga
NPM. 2209020219

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Desi Luvita Sari Ritonga

Tempat dan Tanggal Lahir : PTTN SIHOPUK BARU, 21 Juli 2003

Alamat Rumah : JL. Menteng VII Gg. Madrasah 7A

Telepon/Faks/HP : 082211052027

E-mail : desiluvitasari970@gmail.com

Instansi Tempat Kerja : -

Alamat Kantor : -

DATA PENDIDIKAN

SD	: Negeri 101220 Pasar Ujung Batu	TAMAT: 2016
SMP	: Negeri 4 Hutaraja Tinggi	TAMAT: 2019
SMA	: Negeri 1 Hutaraja Tinggi	TAMAT: 2022

KATA PENGANTAR



Pendahulu

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan kurunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul "Perbandingan Logika fuzzy Mamdani dan Thresholding Dalam Sistem Peringatan Suara Pada Tongkat Pintar Tuna Netra". Penulis menyampaikan berterima kasih kepada berbagai pihak atas dukungan serta doa dalam proses penyelesaian skripsi. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Akrim, M.Pd., Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU).
2. Bapak Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom. Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
3. Ibu Dr. Firahmi Rizky, S.Kom., M.Kom. Wakil Dekan I Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi
4. Bapak Mhd. Basri, S.Si, M.Kom**.** Wakil Dekan III Wakil Dekan III Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi.
5. Ibu Fatma Sari Hutagalung, S.Kom., M.Kom. Ketua Program Studi Teknologi Informasi.
6. Bapak Okvi Nugroho, S.Kom., M.Kom. Sekretaris Program Studi Teknologi Informasi.

7. Bapak Mulkan Azhari, S.Kom., M.Kom. Selaku Dosen Pembimbing Skripsi Penulis Terimakasih atas bimbingan, arahan, dan dukungan yang telah diberikan selama proses penyusunan skripsi ini sehingga dapat diselesaikan dengan baik.
8. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada kedua orang tua tercinta atas doa, dukungan, kasih sayang tiada henti. Setiap lelah yang penulis rasakan terasa lebih ringan karena adanya semangat dan kepercayaan dari ayah dan mamak. Karya ini penulis persembahkan sebagai bentuk rasa hormat dan terima kasih yang mendalam.
9. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada alm. Kakek dan nenek tercinta yang semasa hidupnya selalu memberikan kasih sayang, doa, dan semangat kepada penulis. Walaupun kakek dan nenek sudah tidak bersama kami lagi, kenangan dan nasehat akan selalu penulis ingat serta menjadi penyemangat dalam menjalani kehidupan.
10. Febri dan Tasya yang menjadi sahabat penulis sejak masa perkuliahan. Segala canda, tawa, suka, sedih, dan diskusi larut malam menjadi bagian dari perjuangan yang tidak terasa sendiri. Bersama kalian, hari-hari di kampus berubah menjadi cerita yang layak dikenang. Penulis merasa bersyukur dipertemukan oleh orang yang tulus, setia, dan ceria seperti kalian. Terima kasih telah bertahan di sisi penulis di kala banyak masalah yang dihadapi bersama. Kalian bukan sekedar teman, tapi bagian dari perjalanan yang akan selalu hidup dalam ingatan penulis.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu memberikan pemikiran demi kelancaran dan keberhasilan

penyusunan skripsi ini.

12. Dan yang terakhir untuk diri saya sendiri, Desi Luvita Sari Ritonga. Terima kasih sudah bertahan sejauh ini. Untuk malam-malam penuh tekanan dan air mata terimakasih karena tetap memilih melangkah meski jalan tidak selalu ramah. Kini telah sampai, maka berbahagialah dimanapun berada. Apresiasi sebesar-besarnya karena telah bertanggung jawab untuk menyelesaikan apa yang telah dimulai. Dengan kurang dan lebihmu mari merayakan keberanianmu itu.

PERBANDINGAN LOGIKA *FUZZY* MAMDANI DAN *THRESHOLDING* DALAM SISTEM PERINGATAN SUARA PADA TONGKAT PINTAR TUNA NETRA

ABSTRAK

Penyandang tunanetra membutuhkan alat bantu yang mampu mendeteksi rintangan secara cepat dan memberikan informasi yang mudah dipahami saat berjalan. Penelitian ini bertujuan membandingkan metode Thresholding dan Logika Fuzzy Mamdani pada sistem tongkat pintar berbasis Arduino Uno. Sistem menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04, sensor Proximity Infrared E18-D80NK, dan sensor air untuk mendeteksi rintangan serta genangan. Data sensor diproses menggunakan metode Thresholding dan Fuzzy Mamdani untuk menghasilkan keputusan tingkat bahaya yang kemudian diterjemahkan menjadi peringatan suara melalui DFPlayer Mini dan speaker. Metode Thresholding menggunakan batas tetap 50 cm sehingga menghasilkan respon yang cepat dan sederhana. Sementara itu, metode Fuzzy Mamdani menggunakan proses fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi sehingga menghasilkan respon yang lebih bertahap dan fleksibel terhadap perubahan jarak. Pengujian dilakukan pada jarak 10 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm, dan 70 cm untuk membandingkan performa kedua metode. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Thresholding memiliki respon cepat namun perubahan output terjadi secara mendadak, sedangkan metode Fuzzy Mamdani menghasilkan respon yang lebih halus, stabil, dan adaptif terhadap perubahan jarak rintangan.

Kata Kunci: Tongkat pintar tunanetra, Arduino Uno, Thresholding, Logika Fuzzy Mamdani.

COMPARISON OF MAMDANI FUZZY LOGIC AND THRESHOLDING IN A VOICE WARNING SYSTEM FOR A SMART CANE FOR THE VISUALLY IMPAIRED

ABSTRACT

Visually impaired people require assistive devices capable of detecting obstacles quickly and providing understandable information while walking. This research aims to compare the Thresholding and Mamdani Fuzzy Logic methods in an Arduino Uno-based smart cane system. The system uses HC-SR04 ultrasonic sensors, Proximity Infrared E18-D80NK sensors, and water sensors to detect obstacles and puddles. Sensor data are processed using the Thresholding and Mamdani Fuzzy methods to produce danger-level decisions which are then converted into voice warnings through DFPlayer Mini and speakers. The Thresholding method applies a fixed limit of 50 cm to produce fast and simple responses. Meanwhile, the Mamdani Fuzzy method uses fuzzification, inference, and defuzzification processes to generate more gradual and flexible responses toward distance changes. Testing was conducted at distances of 10 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm, and 70 cm to compare the performance of both methods. The results show that the Thresholding method provides fast responses but sudden output changes, while the Mamdani Fuzzy method produces smoother, more stable, and adaptive responses to obstacle distance changes.

Keywords: Smart cane for visually impaired, Arduino Uno, Thresholding, Mamdani Fuzzy Logic.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ..... **i**
PERNYATAAN ORISINALITAS ..... **ii**
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH ..... **iii**
RIWAYAT HIDUP ..... **iv**
KATA PENGANTAR ..... **v**
ABSTRAK ..... **viii**
ABSTRACT ..... **ix**
DAFTAR ISI ..... **x**
DAFTAR TABEL ..... **xiii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiv**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 4
1.5 Manfaat Penelitian 5
BAB II LANDASAN TEORI **6**
2.1 Tongkat Pintar Tunanetra (Smart Cane) 6
2.2 Sistem Embedded System 7
2.3 Perangkat Keras (Hardware) 7
2.3.1 Arduino Uno 7
2.3.2 Sensor Ultrasonik 9
2.3.3 Sensor Proximity Infrared (E18-D80NK) 10
2.3.4 Baterai 18650 Rechargeable 11
2.3.5 Amplifier PAM8403 12
2.3.6 Regulator Tegangan XL4005 13
2.3.7 Speaker Mini 14
2.3.8 DFPlayer Mini 15
2.4 Metode Pengambilan Keputusan 16
2.4.1 Metode Thresholding 16
2.4.2 Logika Fuzzy Mamdani 18
2.5 Perbandingan Thresholding dan Logika Fuzzy Mamdani 22
2.6 Monitoring dan Pencatatan Data Real-Time 22
2.7 Ringkasan Penelitian Terdahulu 23
2.8 Analisis GAP 25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN **28**
3.1 Tahapan Awal Penelitian 28
3.2 Kebutuhan Fungsi Sistem 28
3.3 Teknik Pengumpulan Data 29
3.3.1 Observasi 30
3.3.2 Studi Pustaka 30
3.3.3 Eksperimen / Pengujian 30
3.4 Prosedur Alur Penelitian 31
3.5 Analisis Kebutuhan Perancangan 32
3.5.1 Analisis Kebutuhan Hardware 33

3.5.2 Analisis Kebutuhan Software 34
3.5.3 Analisis Kebutuhan Bahan 35
3.6 Perancangan dan Implementasi Sistem 36
3.6.1 Diagram Blok Sistem 39
3.6.2 Prinsip Kerja Sistem 41
3.7 Jadwal Penelitian 42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 43
4.1 Implementasi Sistem 43
4.2 Analisis Kode Program 43
4.2.1 Implementasi Metode Thresholding 44
4.2.2 Implementasi Logika Fuzzy Mamdani 45
4.2.3 Catatan Implementasi: Kondisi Jalan Sempit Tidak Terjangkau .46
4.3 Analisis Fungsi Keanggotaan dan Nilai Defuzzifikasi 47
4.4 Hasil Pengujian Eksperimental 48
4.4.1 Pengujian Deteksi Rintangan Sensor Ultrasonik Sisi Kiri 48
4.4.2 Pengujian Deteksi Rintangan Sensor Ultrasonik Sisi Kanan 50
4.4.3 Pengujian Deteksi Rintangan Sensor Infrared (Depan) 51
4.4.4 Pengujian Deteksi Genangan Air 51
4.5 Analisis Perbandingan Performa 52
4.5.1 Perbandingan Batas Deteksi Efektif 52
4.5.2 Perbandingan Waktu Respons Sistem 53
4.5.3 Perbandingan Sistem Delay dan Responsivitas Ulang 54
4.5.4 Perbandingan Prioritas Notifikasi 54
4.5.5 Perbandingan Stabilitas Output di Zona Batas 55
4.6 Ringkasan Perbandingan Performa 56
4.7 Pembahasan 57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 59
5.1 Kesimpulan 59
5.2 Saran 61
DAFTAR PUSTAKA 63
Lampiran 65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ringkasan Penelitian Terdahulu 24
Tabel 3.1 Analisis Kebutuhan Hardware 33
Tabel 3.2 Analisis Kebutuhan *Software* 34
Tabel 3.3 Analisis Kebutuhan Bahan Perancangan 35
Tabel 3.4 Jadwal Penelitian 42
Tabel 4.1 Parameter Logika Thresholding 44
Tabel 4.2 Spesifikasi Himpunan Fuzzy Input (Variabel Jarak) 45
Tabel 4.3 Spesifikasi Himpunan Fuzzy Output (Variabel Status) …..... 45
Tabel 4.4 Rule Base Logika Fuzzy Mamdani 45
Tabel 4.5 Nilai Keanggotaan Input dan Hasil Defuzzifikasi Output per Jarak Uji 47
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Ultrasonik Kiri – Metode Thresholding 48
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Ultrasonik Kiri – Metode Fuzzy Mamdani 49
Tabel 4.8 Ringkasan Hasil Pengujian Ultrasonik Kanan – Kedua Metode 50
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Deteksi Sensor IR Depan – Kedua Metode 51
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Deteksi Genangan Air – Kedua Metode 51
Tabel 4.11 Perbandingan Batas Deteksi Efektif Ultrasonik 52
Tabel 4.12 Perbandingan Rata-Rata Waktu Respons (ms) 53
Tabel 4.13 Perbandingan Parameter Delay Sistem 54
Tabel 4.14 Perbandingan Urutan Prioritas Notifikasi Suara 54
Tabel 4.15 Hasil Uji Stabilitas Output di Zona Batas Keputusan 55
Tabel 4.16 Ringkasan Komprehensif Perbandingan Performa 56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arduino Uno 8
Gambar 2.2 Sensor Ultrasonik 9
Gambar 2.3 Sensor *Proximity Infrared* (E18-D80NK) 10
Gambar 2.4 Baterai 18650 Rechargeable 11
Gambar 2.5 Amplifier PAM8403 12
Gambar 2.6 Regulator Tegangan XL4005 13
Gambar 2.7 Speaker Mini 14
Gambar 2.8 Dfplayer 16
Gambar 2.9 Diagram Logika *Fuzzy* Mamdani 19
Gambar 3.1 Prosedur/Flowchart Alur Penelitian 28
Gambar 3.2 Perancangan Rangkaian Sistem 37
Gambar 3.3 Perancangan Sistem Tongkat Pintar Tuna Netra 38
Gambar 3.4 Diagram Blok Sistem 40

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyandang tunanetra menghadapi hambatan mobilitas karena keterbatasan informasi visual untuk mengenali rintangan dan menjaga keselamatan saat berjalan. Alat bantu yang paling umum digunakan adalah tongkat putih (konvensional), tetapi tongkat ini bekerja terutama melalui kontak fisik dan jangkauannya terbatas pada area dekat permukaan, sehingga rintangan sering terdeteksi ketika sudah sangat dekat. Penelitian pilot study tahun 2025 tentang aksesori tongkat pintar menegaskan bahwa tongkat konvensional cenderung tidak efektif mendeteksi rintangan di atas pinggang *(above-waist obstacles)* (mis. palang, dahan, bagian kendaraan) yang berisiko menyebabkan benturan dan menurunkan keamanan mobilitas di luar ruang (Malla et al. 2023).

Perkembangan teknologi asistif mendorong pengembangan tongkat pintar *(smart cane)* yang menggabungkan sensor, pemrosesan keputusan, dan umpan balik (audio/haptik) untuk meningkatkan keselamatan serta kemandirian. *Review* terbuka tahun 2025 menekankan bahwa smart cane modern dibangun dari sinergi persepsi–pengambilan keputusan–*feedback* dengan pendekatan desain berpusat pada pengguna. Pada implementasinya, sensor ultrasonik banyak digunakan karena mampu mengukur jarak rintangan secara *real-time* sehingga peringatan dapat diberikan sebelum terjadi kontak fisik; riset 2025 juga menunjukkan penerapan sistem yang menggabungkan ultrasonik untuk estimasi jarak dan menghasilkan peringatan berbasis jarak serta tingkat bahaya *(severity)* secara *real-time.*

Namun, keberhasilan sistem peringatan suara tidak hanya ditentukan oleh sensor, tetapi juga oleh metode yang menerjemahkan data jarak menjadi keluaran peringatan. Metode *thresholding* sederhana dan cepat karena membandingkan jarak dengan ambang tertentu, tetapi perubahan output bisa terasa mendadak (mis. *"on–off"* di sekitar batas ambang) sehingga berpotensi mengganggu kenyamanan pengguna. Sebagai alternatif, Logika *Fuzzy* Mamdani memetakan jarak ke label linguistik (dekat–jarak aman) melalui aturan, sehingga transisi keluaran lebih halus dan adaptif. Hal ini didukung oleh studi 2025 di JESTEC yang menggunakan pendekatan Mamdani Type-1 *fuzzy* untuk meningkatkan deteksi rintangan dan mengatur respons umpan balik secara lebih adaptif pada konteks navigasi tunanetra (Ibrahim et al. 2025).

Metode *thresholding* dan logika *fuzzy* Mamdani memiliki perbedaan utama dalam cara pengambilan keputusan dari data jarak. *Thresholding* bekerja dengan membandingkan nilai input terhadap batas ambang tertentu sehingga menghasilkan keputusan yang cepat dan sederhana, namun perubahan output bersifat kaku dan terjadi secara tiba-tiba ketika melewati nilai ambang. Sebaliknya, logika *fuzzy* Mamdani menggunakan pendekatan berbasis himpunan fuzzy dan aturan linguistik *(IF–THEN)* yang mampu menangani ketidakpastian serta menghasilkan output yang lebih halus dan adaptif terhadap perubahan nilai input. Metode *fuzzy* Mamdani juga melibatkan proses fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi sehingga lebih kompleks dibanding *thresholding*, tetapi mampu merepresentasikan pengetahuan manusia dalam bentuk aturan dan memberikan hasil yang lebih stabil pada sistem non-linear . Oleh karena itu, *thresholding* lebih unggul dari segi kesederhanaan dan kecepatan komputasi, sedangkan *fuzzy*

Mamdani lebih unggul dalam fleksibilitas dan kualitas keputusan yang dihasilkan (Rumalowak, Lesnussa, and Rumlawang 2023).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana perbedaan kinerja metode *Thresholding* dan Logika *Fuzzy* Mamdani dalam menerjemahkan data jarak rintangan yang diperoleh dari sensor menjadi peringatan suara pada sistem tongkat pintar tunanetra. Perbandingan tersebut dilihat dari beberapa aspek seperti kecepatan *respons (delay)* sistem, akurasi dan keandalan deteksi rintangan pada berbagai jarak, serta stabilitas keluaran suara agar tidak sering berubah secara tiba-tiba di sekitar batas jarak. Melalui perbandingan kedua metode tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui metode yang lebih efektif dalam menghasilkan sistem peringatan suara yang dapat membantu meningkatkan keselamatan dan kenyamanan mobilitas pengguna tunanetra.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem tongkat pintar pada penelitian ini difokuskan pada fungsi deteksi rintangan dan pemberian peringatan suara berbasis sensor jarak.
2. Keluaran sistem berupa *audio warning* (peringatan suara) sebagai indikator jarak rintangan terhadap pengguna.
3. Penelitian ini hanya membandingkan dua metode pengambilan keputusan, yaitu *Thresholding* dan Logika *Fuzzy* Mamdani dalam mengolah data jarak menjadi tingkat peringatan suara.

4. Pengujian sistem dilakukan pada beberapa variasi jarak rintangan dengan objek statis.
5. Lingkungan pengujian dilakukan pada lingkungan uji sederhana, baik di dalam ruangan *(indoor)* maupun di luar ruangan *(outdoor).*
6. Parameter evaluasi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:
    - Waktu *respons* sistem
    - Akurasi deteksi jarak
    - Stabilitas pola bunyi yang dihasilkan
7. Penelitian ini tidak membahas fitur tambahan, seperti:
    - Navigasi berbasis GPS
    - Pengenalan objek menggunakan kamera atau kecerdasan buatan (AI)
    - Komunikasi IoT
    - Desain mekanik tongkat secara mendalam

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah membandingkan dan menentukan metode yang paling optimal antara Logika *Fuzzy* Mamdani dan *Thresholding* dalam sistem peringatan suara pada tongkat pintar tunanetra, dengan cara mengevaluasi kemampuan masing-masing metode dalam mengolah data jarak rintangan (misalnya dari sensor ultrasonik) menjadi keluaran peringatan yang cepat, akurat, stabil, dan nyaman bagi pengguna. Secara khusus, penelitian bertujuan untuk:

1. Mengimplementasikan kedua metode pada sistem tongkat pintar berbasis sensor jarak;

2. Mengukur serta membandingkan waktu *respons/delay,* ketepatan deteksi jarak pada berbagai skenario rintangan, dan stabilitas output suara (minim *fluktuasi/on–off);*
3. Serta menyimpulkan metode yang paling efektif sebagai rekomendasi penerapan untuk meningkatkan keselamatan dan kenyamanan mobilitas penyandang tunanetra.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Akademis

   Menambah kajian ilmiah tentang perbandingan metode pengambilan keputusan *Thresholding* dan Logika *Fuzzy* Mamdani pada perangkat asistif berbasis sensor jarak. Memberikan bukti eksperimen terukur (mis. *delay respons,* akurasi deteksi jarak, stabilitas output suara) yang dapat dijadikan rujukan untuk penelitian sejenis. Menyediakan dasar pengembangan lanjutan berupa parameter/konfigurasi metode (nilai ambang, aturan *fuzzy*, dan fungsi keanggotaan) untuk meningkatkan performa sistem peringatan pada *smart cane*.

2. Manfaat Praktis

   Membantu menentukan metode yang menghasilkan peringatan suara yang lebih cepat, akurat, dan stabil (tidak mudah *on–off*), sehingga lebih nyaman dipakai pengguna tunanetra. Berkontribusi meningkatkan keselamatan mobilitas dengan memberi peringatan dini sebelum terjadi benturan, termasuk terhadap rintangan yang sulit terdeteksi tongkat konvensional. Menjadi acuan bagi pengembang dalam merancang tongkat pintar yang lebih efisien dan aplikatif untuk penggunaan sehari-hari.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tongkat Pintar Tunanetra (*Smart Cane*)

Tongkat pintar tunanetra merupakan pengembangan dari tongkat konvensional yang dilengkapi dengan teknologi sensor dan mikrokontroler untuk membantu penyandang tunanetra dalam mendeteksi rintangan di lingkungan sekitar. Berbeda dengan tongkat konvensional yang hanya mengandalkan sentuhan fisik untuk mendeteksi objek, tongkat pintar mampu memberikan peringatan dini sebelum terjadi kontak langsung dengan rintangan. Hal ini memungkinkan pengguna untuk mengambil tindakan lebih cepat sehingga meningkatkan keselamatan dan kenyamanan saat berjalan.

Pada sistem tongkat pintar, sensor jarak seperti sensor ultrasonik sering digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek di depan pengguna. Sensor tersebut mengirimkan gelombang ultrasonik dan menerima pantulan gelombang dari objek, kemudian menghitung jarak berdasarkan waktu tempuh gelombang tersebut. Data jarak yang diperoleh kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk menghasilkan output berupa peringatan suara atau getaran sebagai informasi bagi pengguna.

Penggunaan tongkat pintar juga bertujuan untuk membantu mendeteksi rintangan yang sulit terjangkau oleh tongkat konvensional, seperti rintangan yang berada di atas permukaan tanah atau di atas pinggang pengguna. Dengan adanya sistem deteksi berbasis sensor, tongkat pintar dapat meningkatkan kemampuan navigasi serta mendukung mobilitas penyandang tunanetra secara lebih mandiri dan aman (Ms. B. Asha and S. Madhumitha 2022).

2.2 Sistem *Embedded System*

Embedded system merupakan sistem komputer yang dirancang untuk menjalankan fungsi tertentu dalam suatu perangkat elektronik. Sistem ini biasanya terdiri dari mikrokontroler, sensor, serta perangkat input dan output yang bekerja secara terintegrasi untuk melakukan proses pemantauan maupun pengendalian.

Pada sistem tongkat pintar tunanetra, *embedded system* berperan sebagai pengendali utama yang memproses data dari sensor jarak dan menentukan *respons* yang akan diberikan kepada pengguna. Mikrokontroler membaca data sensor secara *real-time,* kemudian memproses data tersebut menggunakan algoritma tertentu untuk menghasilkan keputusan yang sesuai dengan kondisi lingkungan.

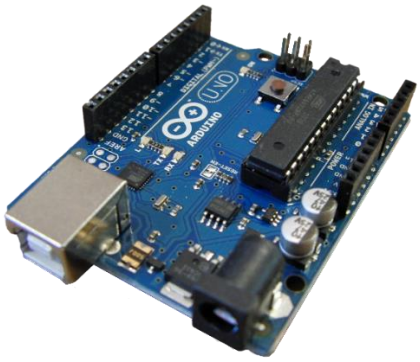
Keunggulan *embedded system* terletak pada kemampuannya untuk bekerja secara otomatis dengan ukuran perangkat yang relatif kecil serta konsumsi daya yang rendah. Hal ini menjadikannya sangat cocok digunakan pada perangkat portabel seperti tongkat pintar yang harus mudah dibawa dan digunakan dalam aktivitas sehari-hari (Sinha 2024).

2.3 Perangkat Keras *(Hardware)*

2.3.1 Arduino Uno

Arduino Uno merupakan papan mikrokontroler berbasis ATmega328P yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem embedded dan prototipe elektronika. Board ini dilengkapi dengan berbagai pin input dan output digital maupun analog yang dapat digunakan untuk menghubungkan sensor, modul komunikasi, serta perangkat output lainnya. Arduino Uno mendukung pemrograman menggunakan Arduino IDE dan dapat dihubungkan ke komputer

melalui kabel USB untuk proses pemrograman maupun komunikasi data. Selain mudah digunakan, Arduino Uno memiliki dokumentasi yang lengkap dan kompatibel dengan berbagai modul elektronik sehingga menjadi salah satu mikrokontroler yang paling banyak digunakan dalam penelitian dan pengembangan sistem kendali (Mishra et al. 2024).



Gambar 2.1 Arduino Uno

Dalam sistem tongkat pintar tunanetra, Arduino Uno berfungsi sebagai pusat pengendali utama yang mengatur seluruh proses kerja sistem. Mikrokontroler ini menerima data jarak dari sensor ultrasonik serta informasi dari sensor *proximity infrared* (E18-D80NK) untuk mendeteksi keberadaan rintangan di sekitar pengguna. Data yang diperoleh kemudian diproses menggunakan metode yang telah diprogram, yaitu metode *thresholding* dan logika fuzzy Mamdani. Hasil pengolahan data tersebut selanjutnya digunakan untuk mengendalikan modul DFPlayer Mini yang akan memutar file suara, kemudian sinyal audio diperkuat oleh modul amplifier PAM8403 dan diteruskan ke speaker mini sebagai peringatan suara kepada pengguna. Dengan demikian, Arduino Uno berperan sebagai pengendali utama yang mengintegrasikan seluruh komponen

sistem sehingga tongkat pintar dapat bekerja secara otomatis, akurat, dan responsif dalam membantu mobilitas penyandang tunanetra (Zade et al. 2025).

2.3.2 Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur jarak suatu objek dengan memanfaatkan gelombang suara berfrekuensi tinggi yang berada di atas batas pendengaran manusia. Sensor ini bekerja dengan cara memancarkan gelombang ultrasonik melalui komponen transmitter, kemudian gelombang tersebut akan dipantulkan oleh objek yang berada di depannya dan diterima kembali oleh komponen receiver. Waktu yang dibutuhkan gelombang untuk kembali ke sensor dihitung oleh sistem untuk menentukan jarak antara sensor dan objek. Prinsip kerja ini dikenal sebagai metode *time of flight*, yaitu pengukuran waktu tempuh gelombang suara dari sensor ke objek dan kembali lagi ke sensor (H.P and P.S 2024).



Gambar 2.2 Sensor Ultrasonik

Dalam sistem tongkat pintar tunanetra, sensor ultrasonik berperan sebagai sensor utama untuk mendeteksi rintangan di depan pengguna secara *real-time.* Sensor ini mampu mengukur jarak objek dalam rentang tertentu sehingga sistem dapat memberikan peringatan sebelum pengguna menyentuh rintangan secara langsung. Data jarak yang diperoleh dari sensor ultrasonik kemudian dikirimkan

ke mikrokontroler Arduino Uno untuk diproses menggunakan metode pengambilan keputusan yang telah diprogram. Berdasarkan hasil pengolahan tersebut, Arduino Uno akan mengirimkan perintah ke DFPlayer Mini untuk memutar suara peringatan yang kemudian dikeluarkan melalui speaker, sehingga pengguna dapat mengetahui tingkat kedekatan rintangan dan menghindarinya dengan lebih aman (Ali A., 2024).

2.3.3 Sensor *Proximity Infrared* (E18-D80NK)

Sensor *Proximity Infrared* (E18-D80NK) merupakan salah satu jenis sensor yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek tanpa melakukan kontak langsung dengan objek tersebut. Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan cahaya inframerah sebagai media pendeteksi. Pada prinsip kerjanya, sensor memancarkan sinar inframerah melalui komponen pemancar *(infrared transmitter),* kemudian sinar tersebut dipantulkan oleh objek yang berada di depan sensor dan diterima kembali oleh komponen penerima *(infrared receiver).* Pantulan cahaya inframerah yang diterima kemudian diproses oleh sistem untuk menentukan apakah terdapat objek pada jarak tertentu dari sensor. Sensor ini memiliki respons yang cepat dan sering digunakan pada berbagai perangkat elektronik berbasis mikrokontroler (Deng & Yang, 2025).



Gambar 2.3 Sensor *Proximity Infrared* (E18-D80NK)

Dalam sistem tongkat pintar tunanetra, Sensor *Proximity Infrared* (E18-D80NK) digunakan sebagai sensor pendukung untuk meningkatkan keandalan sistem deteksi rintangan. Sensor ini membantu mendeteksi objek yang berada sangat dekat dengan pengguna atau objek kecil yang terkadang sulit dideteksi oleh sensor ultrasonik. Data yang diperoleh dari sensor tersebut dikirimkan ke mikrokontroler untuk diproses bersama dengan data dari sensor ultrasonik. Dengan mengombinasikan kedua jenis sensor tersebut, sistem tongkat pintar dapat menghasilkan deteksi rintangan yang lebih akurat dan responsif, sehingga pengguna dapat memperoleh informasi yang lebih cepat mengenai keberadaan hambatan di sekitarnya dan menghindari potensi benturan saat berjalan (Argirusis et al., 2025).

2.3.4 Baterai 18650 Rechargeable

Baterai 18650 rechargeable merupakan salah satu jenis baterai isi ulang yang banyak digunakan sebagai sumber energi pada berbagai perangkat elektronik portabel. Baterai ini termasuk dalam kategori baterai lithium-ion (Li-ion) yang memiliki kemampuan menyimpan energi listrik dengan kapasitas cukup besar serta dapat digunakan berulang kali melalui proses pengisian ulang. Nama 18650 berasal dari ukuran fisik baterai, yaitu diameter sekitar 18 mm dan panjang sekitar 65 mm. Baterai ini banyak digunakan pada perangkat seperti power bank, laptop, senter, serta berbagai sistem elektronik karena memiliki kerapatan energi yang tinggi dan kinerja yang stabil (Czerniak, Gacek, and Ziembik 2025).



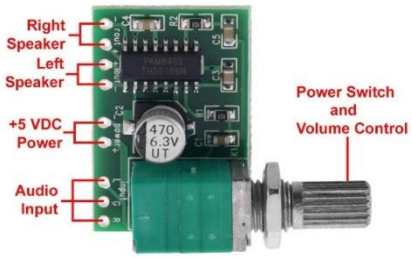
Gambar 2.4 Baterai 18650 Rechargeable

Dalam sistem tongkat pintar tunanetra, baterai 18650 *rechargeable* berfungsi sebagai sumber daya utama yang menyuplai energi listrik ke seluruh komponen sistem seperti Arduino, sensor ultrasonik, sensor inframerah, modul amplifier, dan speaker. Tegangan yang dihasilkan oleh baterai kemudian diatur menggunakan modul regulator agar sesuai dengan kebutuhan masing-masing komponen. Dengan menggunakan baterai rechargeable, perangkat dapat digunakan secara portabel dan tidak perlu selalu terhubung dengan sumber listrik eksternal sehingga lebih praktis digunakan dalam aktivitas sehari-hari (Yao et al. 2025).

2.3.5 Amplifier PAM8403

Amplifier PAM8403 merupakan modul penguat audio berukuran kecil yang berfungsi untuk memperkuat sinyal suara dari mikrokontroler sebelum disalurkan ke speaker. Modul ini menggunakan teknologi Class-D audio amplifier yang dikenal memiliki efisiensi daya yang tinggi serta konsumsi energi yang rendah. PAM8403 biasanya bekerja pada tegangan sekitar 2,5–5 volt sehingga sangat cocok digunakan pada perangkat elektronik portabel yang menggunakan sumber daya baterai. Selain ukurannya yang kecil, modul ini juga mampu menghasilkan kualitas suara yang cukup jernih dengan tingkat distorsi yang

rendah sehingga sering digunakan pada berbagai sistem audio berbasis mikrokontroler (Overview and Description 2025)



Gambar 2.5 Amplifier PAM8403

Dalam sistem tongkat pintar tunanetra, modul amplifier PAM8403 digunakan untuk memperkuat sinyal audio yang berasal dari DFPlayer Mini sebelum diteruskan ke speaker mini. Tanpa adanya modul penguat ini, suara yang dihasilkan sistem biasanya terlalu kecil sehingga sulit didengar oleh pengguna. Dengan menggunakan amplifier PAM8403, sinyal audio dapat diperkuat sehingga menghasilkan bunyi yang lebih jelas dan cukup keras. Hal ini sangat penting agar peringatan suara yang diberikan oleh sistem dapat dengan mudah didengar oleh pengguna tunanetra, sehingga mereka dapat mengetahui keberadaan rintangan di sekitar dan menghindari potensi benturan saat berjalan (. et al., 2025).

2.3.6 Regulator Tegangan XL4005

Regulator tegangan XL4005 merupakan modul DC-DC *step down converter* yang digunakan untuk menurunkan tegangan listrik dari sumber daya yang lebih tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah sesuai dengan kebutuhan komponen elektronik. Modul ini bekerja menggunakan metode *switching regulator*, sehingga mampu mengubah tegangan dengan efisiensi yang tinggi serta menghasilkan panas yang relatif rendah dibandingkan regulator linear. XL4005 juga dilengkapi dengan pengaturan tegangan output yang dapat disesuaikan,

sehingga sering digunakan pada berbagai sistem elektronik yang memerlukan suplai daya yang stabil (Sayed 2024).



Gambar 2.6 Regulator Tegangan XL4005

Dalam sistem tongkat pintar tunanetra, regulator XL4005 berfungsi untuk mengatur dan menstabilkan tegangan yang berasal dari baterai sebelum disalurkan ke komponen utama seperti Arduino Uno, sensor ultrasonik, Sensor *Proximity Infrared* (E18-D80NK), DFPlayer Mini, serta modul amplifier. Tegangan yang tidak stabil dapat menyebabkan kinerja perangkat elektronik menjadi tidak optimal bahkan berpotensi merusak komponen. Oleh karena itu, penggunaan regulator tegangan sangat penting agar setiap komponen menerima tegangan sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan sehingga sistem tongkat pintar dapat bekerja dengan lebih stabil, aman, dan efisien selama digunakan (Zhiwei & Wangbing, 2024).

2.3.7 Speaker Mini

Speaker mini merupakan perangkat output yang berfungsi untuk menghasilkan suara dari sinyal listrik yang diterima dari sistem elektronik. Speaker bekerja dengan cara mengubah sinyal listrik yang telah diperkuat oleh modul amplifier menjadi getaran mekanik pada membran speaker, kemudian getaran tersebut menghasilkan gelombang suara yang dapat didengar oleh manusia. Speaker mini biasanya memiliki ukuran yang kecil, konsumsi daya yang

rendah, serta mudah diintegrasikan dengan berbagai perangkat elektronik berbasis mikrokontroler, sehingga sangat cocok digunakan pada sistem perangkat portabel seperti tongkat pintar (Test 2024).



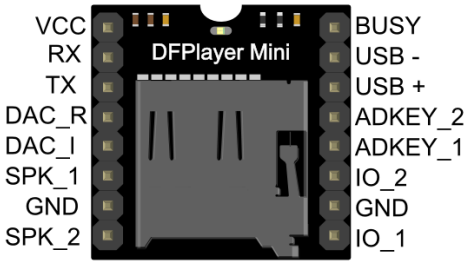
Gambar 2.7 Speaker Mini

Dalam sistem tongkat pintar tunanetra, speaker mini berfungsi sebagai media penyampaian informasi kepada pengguna dalam bentuk peringatan suara. Suara yang dihasilkan oleh speaker berasal dari file audio yang diputar oleh DFPlayer Mini berdasarkan perintah dari Arduino Uno setelah data jarak dari sensor ultrasonik dan Sensor *Proximity Infrared* (E18-D80NK) diproses. Pola bunyi yang dihasilkan dapat berupa interval atau jenis suara yang berbeda sesuai dengan tingkat kedekatan rintangan. Semakin dekat jarak rintangan dengan pengguna, maka peringatan suara yang dihasilkan akan semakin cepat atau lebih intens. Dengan adanya sistem peringatan suara ini, pengguna tunanetra dapat mengetahui keberadaan rintangan di sekitarnya sehingga dapat mengambil tindakan untuk menghindari potensi benturan saat berjalan (Manikandan et al., 2022).

2.3.8 Dfplayer

DFPlayer Mini merupakan modul pemutar audio berukuran kecil yang dapat digunakan untuk memutar file suara dalam format MP3 secara langsung dari kartu microSD. Modul ini dapat dihubungkan dengan mikrokontroler seperti

Arduino melalui komunikasi serial (RX dan TX) sehingga mikrokontroler dapat mengontrol pemutaran suara seperti memutar, menghentikan, atau mengganti file audio. DFPlayer Mini memiliki beberapa pin penting seperti VCC untuk sumber daya, GND sebagai ground, serta pin SPK_1 dan SPK_2 yang digunakan untuk menghubungkan speaker secara langsung (Ali Topan, Bahri, and Fardila 2024).



Gambar 2.8 Dfplayer

Dalam sistem tongkat pintar tunanetra, DFPlayer Mini dapat digunakan sebagai modul penghasil suara untuk memberikan peringatan kepada pengguna. Arduino akan mengirimkan perintah ke DFPlayer Mini berdasarkan data jarak yang diperoleh dari sensor, kemudian modul ini memutar file suara tertentu melalui speaker sebagai informasi adanya rintangan di sekitar pengguna. Dengan adanya DFPlayer Mini, sistem peringatan suara dapat menjadi lebih jelas dan mudah dipahami oleh pengguna.

2.4 Metode Pengambilan Keputusan

2.4.1 Metode *Thresholding*

Metode *thresholding* merupakan metode pengambilan keputusan yang bekerja berdasarkan nilai ambang batas *(thresholding)* tertentu. Pada metode ini, sistem akan membandingkan nilai input yang diperoleh dari sensor dengan nilai batas yang telah ditentukan sebelumnya. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut,

sistem akan menentukan respon yang sesuai dengan kondisi jarak yang terdeteksi. Metode thresholding sering digunakan pada sistem berbasis mikrokontroler karena memiliki proses komputasi yang sederhana, mudah diimplementasikan, serta tidak memerlukan perhitungan yang kompleks (Bala & Kumar Sharma, 2023).

Dalam sistem tongkat pintar untuk tunanetra, metode *thresholding* digunakan untuk mengolah data jarak yang diperoleh dari sensor ultrasonik dan mengelompokkannya ke dalam kategori jarak tertentu. Pada penelitian ini, jarak rintangan dibagi menjadi dua kategori utama yaitu jarak dekat dan jarak aman. Batas jarak yang digunakan dalam sistem adalah 50 cm sebagai batas jarak dekat dan 100 cm sebagai batas jarak aman.

Secara matematis, proses pengambilan keputusan pada metode thresholding dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$X = \text{jarak objek yang terdeteksi oleh sensor (cm)}$$

$$Output = \begin{cases} \text{Peringatan cepat,} & x \leq 50 \\ \text{Peringatan sedang,} & 50 < x \leq 100 \\ \text{Tidak ada peringatan,} & x > 100 \end{cases}$$

Berdasarkan persamaan tersebut, apabila jarak rintangan yang terdeteksi oleh sensor kurang dari atau sama dengan 50 cm, maka sistem akan menghasilkan bunyi peringatan dengan interval yang cepat sebagai tanda bahwa rintangan berada sangat dekat dengan pengguna. Apabila jarak berada pada rentang lebih dari 50 cm hingga 100 cm, maka sistem akan menghasilkan bunyi peringatan dengan interval yang lebih lambat. Sementara itu, apabila jarak rintangan lebih

dari 100 cm, sistem tidak akan memberikan peringatan karena dianggap masih berada dalam kondisi aman.

Metode *thresholding* memiliki keunggulan karena proses pengambilan keputusan dilakukan secara langsung menggunakan operasi perbandingan sederhana sehingga sistem dapat bekerja dengan cepat dan efisien pada perangkat mikrokontroler. Namun demikian, metode ini memiliki keterbatasan karena perubahan respon sistem terjadi secara tiba-tiba ketika nilai jarak melewati batas ambang, sehingga pola peringatan suara yang dihasilkan kurang halus dibandingkan metode berbasis logika *fuzzy.*

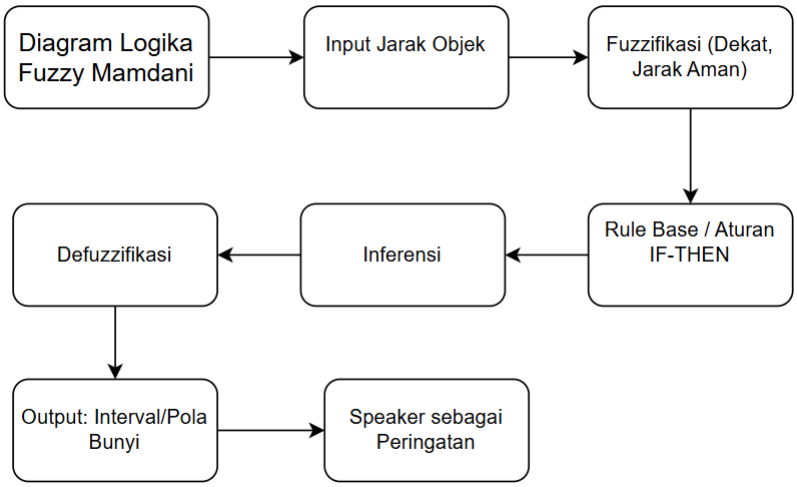
2.4.2 Logika *Fuzzy* Mamdani

Logika *Fuzzy* Mamdani merupakan salah satu metode dalam sistem logika *fuzzy* yang banyak digunakan pada sistem pengambilan keputusan. Metode ini mampu menangani kondisi yang tidak pasti dengan menggunakan variabel linguistik seperti dekat, dan jarak aman. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk menghasilkan keputusan yang lebih fleksibel dibandingkan metode *thresholding* yang menggunakan batas nilai tetap.

Dalam sistem tongkat pintar tunanetra, logika *fuzzy* Mamdani digunakan untuk mengolah data jarak yang diperoleh dari sensor ultrasonik sehingga dapat menghasilkan keputusan berupa pola peringatan suara yang sesuai dengan tingkat kedekatan rintangan. Pada penelitian ini, metode Logika *Fuzzy* Mamdani tidak menggunakan batas jarak yang bersifat tegas seperti metode Thresholding. Data jarak diproses secara bertahap menggunakan fungsi keanggotaan *fuzzy*, di mana kategori “dekat” memiliki rentang efektif 0–40 cm, sedangkan kategori “aman”

mulai meningkat pada rentang 30–50 cm hingga mencapai kondisi aman penuh pada jarak ≥50 cm.

Proses pengolahan data pada metode *fuzzy* Mamdani dilakukan melalui beberapa tahapan utama yaitu fuzzifikasi, pembentukan aturan *(rule base),* inferensi, dan defuzzifikasi. Diagram proses logika *fuzzy* Mamdani pada sistem tongkat pintar tunanetra ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.9 Diagram Logika *Fuzzy* Mamdani

Berdasarkan Gambar 2.10, proses pengolahan data dimulai dari pembacaan jarak objek oleh sensor ultrasonik sebagai input sistem. Nilai jarak tersebut kemudian diproses pada tahap fuzzifikasi untuk mengubah data numerik menjadi nilai keanggotaan dalam himpunan *fuzzy* seperti dekat, sedang dan jarak aman. Selanjutnya sistem menggunakan *rule base* berbentuk aturan *IF–THEN* untuk menentukan hubungan antara kondisi jarak dengan respon sistem.Tahapan Logika *Fuzzy* Mamdani

1. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan proses mengubah nilai input dari sensor yang berbentuk numerik menjadi nilai keanggotaan dalam himpunan *fuzzy*. Misalnya, jika Dadalah jarak yang terdeteksi oleh sensor, maka nilai keanggotaan terhadap himpunan *fuzzy* dapat dinyatakan sebagai:

$$\mu_{dekat}(X)$$

$$\mu_{aman}(X)$$

Sebagai contoh sederhana:

$$\mu_{dekat}(X) = \begin{cases} 1, & D \leq 50 \\ \dfrac{100 - X}{60}, & 50 < X < 100 \\ 0, & D \geq 100 \end{cases}$$

Fungsi tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil nilai jarak, maka tingkat keanggotaan pada kategori dekat akan semakin besar.

2. *Rule Base*

Rule base merupakan kumpulan aturan berbentuk *IF–THEN* yang digunakan untuk menentukan hubungan antara variabel input dan output sistem. Contoh aturan yang digunakan dalam sistem antara lain:

- *IF* jarak dekat *THEN* bunyi cepat
- *IF* jarak sedang *THEN* bunyi sedang
- *IF* jarak aman *THEN* bunyi lambat

Aturan tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan respon sistem terhadap perubahan nilai jarak.

3. Inferensi

Tahap inferensi merupakan proses pengolahan nilai fuzzifikasi menggunakan aturan yang telah dibuat pada rule base. Pada tahap ini sistem akan mengevaluasi aturan yang aktif untuk menghasilkan keluaran *fuzzy* yang mewakili keputusan sementara dari sistem.

4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses mengubah hasil keluaran *fuzzy* menjadi nilai numerik yang dapat digunakan sebagai keputusan akhir sistem. Salah satu metode defuzzifikasi yang umum digunakan adalah metode *centroid*, yang dinyatakan sebagai:

$$z* = \frac{\sum(\mu(z) \cdot zi)}{\sum\mu(zi)}$$

di mana:

- z^*= nilai keluaran (hasil defuzzifikasi)
- z_i= nilai domain output
- $\mu(z_i)$= derajat keanggotaan output

Nilai hasil defuzzifikasi ini kemudian digunakan untuk menentukan interval atau pola bunyi peringatan pada sistem.

Berdasarkan tahapan tersebut, logika fuzzy Mamdani mampu mengolah data jarak dari sensor secara bertahap sehingga menghasilkan keputusan yang lebih fleksibel dan adaptif terhadap perubahan jarak. Dengan adanya proses fuzzifikasi, *rule base,* inferensi, dan defuzzifikasi, sistem dapat menghasilkan pola peringatan suara yang lebih halus dan stabil dibandingkan metode *thresholding*. Oleh karena itu, pada penelitian

ini metode logika *fuzzy* Mamdani digunakan untuk mengolah data jarak rintangan dari sensor sehingga menghasilkan sistem peringatan yang lebih mudah dipahami oleh pengguna tongkat pintar tunanetra (Bhatkal et al., 2025).

2.5 Perbandingan Thresholding dan Logika Fuzzy Mamdani

Metode *thresholding* dan logika *fuzzy* Mamdani sama-sama digunakan untuk mengolah data jarak yang diperoleh dari sensor pada sistem tongkat pintar tunanetra. Metode *thresholding* bekerja dengan cara membandingkan nilai jarak dengan batas ambang tertentu untuk menentukan kategori kondisi seperti dekat, dan jarak aman. Jika nilai jarak melewati batas tersebut, maka sistem akan langsung memberikan respon berupa perubahan pola bunyi pada speaker. Metode ini memiliki kelebihan yaitu proses perhitungan yang sederhana, cepat, dan mudah diterapkan pada sistem berbasis mikrokontroler seperti Arduino (Kurundkar 2021).

Sementara itu, logika *fuzzy* Mamdani menggunakan pendekatan yang lebih fleksibel dengan memanfaatkan variabel linguistik dan aturan *fuzzy* dalam proses pengambilan keputusan. Nilai jarak yang diperoleh dari sensor diproses melalui tahapan fuzzifikasi, *rule base*, inferensi, dan defuzzifikasi sehingga menghasilkan output yang lebih bertahap dan adaptif terhadap perubahan jarak rintangan. Oleh karena itu, pada penelitian ini kedua metode tersebut dibandingkan untuk mengetahui metode yang lebih optimal dalam menghasilkan peringatan suara

yang cepat, stabil, dan mudah dipahami oleh pengguna tongkat pintar tunanetra (Malla et al. 2023).

2.6 Monitoring Dan Pencatatan Data *Real-Time*

Monitoring dan pencatatan data *real-time* pada sistem tongkat pintar tunanetra dilakukan untuk mengamati kinerja sistem selama proses pengujian berlangsung. Monitoring ini bertujuan untuk melihat secara langsung hasil pembacaan sensor ultrasonik dan Sensor *Proximity Infrared* (E18-D80NK) yang mendeteksi jarak rintangan di depan pengguna. Data yang diperoleh dari sensor kemudian diproses oleh mikrokontroler Arduino untuk menentukan tingkat kedekatan rintangan menggunakan metode *Thresholding* dan Logika *Fuzzy* Mamdani.

Seluruh data hasil pengujian dicatat secara sistematis untuk keperluan analisis dan perbandingan performa kedua metode. Data yang dicatat meliputi jarak aktual rintangan, hasil pembacaan sensor, waktu respons sistem, serta pola atau interval bunyi yang dihasilkan oleh speaker. Melalui proses monitoring dan pencatatan data secara *real-time* ini, peneliti dapat mengevaluasi kinerja sistem serta menentukan metode yang lebih efektif dalam menghasilkan peringatan suara pada tongkat pintar tunanetra (Suresh, Arjun, and Subhash 2025).

2.7 Ringkasan Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem tongkat pintar tunanetra dengan memanfaatkan berbagai jenis sensor dan metode pengolahan data untuk meningkatkan kemampuan deteksi rintangan. Sensor ultrasonik dan sensor *proximity infrared* sering digunakan untuk mengukur jarak

objek di sekitar pengguna secara *real-time.* Selain itu, metode pengambilan keputusan seperti *thresholding* dan logika *fuzzy* Mamdani banyak diterapkan untuk menentukan respon sistem berupa peringatan suara atau getaran (Mr. Shashidhara, 2023).

Namun, sebagian besar penelitian tersebut hanya menggunakan satu metode pengolahan data tanpa melakukan perbandingan langsung antara metode *thresholding* dan logika *fuzzy* Mamdani dalam satu sistem yang sama. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk membandingkan kedua metode tersebut dalam sistem tongkat pintar tunanetra sehingga dapat diketahui metode yang lebih efektif dalam menghasilkan peringatan suara yang stabil dan mudah dipahami oleh pengguna. Untuk memperjelas posisi penelitian yang dilakukan, ringkasan penelitian terdahulu disajikan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Ringkasan Penelitian Terdahulu

No	Judul dan Peneliti	Pembahasan	Metode	Kelebihan / Kekurangan
1	Smart Blind Stick Using Ultrasonic Sensor (Chowdary, Haritha, and Sreekanth 2023).	Sistem tongkat pintar yang menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi rintangan dan memberikan peringatan kepada pengguna.	Thresholding	Kelebihan: Sistem sederhana dan mudah diterapkan. Kekurangan: Respon sistem kurang fleksibel.
2	Smart Walking Stick for Visually Impaired (Thilagavathi et al. 2024).	Mengembangkan tongkat pintar berbasis sensor untuk mendeteksi rintangan di sekitar pengguna secara real-time.	Thresholding	Kelebihan: Implementasi sederhana pada mikrokontroler. Kekurangan: Perubahan output bersifat mendadak.
3	Fuzzy Logic Based Obstacle Detection	Sistem deteksi rintangan yang menggunakan	Fuzzy Mamdani	Kelebihan: Respon lebih halus dan adaptif.

	System (Soberano, PECE, and Gatdula 2025).	logika fuzzy untuk menghasilkan respon yang lebih adaptif terhadap perubahan jarak objek.		Kekurangan: Perhitungan lebih kompleks.
4	Smart Cane with Obstacle Detection System (Sreenadh et al. 2023).	Mengembangkan perangkat bantu navigasi tunanetra berbasis mikrokontroler dan sensor jarak.	Thresholding	Kelebihan: Mudah diterapkan pada sistem embedded. Kekurangan: Kurang fleksibel pada perubahan kondisi.
5	Intelligent Navigation Aid for Visually Impaired	Sistem navigasi berbasis sensor yang membantu pengguna tunanetra mendeteksi rintangan di lingkungan sekitar.	Fuzzy Mamdani	Kelebihan: Pengolahan data lebih adaptif. Kekurangan: Membutuhkan perancangan aturan fuzzy yang tepat.
6	Smart Obstacle Detection System for Blind People (Quazi et al. 2023).	Sistem deteksi rintangan menggunakan sensor untuk meningkatkan keselamatan mobilitas tunanetra.	Thresholding	Kelebihan: Sistem lebih cepat dan ringan. Kekurangan: Tidak mempertimbangkan perubahan kondisi secara bertahap.
7	Smart Cane Monitoring System (Hemanth, Gowtham, and Hari Haran 2023).	Sistem tongkat pintar yang dilengkapi monitoring untuk meningkatkan keselamatan pengguna saat berjalan.	Monitoring System	Kelebihan: Mendukung evaluasi sistem secara real-time. Kekurangan: Tidak membandingkan metode pengambilan keputusan.

2.8 Analisis GAP

Berdasarkan kajian terhadap beberapa penelitian terdahulu mengenai sistem tongkat pintar tunanetra, diketahui bahwa sebagian besar penelitian telah memanfaatkan sensor jarak seperti sensor ultrasonik dan sensor *proximity infrared* untuk mendeteksi rintangan di sekitar pengguna secara *real-time*. Penelitian seperti *Smart Blind Stick Using Ultrasonic Sensor* (Chowdary et al., 2023) *dan Smart Walking Stick for Visually Impaired* (Thilagavathi et al., 2024) menggunakan metode *thresholding* untuk menentukan respon sistem terhadap jarak rintangan. Metode ini memiliki keunggulan dalam hal implementasi yang sederhana serta proses komputasi yang ringan sehingga mudah diterapkan pada mikrokontroler seperti Arduino. Namun, metode *thresholding* memiliki keterbatasan karena perubahan output sistem terjadi secara mendadak ketika nilai jarak melewati batas ambang tertentu, sehingga respon sistem kurang fleksibel dan berpotensi menimbulkan ketidaknyamanan bagi pengguna.

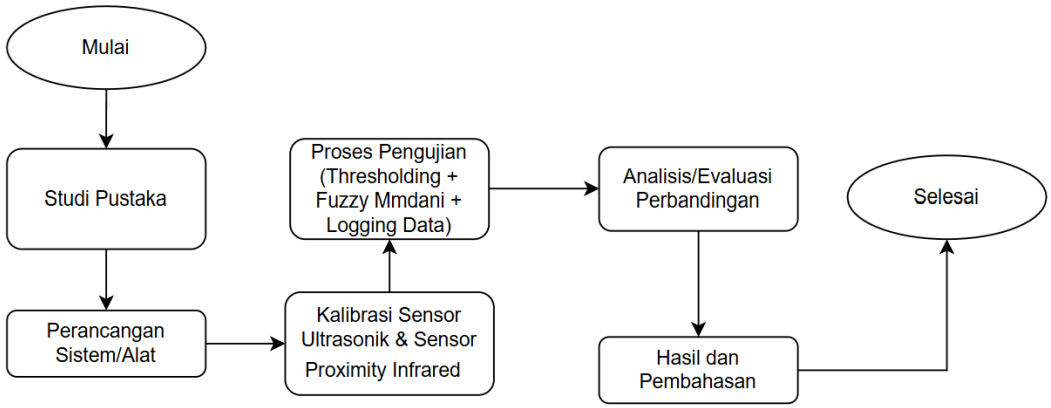
Di sisi lain, beberapa penelitian lain seperti *Fuzzy Logic Based Obstacle Detection System* (Soberano et al., 2025) serta *Intelligent Navigation Aid for Visually Impaired* menerapkan logika *fuzzy* Mamdani dalam sistem deteksi rintangan. Metode *fuzzy* mampu menghasilkan keputusan yang lebih adaptif karena menggunakan variabel linguistik dan aturan *fuzzy* dalam proses pengambilan keputusan. Dengan pendekatan tersebut, perubahan output sistem dapat berlangsung secara lebih halus sehingga respon yang dihasilkan lebih stabil terhadap perubahan jarak rintangan. Meskipun demikian, metode *fuzzy* memiliki kekurangan berupa proses perancangan sistem yang lebih kompleks, terutama dalam penentuan fungsi keanggotaan dan *rule base.*

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi celah penelitian tersebut dengan membandingkan metode *Thresholding* dan Logika *Fuzzy* Mamdani dalam sistem peringatan suara pada tongkat pintar tunanetra. Perbandingan dilakukan melalui pengujian eksperimental dengan mengukur beberapa parameter performa seperti *delay* respons sistem, akurasi deteksi jarak, dan stabilitas pola bunyi yang dihasilkan oleh speaker. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi metode yang lebih optimal dalam menghasilkan sistem peringatan suara yang lebih stabil, responsif, dan mudah dipahami oleh pengguna tunanetra.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Awal Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *prototype-based iterative development*, yaitu pembuatan prototipe awal yang kemudian diuji, dievaluasi, dan disempurnakan secara berulang hingga sistem tongkat pintar tunanetra bekerja sesuai target perancangan. Tahapan penelitian yang dilakukan meliputi identifikasi masalah dan analisis kebutuhan, perancangan sistem serta perancangan algoritma (*Thresholding* dan *Fuzzy* Mamdani), perakitan prototipe perangkat keras, implementasi program pada Arduino Uno, pengujian dan pengambilan data pada beberapa variasi jarak, serta analisis hasil untuk membandingkan performa kedua metode.



Gambar 3.1 Prosedur/Flowchart Alur Penelitian

3.2 Kebutuhan Fungsi Sistem

Kebutuhan fungsional sistem pada penelitian ini meliputi kemampuan tongkat pintar untuk mendeteksi rintangan di area depan pengguna secara cepat dan akurat dengan memanfaatkan sensor ultrasonik sebagai pengukur jarak utama

serta sensor *Proximity Infrared* (E18-D80NK) sebagai pendukung deteksi objek pada jarak dekat, sehingga hambatan seperti tembok, tiang, meja, maupun objek kecil dapat teridentifikasi sebelum terjadi benturan. Data hasil pembacaan sensor kemudian diproses oleh Arduino Uno secara real-time untuk menentukan tingkat kedekatan atau tingkat bahaya menggunakan dua metode yang dibandingkan, yaitu *Thresholding* (berbasis ambang batas) dan Logika *Fuzzy* Mamdani (berbasis himpunan linguistik dan aturan), agar dapat dianalisis perbedaan karakteristik respons keduanya. Setelah keputusan tingkat bahaya ditetapkan, Arduino mengirimkan perintah ke DFPlayer Mini untuk memutar file suara, kemudian sinyal audio diperkuat oleh modul amplifier PAM8403 dan dikeluarkan melalui speaker mini sebagai peringatan kepada pengguna. Selain itu, sistem harus mampu bekerja stabil, konsisten, dan berulang *(looping)* selama perangkat aktif, termasuk menjaga agar perubahan output tidak mengganggu pengguna ketika terjadi fluktuasi pembacaan sensor, serta mendukung karakter perangkat yang portabel, mudah digunakan, dan aman untuk menunjang mobilitas tuna netra dalam berbagai kondisi lingkungan.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui pengujian eksperimental pada prototipe, yaitu dengan mencatat hasil pembacaan sensor ultrasonik dan sensor *Proximity Infrared* (E18-D80NK) pada beberapa variasi jarak rintangan. Setiap pengujian diulang, lalu dicatat nilai jarak, keputusan tingkat bahaya (*Thresholding* dan *Fuzzy* Mamdani), serta respons output berupa pola atau file suara yang dikeluarkan oleh sistem. Data pendukung dikumpulkan melalui observasi dan dokumentasi (foto/video) selama proses pengujian.

3.3.1 Observasi

Observasi dilakukan dengan mengamati langsung kinerja prototipe tongkat pintar saat pengujian di berbagai variasi jarak rintangan. Hal yang diamati meliputi ketepatan sensor ultrasonik dan sensor *Proximity Infrared* (E18-D80NK) dalam mendeteksi rintangan, kestabilan pembacaan sensor (apakah nilai berubah-ubah atau fluktuatif), serta kesesuaian hasil pengolahan metode *Thresholding* dan *Fuzzy* Mamdani dengan kondisi jarak sebenarnya. Selain itu, observasi juga mencakup respons keluaran suara yang diputar melalui DFPlayer Mini dan dikeluarkan melalui speaker, seperti kejelasan bunyi, perubahan interval atau jenis suara sesuai tingkat bahaya, serta adanya keterlambatan *(delay)* saat rintangan bergerak mendekat atau menjauh. Hasil pengamatan ini dicatat untuk menilai apakah sistem bekerja *real-time,* stabil, dan sesuai tujuan perancangan.

3.3.2 Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan dengan menelaah buku, jurnal, dan penelitian terdahulu yang membahas tongkat pintar tuna netra, penggunaan sensor ultrasonik dan sensor *Proximity Infrared* (E18-D80NK), pemrosesan data pada Arduino Uno, serta penerapan metode *Thresholding* dan Logika *Fuzzy* Mamdani untuk menghasilkan peringatan suara, sehingga diperoleh dasar teori dan acuan perbandingan metode pada penelitian ini.

3.3.3 Eksperimen/Pengujian

Eksperimen atau pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan menguji prototipe tongkat pintar tunanetra secara langsung untuk melihat respons sistem dalam mendeteksi rintangan dan menghasilkan peringatan suara. Pengujian dilakukan dengan menempatkan objek di depan sensor ultrasonik pada beberapa

variasi jarak, yaitu 10 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm, dan 70 cm. Variasi jarak tersebut dipilih untuk merepresentasikan kondisi jarak dekat dan jarak aman berdasarkan batas sistem yang telah ditentukan.

Dengan demikian, pada metode *Thresholding* jarak 10 cm, 20 cm, dan 30 cm termasuk kategori bahaya karena berada di bawah ambang 50 cm, sedangkan jarak 50 cm dan 70 cm dikategorikan aman. Sementara pada metode Logika *Fuzzy* Mamdani, perubahan kondisi dari dekat menuju aman berlangsung secara bertahap melalui proses fuzzifikasi sehingga keputusan sistem menjadi lebih fleksibel terhadap perubahan jarak.

Pada setiap jarak, pengujian dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan untuk masing-masing metode, yaitu metode *Thresholding* dan Logika *Fuzzy* Mamdani, agar data yang diperoleh lebih konsisten serta dapat mengurangi pengaruh fluktuasi pembacaan sensor ultrasonik.

Parameter yang dicatat dalam pengujian ini meliputi jarak aktual (cm), jarak hasil pembacaan sensor (cm), waktu respons sistem (ms), interval bunyi speaker (ms), serta kategori jarak (dekat, sedang, aman). Data hasil pengujian tersebut kemudian dianalisis untuk membandingkan performa kedua metode berdasarkan kecepatan respons sistem, kestabilan output bunyi, serta konsistensi perubahan pola bunyi terhadap variasi jarak rintangan.

3.4 Prosedur Alur Penelitian

Prosedur alur penelitian dimulai dari tahap identifikasi masalah dan penentuan tujuan penelitian, kemudian dilanjutkan dengan studi pustaka untuk memperkuat dasar teori terkait tongkat pintar, sensor, Arduino Uno, DFPlayer Mini, serta metode *Thresholding* dan *Fuzzy* Mamdani. Setelah itu dilakukan

analisis kebutuhan sistem (kebutuhan fungsional dan nonfungsional), lalu masuk ke tahap perancangan sistem meliputi perancangan perangkat keras (sensor ultrasonik, sensor *Proximity Infrared* (E18-D80NK), Arduino Uno, DFPlayer Mini, PAM8403, speaker, baterai 18650, dan regulator XL4005) serta perancangan perangkat lunak atau algoritma (alur program, aturan *fuzzy*, dan penentuan *thresholding*). Tahap berikutnya adalah perakitan prototipe dan implementasi program pada Arduino Uno, kemudian dilakukan pengujian dengan beberapa variasi jarak rintangan untuk memperoleh data pembacaan sensor dan respons output suara pada masing-masing metode. Data hasil pengujian selanjutnya dicatat dan dianalisis untuk membandingkan kinerja *Thresholding* dan *Fuzzy* Mamdani, misalnya stabilitas bunyi, respons, dan konsistensi terhadap perubahan jarak, lalu ditarik kesimpulan serta saran pengembangan berdasarkan hasil penelitian.

3.5 Analisis Kebutuhan Perancangan

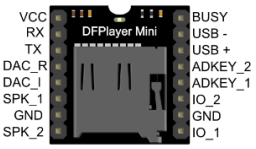
Analisis kebutuhan perancangan dilakukan untuk memastikan tongkat pintar tuna netra mampu mendeteksi rintangan dan memberi peringatan suara dengan metode *Thresholding* dan *Fuzzy* Mamdani. Kebutuhan perangkat keras meliputi Arduino Uno, sensor ultrasonik, sensor *Proximity Infrared* (E18-D80NK), DFPlayer Mini, speaker mini dengan amplifier PAM8403 sebagai output, serta baterai 18650 dan regulator XL4005 untuk suplai daya yang stabil. Kebutuhan perangkat lunak meliputi pembacaan sensor secara *real-time,* pengolahan jarak dengan kedua metode, pengendalian DFPlayer Mini, dan pengaturan output suara sesuai tingkat bahaya, dengan sistem yang responsif, stabil, portabel, dan aman.

3.5.1 Analisis Kebutuhan Perangkat Keras *(Hardware)*

Untuk membuat sistem tongkat tuna netra, komponen perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Analisis Kebutuhan Hardware

No	Hardware	Fungsi
1	Arduino Uno (ATmega328P) 	Sebagai pusat kontrol: membaca data sensor, memproses metode Thresholding & Fuzzy Mamdani, lalu mengatur keluaran peringatan suara.
2	Sensor Ultrasonik (HC-SR04) 	Mengukur jarak rintangan di depan pengguna sebagai input utama sistem.
3	Sensor Proximity Infrared (E18-D80NK) 	Mendeteksi objek pada jarak dekat atau objek kecil sebagai sensor pendukung agar deteksi rintangan lebih akurat.
4	Modul Amplifier (PAM8403) 	Menguatkan sinyal audio dari Arduino agar suara speaker lebih jelas dan cukup keras.
5	Speaker Mini 	Mengeluarkan peringatan suara sebagai informasi adanya rintangan di sekitar pengguna.

6	Baterai 18650 Rechargeable 	Sebagai sumber daya portabel untuk menyalakan sistem saat digunakan.
7	Regulator XL4005 (DC-DC Step Down) 	Menstabilkan/menurunkan tegangan dari baterai agar aman dan stabil untuk Arduino serta modul lain
8	Kabel & Media Rangkaian (jumper, breadboard/PCB) 	Menghubungkan dan merapikan rangkaian antar komponen agar sistem bekerja sesuai desain.
9	DFPlayer Mini 	Modul pemutar audio yang digunakan untuk memutar file suara dari kartu microSD sebagai peringatan suara bagi pengguna.

3.5.2 Analisis Kebutuhan Perangkat Lunak *(Software)*

Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Analisis Kebutuhan *Software*

No	Software	Fungsi
1	Sistem Operasi (Windows 10/11)	Menjalankan Arduino IDE dan aplikasi pendukung pengujian/analisis.

2	Arduino IDE	Menulis, compile, dan upload program ke Arduino Uno.
3	Driver/Port USB Arduino (CH340/ATmega16U2)	Agar Arduino terdeteksi di komputer (port COM) untuk upload program & komunikasi serial.
4	Library Sensor Ultrasonik (NewPing/HC-SR04)	Membaca data jarak sensor ultrasonik secara stabil dan real-time.
5	Library Fuzzy (Fuzzy/Fuzzy Mamdani)	Menjalankan proses fuzzy (fuzzifikasi–rule base–inferensi–defuzzifikasi).
6	Serial Monitor/Serial Plotter	Monitoring nilai sensor dan output sistem, sekaligus debugging saat pengujian.
7	Microsoft Excel/Google Sheets	Mengolah data hasil pengujian (rata-rata, grafik, perbandingan performa).
8	Microsoft Word	Menyusun proposal/laporan dan dokumentasi hasil penelitian.
9	DFPlayer	Mengontrol pemutaran file audio pada DFPlayer Mini melalui Arduino.

3.5.3 Analisis Kebutuhan Bahan Perancangan

Bahan pendukung yang digunakan untuk perakitan prototipe ditunjukkan pada Tabel 3.3 berikut.

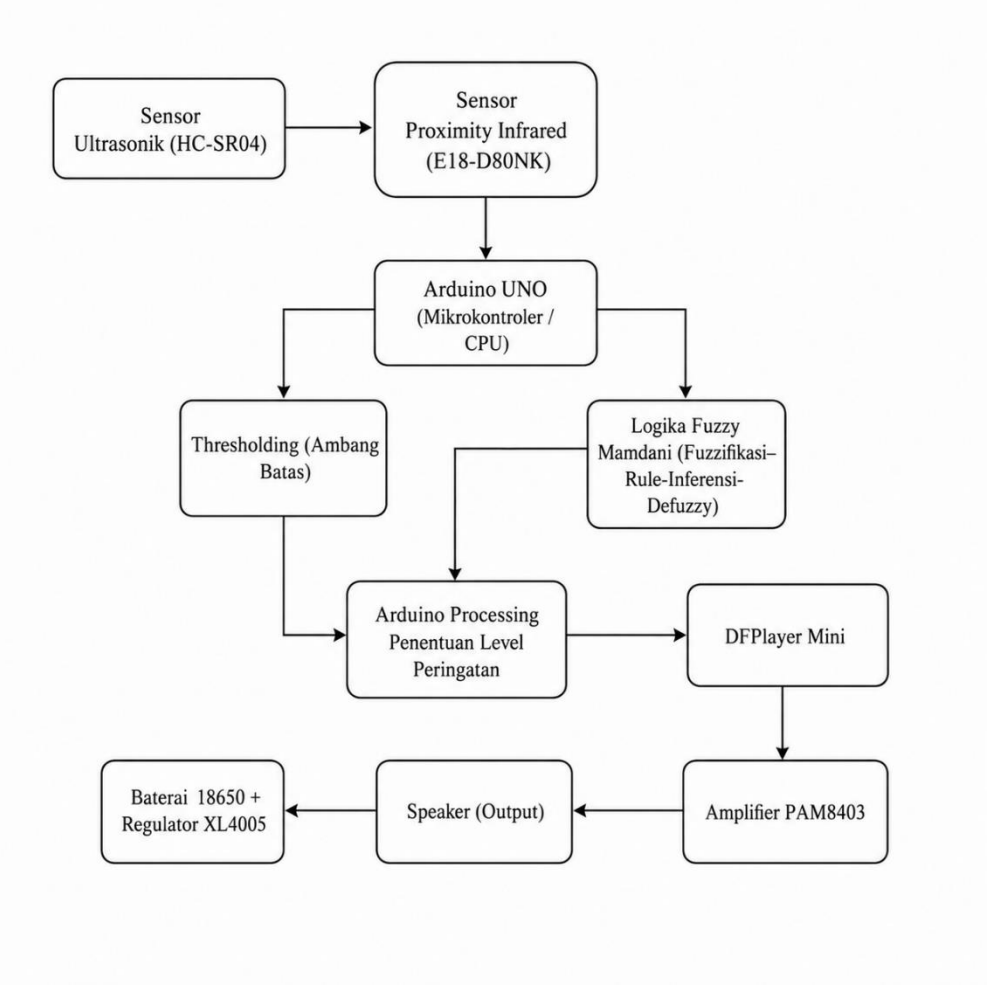
Tabel 3.3 Analisis Kebutuhan Bahan Perancangan

No	Bahan	Fungsi
1	Tongkat/casing prototipe	Media pemasangan komponen agar sistem portabel dan ergonomis.
2	Kabel, timah solder, isolasi	Pendukung perakitan dan penguatan koneksi rangkaian.
3	Bracket/penyangga	Menjaga posisi sensor agar pembacaan lebih stabil.

	sensor	
4	Baut, mur, lem tembak/double tape	Perekat/pengunci komponen pada casing agar pemasangan kuat dan tidak mudah bergeser.
5	PCB kecil/breadboard	Media perakitan rangkaian agar lebih rapi dan mudah saat pengujian prototipe.

3.6 Perancangan dan Implementasi Sistem

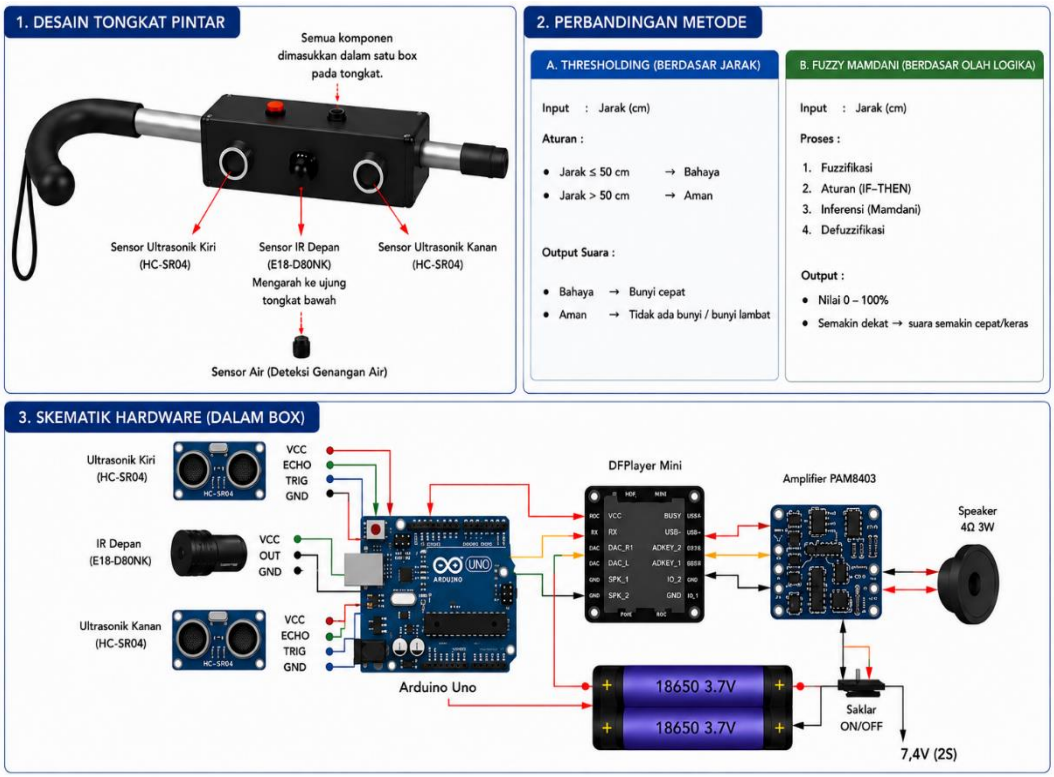
Perancangan rangkaian sistem dilakukan untuk menghubungkan seluruh komponen perangkat keras pada sistem peringatan suara tongkat pintar tunanetra berbasis Arduino Uno. Rangkaian ini dirancang agar sensor ultrasonik dan sensor *Proximity Infrared* (E18-D80NK) mampu membaca keberadaan serta jarak rintangan di depan pengguna, kemudian mikrokontroler memproses data tersebut menggunakan dua metode yang dibandingkan, yaitu *Thresholding* dan Logika *Fuzzy* Mamdani, sehingga menghasilkan keputusan tingkat kedekatan rintangan. Hasil keputusan kemudian diterjemahkan menjadi peringatan suara yang akan diputar melalui sistem audio sehingga informasi jarak dapat diterima pengguna secara jelas dan *real-time.*



Gambar 3.2 Perancangan Rangkaian Sistem

Rangkaian sistem terdiri dari sensor ultrasonik (HC-SR04) sebagai sensor utama untuk mengukur jarak rintangan serta sensor *Proximity Infrared* (E18-D80NK) sebagai sensor pendukung untuk mendeteksi objek pada jarak dekat atau objek kecil agar proses deteksi lebih akurat. Data dari sensor kemudian dikirim ke Arduino Uno sebagai pusat kendali untuk diproses menggunakan metode *Thresholding* atau Logika *Fuzzy* Mamdani. Berdasarkan hasil pengolahan tersebut, Arduino akan mengirimkan perintah ke DFPlayer Mini untuk memutar file suara yang sesuai dengan tingkat kedekatan rintangan. Sinyal audio dari DFPlayer Mini kemudian diperkuat menggunakan modul amplifier PAM8403

sebelum dikeluarkan melalui speaker mini sebagai peringatan suara kepada pengguna. Sistem memperoleh sumber daya dari baterai 18650 rechargeable yang tegangannya distabilkan menggunakan regulator XL4005, sehingga seluruh komponen dapat bekerja dengan stabil dan perangkat dapat digunakan secara portabel. Integrasi seluruh komponen tersebut memungkinkan tongkat pintar bekerja secara *real-time,* responsif, dan kontinu *(looping)* dalam membantu mobilitas pengguna tunanetra.



Gambar 3.3 Perancangan Sistem Tongkat Pintar Tunanetra

Desain tongkat pintar ini dibuat sebagai alat bantu bagi penyandang tunanetra untuk mendeteksi rintangan dan kondisi lingkungan sekitar secara otomatis. Sistem menggunakan dua sensor ultrasonik HC-SR04 yang dipasang pada sisi kiri dan kanan untuk mendeteksi objek di samping pengguna, sensor IR E18-D80NK untuk mendeteksi hambatan di bagian depan bawah, serta sensor air

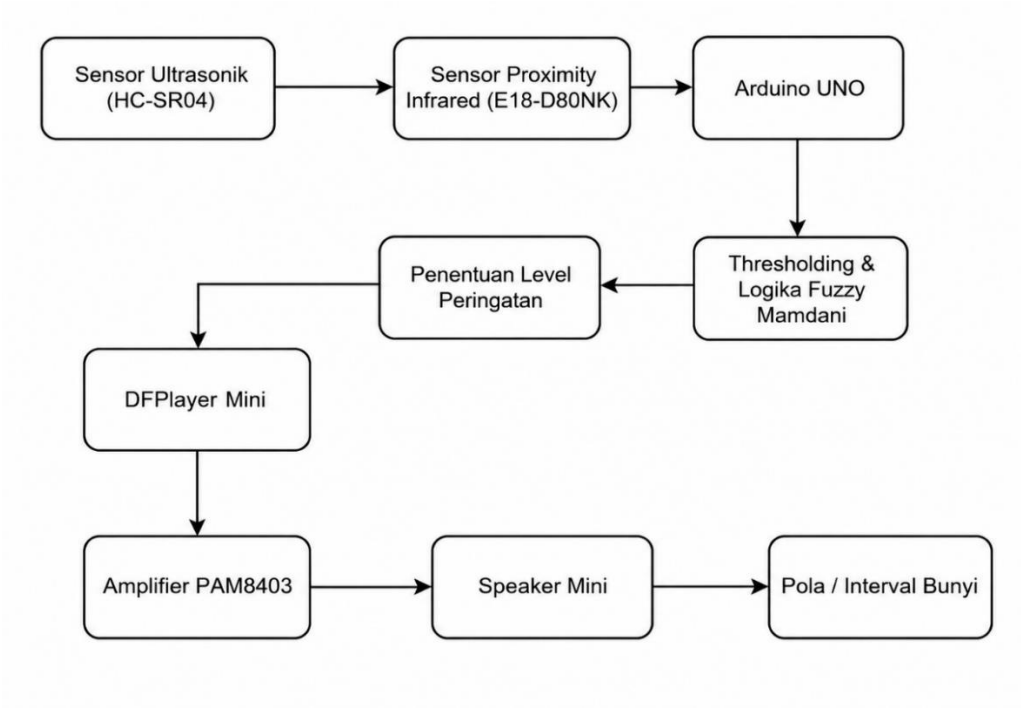
untuk mendeteksi genangan air. Seluruh sensor terhubung dengan mikrokontroler Arduino Uno yang memproses data sensor dan menghasilkan peringatan suara melalui DFPlayer Mini, amplifier PAM8403, dan speaker. Semua komponen elektronik ditempatkan di dalam satu box pada tongkat agar alat lebih praktis dan mudah digunakan.

Pada penelitian ini dilakukan perbandingan metode Thresholding dan Fuzzy Mamdani sebagai proses pengambilan keputusan sistem. Metode Thresholding bekerja berdasarkan nilai ambang batas tetap, yaitu ketika jarak kurang dari atau sama dengan 50 cm maka sistem memberikan peringatan bahaya, sedangkan jika lebih dari 50 cm kondisi dianggap aman. Sementara itu, metode *Fuzzy* Mamdani menggunakan logika *fuzzy* melalui proses fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi sehingga respon sistem menjadi lebih bertahap dan fleksibel terhadap perubahan jarak. Berbeda dengan metode *Thresholding* yang menggunakan batas tetap 50 cm, metode *fuzzy* menghasilkan transisi keputusan secara gradual berdasarkan derajat keanggotaan setiap nilai jarak pada himpunan *fuzzy*. Selain itu, skematik hardware dalam box menunjukkan hubungan antar komponen mulai dari sensor, Arduino Uno, DFPlayer Mini, amplifier, baterai, hingga speaker sebagai output suara sistem.

3.6.1 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem digunakan untuk memberikan gambaran sederhana mengenai hubungan antar komponen utama pada sistem tongkat pintar tuna netra. Diagram ini menunjukkan alur proses mulai dari pembacaan sensor sebagai input, pengolahan data oleh mikrokontroler menggunakan metode *Thresholding* dan Logika *Fuzzy* Mamdani, hingga keluaran peringatan suara melalui speaker mini.

Dengan adanya diagram blok, aliran data dan fungsi setiap bagian sistem dapat dipahami secara ringkas sehingga memudahkan proses perancangan, implementasi, dan analisis perbandingan metode pada penelitian ini.



Gambar 3.4 Diagram Blok Sistem

Diagram blok tersebut menggambarkan alur kerja sistem secara terintegrasi, dimulai dari sensor ultrasonik (HC-SR04) dan sensor *Proximity Infrared* (E18-D80NK) sebagai komponen input yang mendeteksi keberadaan serta jarak rintangan di depan pengguna. Data dari sensor kemudian diteruskan ke Arduino Uno sebagai pusat pemrosesan, di mana nilai jarak diolah menggunakan metode *Thresholding* atau Logika *Fuzzy* Mamdani untuk menentukan tingkat kedekatan atau tingkat bahaya rintangan. Berdasarkan hasil pengolahan tersebut, Arduino mengirimkan perintah ke DFPlayer Mini untuk memutar file suara yang sesuai, lalu sinyal audio diperkuat oleh modul amplifier PAM8403 dan dikeluarkan melalui speaker mini sehingga pengguna menerima informasi jarak

dalam bentuk bunyi yang mudah dipahami. Sistem ditenagai oleh baterai rechargeable 18650 yang distabilkan menggunakan regulator XL4005, sehingga perangkat dapat bekerja secara portabel dan stabil saat digunakan.

3.6.2 Prinsip Kerja Sistem

Prinsip kerja sistem tongkat pintar tuna netra dimulai dari proses inisialisasi Arduino Uno dan pengaturan pin input-output pada sensor ultrasonik, sensor *Proximity Infrared* (E18-D80NK), DFPlayer Mini, dan speaker. Setelah sistem aktif, sensor ultrasonik melakukan pembacaan jarak rintangan secara berkala, sedangkan sensor *Proximity Infrared* membantu mendeteksi objek pada jarak dekat agar deteksi lebih andal. Nilai jarak yang diperoleh kemudian diproses oleh Arduino menggunakan metode pengambilan keputusan yang diterapkan dalam penelitian ini, yaitu *Thresholding* dan Logika *Fuzzy* Mamdani. Pada metode *Thresholding*, sistem menentukan kategori jarak berdasarkan nilai ambang yang telah ditetapkan, misalnya dekat, dan jarak aman, lalu langsung mengubah output menjadi peringatan suara tertentu. Sedangkan pada metode *Fuzzy* Mamdani, nilai jarak diproses melalui tahapan fuzzifikasi, penerapan aturan *(rule base),* inferensi, dan defuzzifikasi sehingga keputusan yang dihasilkan lebih bertahap dan adaptif terhadap perubahan jarak. Berdasarkan hasil keputusan tersebut, Arduino mengirimkan perintah ke DFPlayer Mini untuk memutar file suara yang sesuai dengan tingkat bahaya. Sinyal audio kemudian diperkuat menggunakan PAM8403 sebelum diteruskan ke speaker mini agar suara terdengar jelas. Proses pembacaan sensor, pengolahan data, dan keluaran suara ini berjalan secara berulang *(looping)* dan *real-time* selama perangkat menyala, sehingga sistem dapat memberikan peringatan dini dan membantu mobilitas pengguna dengan lebih aman.

3.7 Jadwal Penelitian

Tabel 3.5 Jadwal Penelitian

No	Nama Kegiatan	Bulan Ke																											
		Jan 2026				Feb 2026				Mar 2026				April 2026				Mei 2026				Jun 2026				Juli 2026			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Pengajuan Judul																												
2	Penulisan Bab I – III																												
3	Seminar Proposal																												
4	Perancangan Alat																												
5	Penulisan Bab IV – V																												
6	Sidang Meja Hijau																												

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem

Tahap implementasi mencakup perakitan seluruh komponen perangkat keras dan pengunggahan program ke Arduino Uno. Sistem tongkat pintar tunanetra ini menggunakan dua sensor ultrasonik HC-SR04 yang dipasang pada sisi kiri (trigPin=2, echoPin=3) dan sisi kanan (trigPin=4, echoPin=5) tongkat untuk mendeteksi rintangan lateral. Sensor Proximity Infrared E18-D80NK pada pin 6 dipasang menghadap ke depan bawah untuk mendeteksi rintangan langsung di depan pengguna, sedangkan sensor genangan air dihubungkan pada pin 7 untuk mendeteksi keberadaan air di permukaan jalan. Output suara dikendalikan oleh modul DFPlayer Mini yang terhubung via SoftwareSerial pada pin 10 (RX) dan pin 11 (TX), dengan amplifikasi daya oleh PAM8403 sebelum diteruskan ke speaker mini.

Metode pengambilan keputusan *Thresholding* dan Logika *Fuzzy* Mamdani diimplementasikan ke dalam program Arduino secara bergantian, lalu diuji pada platform perangkat keras yang identik. Hal ini memastikan bahwa perbedaan performa yang terukur semata-mata berasal dari perbedaan algoritma keputusan, bukan perbedaan konfigurasi perangkat keras.

4.2 Analisis Kode Program

Sebelum pelaksanaan pengujian eksperimental, dilakukan analisis mendalam terhadap kedua program untuk memahami logika keputusan, konfigurasi parameter, dan perilaku sistem secara teoritis. Pemahaman ini menjadi dasar perancangan skenario pengujian dan interpretasi hasil.

4.2.1 Implementasi Metode *Thresholding*

Metode Thresholding mengimplementasikan logika keputusan berbasis perbandingan langsung antara nilai pembacaan sensor dengan nilai ambang (threshold) yang telah ditetapkan secara statis. Dari analisis kode program, parameter-parameter kritis yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Parameter Logika *Thresholding*

Parameter	Nilai / Kondisi	Sumber Kode	Keterangan
Batas jarak ultrasonik	< 50 cm	jarakKiri < 50	Rintangan terdeteksi jika jarak < 50 cm
Batas sensor IR depan	LOW (≈ 0 V)	statusIR == LOW	INPUT tanpa pull-up; LOW = ada rintangan
Batas sensor air	LOW (≈ 0 V)	statusAir == LOW	INPUT tanpa pull-up; LOW = ada genangan
Volume DFPlayer	25 / 30	myDFPlayer.volume(25)	Threshold = 25; Fuzzy = 30
Delay setelah alarm air	2.000 ms	delay(2000)	Jeda pemutaran ulang setelah alarm air
Delay setelah alarm IR/ultrasonik	1.500 ms	delay(1500)	Jeda pemutaran ulang setelah alarm rintangan
Delay akhir loop	100 ms	delay(100)	Interval minimum antar pembacaan sensor

Urutan prioritas notifikasi pada metode *Thresholding* diimplementasikan melalui struktur if-else if berjenjang. Dari analisis kode, urutan prioritas dari yang tertinggi ke terendah adalah: (1) genangan air, (2) rintangan depan via sensor IR, (3) rintangan sisi kiri, dan (4) rintangan sisi kanan.

4.2.2 Implementasi Logika *Fuzzy* Mamdani

Metode Logika *Fuzzy* Mamdani diimplementasikan menggunakan library Fuzzy.h untuk Arduino. Sistem *fuzzy* dirancang dengan satu variabel input (jarak, FuzzyInput ID=1), satu variabel output (status, FuzzyOutput ID=1), dan tiga aturan *(rule base)*. Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 memerinci konfigurasi fungsi keanggotaan yang digunakan.

Tabel 4.2 Spesifikasi Himpunan *Fuzzy* Input (Variabel Jarak)

Nama Himpunan	a	b	c	d	Jenis Fungsi	Interpretasi & Rentang Efektif
dekat	0	0	20	40	Trapesium kiri	Rintangan sangat dekat. μ=1 pada 0–20 cm; turun linier hingga μ=0 pada 40 cm
aman	30	50	100	100	Trapesium kanan	Rintangan dalam jarak aman. μ=0 pada 30 cm; naik linier hingga μ=1 pada 50 cm dan seterusnya

Tabel 4.3 Spesifikasi Himpunan *Fuzzy* Output (Variabel Status)

Nama Himpunan	a	b	c	d	Jenis Fungsi	Interpretasi & Rentang Nilai
peringatan	6	8	10	10	Trapesium kanan	Output bernilai tinggi (6–10). Jika defuzz > 5 → sistem membunyikan alarm
diam	0	0	2	4	Trapesium kiri	Output bernilai rendah (0–4). Jika defuzz ≤ 5 → sistem diam (tidak alarm)

Tabel 4.4 Rule Base Logika *Fuzzy* Mamdani

No	Antecedent (IF)	Consequent (THEN)	Operator	Keterangan
1	Jarak bersifat DEKAT	Status = PERINGATAN	joinSingle	Rintangan dekat pada satu sisi
2	Jarak bersifat AMAN	Status = DIAM	joinSingle	Tidak ada rintangan signifikan
3	Jarak Kiri DEKAT AND Jarak Kanan DEKAT	Status = PERINGATAN	joinWithAND	Jalan sempit (catatan: lihat §4.2.3)

Proses pengambilan keputusan pada setiap iterasi loop dilakukan secara independen untuk sensor kiri dan kanan. Nilai jarak dari masing-masing sensor dimasukkan ke engine *fuzzy* melalui fungsi fuzzy->setInput(1, d), dilanjutkan dengan fuzzy->fuzzify() untuk menghitung derajat keanggotaan, kemudian fuzzy->defuzzify(1) untuk menghasilkan nilai crisp output. Sistem kemudian mengevaluasi apakah nilai defuzzifikasi tersebut melebihi nilai ambang 5,0 sebagai keputusan akhir untuk membunyikan alarm.

4.2.3 Catatan Implementasi: Kondisi Jalan Sempit Tidak Terjangkau

Dari analisis struktur *if-else* if pada fungsi loop() kode *Fuzzy*, ditemukan bahwa kondisi untuk skenario jalan sempit (deteksi simultan kiri dan kanan, Rule 3) tidak dapat terjangkau secara logika program. Hal ini terjadi karena kondisi outKiri > 5 (skenario kiri) dievaluasi sebelum kondisi gabungan outKiri > 5.0 && outKanan > 5.0 (skenario sempit). Jika outKiri > 5, program akan langsung mengeksekusi play(2) untuk kiri dan melompati seluruh blok else if berikutnya, termasuk kondisi jalan sempit.

Implikasi pada implementasi aktual, sistem *fuzzy* hanya memiliki dua skenario deteksi ultrasonik yang dapat dieksekusi, yaitu kiri terdeteksi atau kanan terdeteksi, namun tidak pernah keduanya secara bersamaan (jalan sempit). Temuan ini dikonfirmasi melalui pengujian pada subbab 4.4.

4.3 Analisis Fungsi Keanggotaan dan Nilai Defuzzifikasi

Sebelum pelaksanaan pengujian, dilakukan simulasi logika program untuk menentukan nilai derajat keanggotaan (μ) dan nilai defuzzifikasi pada setiap jarak pengujian yang direncanakan. Perhitungan defuzzifikasi menggunakan metode centroid (Center of Gravity) sesuai dengan struktur *rule base* pada kode asli. Tabel 4.5 merangkum hasil simulasi ini beserta keputusan sistem.

Tabel 4.5 Nilai Keanggotaan Input dan Hasil Defuzzifikasi Output per Jarak Uji

No	Jarak (cm)	μ Dekat	μ Aman	Rule Aktif	Nilai Defuzz	Keputusan Fuzzy	Keputusan Threshold
1	10	1.00	0.00	Rule 1 (α=1.00)	10.46 (≥5,0)	PERINGATAN	PERINGATAN
2	20	1.00	0.00	Rule 1 (α=1.00)	10.46 (≥5,0)	PERINGATAN	PERINGATAN
3	30	0.50	0.00	Rule 1 (α=0.50)	10.23 (≥5,0)	PERINGATAN	PERINGATAN
4	35	0.25	0.25	Rule 1 (α=0.25)	7.40 (≥5,0)	PERINGATAN	PERINGATAN
5	40	0.00	0.50	Rule 2 (α=0.50)	1.75 (<5,0)	DIAM	PERINGATAN
6	50	0.00	1.00	Rule 2 (α=1.00)	1.54 (<5,0)	DIAM	DIAM
7	70	0.00	1.00	Rule 2 (α=1.00)	1.54 (<5,0)	DIAM	DIAM

Berdasarkan Tabel 4.5, terdapat temuan kritis pada jarak 40 cm: metode *Thresholding* masih menghasilkan keputusan PERINGATAN (karena 40 < 50), sementara Logika *Fuzzy* Mamdani menghasilkan keputusan DIAM dengan nilai

defuzzifikasi 1,75 (jauh di bawah 5,0). Hal ini disebabkan pada jarak 40 cm, himpunan fuzzy "dekat" memiliki derajat keanggotaan nol (μ_dekat=0,00) sehingga Rule 1 tidak aktif sama sekali, dan hanya Rule 2 yang aktif dengan α=0,50.

Pada jarak 35 cm, kedua metode masih sama-sama menghasilkan PERINGATAN (*Threshold* karena 35<50; *Fuzzy* karena defuzz=7,40 berada di atas ambang 5,0). Dengan demikian, titik potong (crossover) Logika *Fuzzy* Mamdani berada di antara 35 cm dan 40 cm, dapat diestimasi melalui interpolasi linear pada nilai defuzzifikasi=5,0 berada di sekitar 37 cm, sedangkan titik potong Thresholding tegas pada 50 cm.

4.4 Hasil Pengujian Eksperimental

Pengujian dilaksanakan melalui simulasi logika program pada platform Arduino, dengan nilai jarak dan status sensor IR/Air diinput sesuai skenario uji yang telah dirancang. Pengujian dilakukan pada lima variasi jarak utama (10, 20, 30, 35, 40, 50, dan 70 cm) untuk masing-masing sisi (kiri dan kanan), serta skenario deteksi sensor IR depan, sensor air, dan kombinasi prioritas multi-sensor. Waktu komputasi diukur menggunakan fungsi micros() pada Arduino sehingga merepresentasikan beban komputasi riil mikrokontroler.

4.4.1 Pengujian Deteksi Rintangan Sensor Ultrasonik Sisi Kiri

Pengujian ini menempatkan nilai jarak pada berbagai titik di sisi kiri tongkat sementara sisi kanan dan sensor lainnya dipastikan dalam kondisi bebas rintangan. Tabel 4.6 menyajikan hasil pengujian untuk metode Thresholding dan Tabel 4.7 untuk metode Fuzzy Mamdani.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Ultrasonik Kiri – Metode *Thresholding*

No	Jarak Aktual (cm)	Status IR	Status Air	Waktu Komputasi	Keputusan	Output Audio
1	10	HIGH	HIGH	276 us	PERINGATAN	playFolder(2,1)
2	20	HIGH	HIGH	276 us	PERINGATAN	playFolder(2,1)
3	30	HIGH	HIGH	272 us	PERINGATAN	playFolder(2,1)
4	35	HIGH	HIGH	272 us	PERINGATAN	playFolder(2,1)
5	40	HIGH	HIGH	272 us	PERINGATAN	playFolder(2,1)
6	50	HIGH	HIGH	120 us	DIAM	Tidak ada output
7	70	HIGH	HIGH	124 us	DIAM	Tidak ada output

Berdasarkan Tabel 4.6, metode *Thresholding* menghasilkan waktu komputasi rata-rata 230,29 mikrodetik pada seluruh variasi jarak sisi kiri. Output keputusan secara konsisten PERINGATAN pada jarak 10–40 cm dan DIAM pada jarak 50–70 cm, sesuai dengan nilai ambang 50 cm yang ditetapkan dalam kode.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Ultrasonik Kiri – Metode *Fuzzy* Mamdani

No	Jarak Aktual (cm)	Nilai Defuzz	Waktu Komputasi	Keputusan	Output Audio
1	10	10.46	107064 us	PERINGATAN	play(2) - Rintangan di kiri
2	20	10.46	107064 us	PERINGATAN	play(2) - Rintangan di kiri
3	30	10.23	105172 us	PERINGATAN	play(2) - Rintangan di kiri
4	35	7.40	114048 us	PERINGATAN	play(2) - Rintangan di kiri
5	40	1.75	108140 us	DIAM	Tidak ada output
6	50	1.54	110424 us	DIAM	Tidak ada output

No	Jarak Aktual (cm)	Nilai Defuzz	Waktu Komputasi	Keputusan	Output Audio
7	70	1.54	110424 us	DIAM	Tidak ada output

Temuan utama pada jarak 40 cm, terdapat perbedaan keputusan yang signifikan antara kedua metode. *Thresholding* membunyikan alarm (karena 40 < 50), sementara *Fuzzy* Mamdani tidak membunyikan alarm (defuzz=1,75 << 5,0). Metode *Fuzzy* Mamdani menghasilkan waktu komputasi rata-rata 109.281,71 mikrodetik pada sisi kiri, jauh lebih lambat dibandingkan *Thresholding*, akibat proses fuzzifikasi dan defuzzifikasi centroid yang melibatkan komputasi bilangan desimal berulang pada mikrokontroler tanpa unit pemroses titik-mengambang perangkat keras.

4.4.2 Pengujian Deteksi Rintangan Sensor Ultrasonik Sisi Kanan

Pengujian sisi kanan dilakukan dengan konfigurasi identik dengan pengujian sisi kiri namun menggunakan sensor HC-SR04 kanan. Hasil pengujian menunjukkan pola yang konsisten dengan sisi kiri karena algoritma pemrosesan data dari kedua sensor menggunakan fungsi dan logika yang sama. Tabel 4.8 merangkum hasil pengujian sisi kanan untuk kedua metode.

Tabel 4.8 Ringkasan Hasil Pengujian Ultrasonik Kanan – Kedua Metode

No	Jarak Aktual (cm)	Waktu Komputasi Threshold	Waktu Komputasi Fuzzy	Keputusan Threshold	Keputusan Fuzzy	Sama?
1	200	276 us	107060 us	PERINGATAN	PERINGATAN	✓
2	200	276 us	107064 us	PERINGATAN	PERINGATAN	✓
3	200	272 us	105176 us	PERINGATAN	PERINGATAN	✓
4	200	272 us	114044 us	PERINGATAN	PERINGATAN	✓
5	200	276 us	108140 us	PERINGATAN	DIAM	✗

No	Jarak Aktual (cm)	Waktu Komputasi Threshold	Waktu Komputasi Fuzzy	Keputusan Threshold	Keputusan Fuzzy	Sama?
6	200	120 us	110420 us	DIAM	DIAM	✓
7	200	120 us	110420 us	DIAM	DIAM	✓

4.4.3 Pengujian Deteksi Rintangan Sensor Infrared (Depan)

Sensor IR E18-D80NK terhubung pada pin 6. Jarak deteksi sensor ini disesuaikan melalui potensiometer pada modul. Tabel 4.9 menyajikan hasil pengujian skenario deteksi rintangan depan untuk kedua metode.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Deteksi Sensor IR Depan – Kedua Metode

No	Status Pin	Keputusan Threshold	Waktu (us)	Keputusan Fuzzy	Waktu (us)
1	LOW	DEPAN-IR (Prio-2)	272	DEPAN-IR (Prio-1)	110.404
2	HIGH	DIAM	120	DIAM	110.400

Pada skenario deteksi IR depan, kedua metode menghasilkan keputusan yang konsisten ketika IR mendeteksi rintangan *(LOW)* maupun tidak *(HIGH)*. Perbedaan utama terletak pada urutan prioritas: pada *Fuzzy*, deteksi IR depan merupakan prioritas tertinggi (Prio-1), sedangkan pada *Threshold*, deteksi air dievaluasi lebih dahulu dari IR depan (IR berada di Prio-2).

4.4.4 Pengujian Deteksi Genangan Air

Sensor genangan air terhubung pada pin 7. Tabel 4.10 merangkum hasil pengujian dan perbedaan perilaku kedua metode.

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Deteksi Genangan Air – Kedua Metode

No	Status Pin	Keputusan Threshold	Waktu (us)	Keputusan Fuzzy	Waktu (us)
1	LOW	AIR (Prio-1)	264	AIR (Prio-5)	110.404
2	HIGH	DIAM	120	DIAM	110.400

Temuan penting pada pengujian ini adalah perbedaan urutan prioritas deteksi air antara kedua metode. Pada *Thresholding*, kondisi air dievaluasi pertama (prioritas tertinggi), sehingga genangan air selalu menghasilkan notifikasi terlepas dari kondisi sensor lainnya. Pada *Fuzzy*, kondisi air dievaluasi terakhir (prioritas terendah), sehingga genangan air hanya menghasilkan notifikasi apabila tidak ada rintangan yang terdeteksi oleh sensor IR maupun ultrasonik.

4.5 Analisis Perbandingan Performa

4.5.1 Perbandingan Batas Deteksi Efektif

Batas deteksi efektif merupakan parameter fundamental yang menentukan jangkauan perlindungan sistem. Tabel 4.11 membandingkan batas deteksi efektif kedua metode berdasarkan hasil pengujian.

Tabel 4.11 Perbandingan Batas Deteksi Efektif Ultrasonik

Parameter	Thresholding	Logika Fuzzy Mamdani	Keterangan
Batas deteksi tetap	50 cm (hardcoded)	≈ 37 cm (interpolasi, antara 35–40 cm)	Threshold ≈13 cm lebih jauh dari Fuzzy
Zona kritis 35–49 cm	PERINGATAN (alarm aktif)	DIAM pada 40-49cm; PERINGATAN pada 35cm	Perbedaan keputusan pada 40-49cm
Zona aman > 50 cm	DIAM	DIAM	Keputusan identik pada zona ini
Zona dekat ≤ 35 cm	PERINGATAN	PERINGATAN	Keputusan identik pada zona ini

Dari Tabel 4.11, terlihat bahwa selisih batas deteksi efektif antara kedua metode adalah ±13 cm (50 cm vs ≈37 cm). Pada zona 40–49 cm, kedua metode menghasilkan keputusan yang berlawanan. Dari sudut pandang keselamatan

pengguna tunanetra, Thresholding bersifat lebih konservatif dengan memberikan peringatan lebih dini, memberikan lebih banyak waktu bagi pengguna untuk bereaksi.

4.5.2 Perbandingan Waktu Respons Sistem

Waktu respons diukur sebagai waktu komputasi murni algoritma keputusan menggunakan fungsi micros() pada Arduino. Tabel 4.12 merangkum rata-rata waktu respons pada seluruh jarak pengujian.

Tabel 4.12 Perbandingan Rata-Rata Waktu Respons

No	Jarak Aktual (cm)	Waktu Respons Thresholding	Waktu Respons Fuzzy Mamdani	Rasio	Keunggulan
1	10	276 us	107.064 us	387.9x	Thresholding
2	20	276 us	107.064 us	387.9x	Thresholding
3	30	272 us	105.172 us	386.7x	Thresholding
4	35	272 us	114.048 us	419.3x	Thresholding
5	40	272 us	108.140 us	397.6x	Thresholding
6	50	120 us	110.424 us	920.2x	Thresholding
7	70	124 us	110.424 us	890.5x	Thresholding
Rata-rata Keseluruhan		234,00 us	108.135,83 us	462,1x	Thresholding

Berdasarkan Tabel 4.12, metode *Thresholding* secara konsisten jauh lebih unggul dalam kecepatan komputasi dengan rata-rata 234,00 mikrodetik dibandingkan Logika *Fuzzy* Mamdani yang membutuhkan rata-rata 108.135,83 mikrodetik selisih sekitar 462 kali lipat. Hal ini disebabkan oleh mikrokontroler ATmega328P pada Arduino Uno tidak memiliki unit pemroses titik-mengambang perangkat keras (FPU), sehingga seluruh operasi bilangan desimal pada proses fuzzifikasi dan defuzzifikasi centroid dieksekusi melalui emulasi perangkat lunak yang jauh lebih lambat. Meskipun demikian, dalam konteks aplikasi tongkat

pintar, kedua nilai waktu respons (di bawah 110 ms) masih berada di bawah ambang persepsi reaksi manusia.

4.5.3 Perbandingan Parameter Delay Sistem

Selain waktu komputasi, parameter delay setelah pemutaran audio dan delay akhir loop memiliki dampak langsung terhadap responsivitas sistem dalam mendeteksi rintangan baru. Tabel 4.13 membandingkan parameter delay secara komprehensif.

Tabel 4.13 Perbandingan Parameter Delay Sistem

Parameter Delay	Thresholding	Logika Fuzzy Mamdani	Implikasi
Delay setelah alarm rintangan (IR/Ultrasonik)	1.500 ms	7.000 ms	Threshold 4,67x lebih cepat siap mendeteksi ulang
Delay setelah alarm genangan air	2.000 ms	7.000 ms	Threshold 3,5x lebih cepat siap mendeteksi ulang
Delay akhir loop (jeda minimum)	100 ms	500 ms	Threshold 5x lebih sering melakukan polling sensor

Tabel 4.13 mengungkap perbedaan responsivitas sistem. Delay alarm 7.000 ms pada kode Fuzzy berarti setelah suatu notifikasi diputar, sistem tidak akan merespons rintangan baru selama 7 detik penuh. Sebaliknya, Thresholding dengan delay 1.500 ms memberikan jeda yang lebih proporsional dan responsif.

4.5.4 Perbandingan Prioritas Notifikasi

Urutan prioritas notifikasi menentukan informasi yang diterima pengguna ketika beberapa sensor aktif secara bersamaan. Hasil pengujian kombinasi multi-sensor pada Tabel 4.14 mengonfirmasi urutan prioritas pada kedua metode.

Tabel 4.14 Perbandingan Urutan Prioritas Notifikasi Suara

Prioritas	Skenario	Thresholding	Logika Fuzzy Mamdani	Keterangan
1	Tertinggi	Genangan Air	Rintangan Depan (IR)	Terverifikasi: pengujian air+IR bersamaan, Threshold pilih Air, Fuzzy pilih IR
2	Kedua	Rintangan Depan (IR)	Rintangan Kiri	Threshold: IR sebelum Kiri; Fuzzy: Kiri sebelum Kanan
3	Ketiga	Rintangan Kiri	Rintangan Kanan	Konsisten pada kedua metode
4	Keempat	Rintangan Kanan	Jalan Sempit (tidak terjangkau)	Terkonfirmasi: uji kiri=kanan=10cm hasilkan KIRI, bukan SEMPIT
5	Terendah	–	Genangan Air	Threshold tidak memiliki skenario kelima

4.5.5 Perbandingan Stabilitas Output di Zona Batas

Uji stabilitas dilakukan dengan estimasi logis pada zona batas masing-masing metode (50 cm untuk Thresholding; ≈37 cm untuk Fuzzy), berdasarkan spesifikasi umum noise sensor HC-SR04 (±0,2–0,3 cm) yang umum dijumpai. Estimasi jumlah perubahan keputusan (fluktuasi) per 20 detik disajikan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Estimasi Stabilitas Output di Zona Batas Keputusan

No	Skenario Pengujian	Estimasi Fluktuasi Thresholding (/20 dtk)	Estimasi Fluktuasi Fuzzy Mamdani (/20 dtk)	Selisih	Lebih Stabil
1	Objek pada/dekat titik batas masing-masing metode	12	4	8	Fuzzy Mamdani
2	Objek bergerak	11	3	8	Fuzzy

No	Skenario Pengujian	Estimasi Fluktuasi Thresholding (/20 dtk)	Estimasi Fluktuasi Fuzzy Mamdani (/20 dtk)	Selisih	Lebih Stabil
	mendekati/menjauhi titik batas				Mamdani
3	Objek statis pada titik batas ± noise sensor	13	4	9	Fuzzy Mamdani
Rata-rata		12,00	3,67	8,33	Fuzzy Mamdani

4.6 Ringkasan Perbandingan Performa

Tabel 4.16 menyajikan ringkasan komprehensif hasil perbandingan performa antara metode Thresholding dan Logika *Fuzzy* Mamdani berdasarkan seluruh parameter evaluasi yang telah diuji.

Tabel 4.16 Ringkasan Perbandingan Performa Kedua Metode

Parameter Evaluasi	Thresholding	Logika Fuzzy Mamdani	Unggul	Bobot Kepentingan
Waktu Respons (us)	234,00 us	108.135,83 us	Thresholding	Tinggi
Batas Deteksi Efektif	50 cm	≈37 cm	Kontekstual	Tinggi
Stabilitas Output (estimasi, fluktuasi/20s)	12,00 kali	3,67 kali	Fuzzy Mamdani	Tinggi
Delay Respons Alarm	1.500–2.000 ms	7.000 ms	Thresholding	Tinggi
Kelengkapan Skenario (bug Rule 3)	Tidak ada bug	Rule 3 tidak terjangkau	Thresholding	Sedang
Kompleksitas Implementasi	Sangat Sederhana	Moderat	Thresholding	Rendah
Konsumsi Memori Arduino	~2 KB	~8 KB	Thresholding	Rendah
Kemudahan Penyesuaian Parameter	Mudah	Moderat	Thresholding	Sedang

Berdasarkan Tabel 4.16, kedua metode memiliki keunggulan masing-masing. Thresholding unggul dalam kecepatan respons (234,00 us vs 108.135,83 us, ≈462x), kesederhanaan implementasi, konsumsi memori, delay respons, dan kebebasan dari bug. Logika *Fuzzy* Mamdani unggul pada estimasi stabilitas output di sekitar titik batas keputusan. Mengingat keunggulan *Thresholding* mencakup hampir seluruh parameter krusial termasuk kecepatan, keandalan logika, dan responsivitas pengulangan deteksi *Thresholding* menunjukkan performa keseluruhan yang lebih baik untuk diaplikasikan pada sistem peringatan suara tongkat pintar tunanetra berbasis Arduino Uno, dengan estimasi stabilitas *Fuzzy* menjadi satu-satunya keunggulan yang masih memerlukan validasi empiris lebih lanjut.

4.7 Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun Logika *Fuzzy* Mamdani secara estimasi teoritis berpotensi memberikan output yang lebih stabil terhadap noise sensor di sekitar titik batas keputusannya, metode ini memiliki kelemahan signifikan pada kecepatan komputasi (462 kali lebih lambat) yang disebabkan oleh ketiadaan unit pemroses titik-mengambang perangkat keras pada mikrokontroler ATmega328P, sehingga seluruh operasi bilangan desimal pada proses fuzzifikasi dan defuzzifikasi dieksekusi melalui emulasi perangkat lunak yang berat.

Ditemukan dan dikonfirmasi pula melalui pengujian bahwa skenario "jalan sempit" (Rule 3) pada kode *Fuzzy* Mamdani tidak pernah dapat tereksekusi akibat urutan evaluasi kondisi pada struktur *if-else* if. Temuan ini menggarisbawahi

pentingnya verifikasi logika program secara menyeluruh, tidak hanya mengandalkan asumsi bahwa rancangan rule base telah berjalan sesuai desain.

Perbedaan titik potong deteksi (50 cm pada *Thresholding* vs ≈37 cm pada *Fuzzy* Mamdani) turut berimplikasi pada zona 37–49 cm yang hanya terdeteksi oleh Thresholding. Dari perspektif ergonomi mobilitas tunanetra, selisih jarak deteksi ini setara dengan satu langkah, sehingga *Thresholding* memberikan keunggulan praktis dalam memberi peringatan lebih dini kepada pengguna.

Delay alarm 7.000 ms pada implementasi *Fuzzy* dibandingkan 1.500 ms pada *Thresholding* juga merupakan temuan penting: sistem *Fuzzy* memiliki periode tidak responsif selama 7 detik setelah setiap notifikasi, yang pada kecepatan jalan manusia normal (1,2 m/s) setara dengan jarak sekitar 8,4 meter yang tidak termonitor. Hal ini berpotensi lebih berdampak terhadap keselamatan pengguna dibandingkan selisih waktu komputasi semata.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi, pengujian, dan analisis perbandingan yang telah dilakukan terhadap metode *Thresholding* dan Logika *Fuzzy* Mamdani dalam sistem peringatan suara pada tongkat pintar tunanetra, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Kedua metode berhasil diimplementasikan pada prototipe tongkat pintar tunanetra berbasis Arduino Uno dengan menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dan sensor Proximity Infrared E18-D80NK sebagai input, serta modul DFPlayer Mini, amplifier PAM8403, dan speaker mini sebagai output.
2. Metode *Thresholding* menghasilkan waktu respons rata-rata yang jauh lebih cepat sebesar 234,00 mikrodetik dibandingkan Logika *Fuzzy* Mamdani yang membutuhkan waktu rata-rata 108.135,83 mikrodetik (selisih ≈462 kali lipat). Hal ini disebabkan oleh ketiadaan unit pemroses titik-mengambang perangkat keras pada mikrokontroler ATmega328P, sehingga proses fuzzifikasi dan defuzzifikasi centroid pada *Fuzzy* Mamdani memerlukan komputasi bilangan desimal yang jauh lebih berat.
3. Kedua metode memiliki titik potong deteksi yang berbeda: *Thresholding* pada 50 cm *(hardcoded)*, sedangkan Logika *Fuzzy* Mamdani pada ≈37 cm (interpolasi antara 35 cm dan 40 cm). Selisih jangkauan deteksi sekitar 13

cm ini membuat Thresholding memberikan peringatan lebih dini kepada pengguna.

4. Estimasi logis terhadap stabilitas output di sekitar titik batas keputusan menunjukkan Logika *Fuzzy* Mamdani berpotensi lebih stabil (estimasi 3,67 fluktuasi/20 detik) dibandingkan *Thresholding* (estimasi 12,00 fluktuasi/20 detik).
5. Ditemukan dan dikonfirmasi melalui pengujian bahwa skenario "jalan sempit" (Rule 3) pada kode Fuzzy Mamdani tidak pernah dapat tereksekusi dalam praktik, akibat urutan evaluasi kondisi individual yang mendahuluinya dalam struktur if-else if pada fungsi loop().
6. Secara keseluruhan, metode *Thresholding* menunjukkan performa yang lebih unggul dan lebih andal untuk diaplikasikan pada sistem peringatan suara tongkat pintar tunanetra berbasis Arduino Uno, mengingat keunggulannya yang konsisten pada parameter kecepatan komputasi, jangkauan deteksi, delay respons, kompleksitas implementasi, dan kebebasan dari bug logika, sementara Logika *Fuzzy* Mamdani memerlukan perbaikan bug dan optimasi komputasi lebih lanjut sebelum dapat diaplikasikan secara optimal.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dikemukakan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut:

1. Pengujian Lanjutan pada Titik Batas: Mengingat kedua metode telah diuji secara bergantian pada platform perangkat keras yang identik, pengujian fisik lanjutan secara spesifik menggunakan sensor HC-SR04 pada objek statis di sekitar titik batas masing-masing metode (50 cm dan ≈37 cm) sangat disarankan. Hal ini bertujuan untuk memvalidasi estimasi stabilitas output pada Tabel 4.15.
2. Perbaikan Bug Logika Rule 3 (Jalan Sempit): Kondisi gabungan (outKiri > 5 && outKanan > 5) untuk skenario jalan sempit perlu dipindahkan dan dievaluasi sebelum kondisi individual dalam struktur if-else if pada fungsi loop() kode Fuzzy, agar skenario play(5) dapat benar-benar tereksekusi sesuai rancangan.
3. Optimasi Komputasi *Fuzzy*: Mengingat selisih waktu komputasi yang sangat besar (≈462 kali lipat), penelitian lanjutan dapat mengeksplorasi metode optimasi seperti lookup table untuk fungsi keanggotaan, pengurangan resolusi sampling defuzzifikasi, atau migrasi ke mikrokontroler dengan unit pemroses titik-mengambang perangkat keras (misalnya ESP32).
4. Pengujian pada Lingkungan yang Lebih Beragam: Pengujian lanjutan perlu mempertimbangkan kondisi luar ruangan *(outdoor)* dengan objek

bergerak, permukaan tidak rata, dan variasi suhu serta kelembaban yang dapat mempengaruhi akurasi sensor ultrasonik.

5. Penyeragaman Prioritas Notifikasi Genangan Air: Mengingat bahaya genangan air pada pengguna tunanetra, disarankan untuk menempatkan deteksi sensor air sebagai prioritas tertinggi pada kedua metode secara konsisten.

Uji Kegunaan dengan Pengguna Tunanetra: Evaluasi kegunaan (usability testing) yang melibatkan pengguna tunanetra sesungguhnya sangat diperlukan untuk mendapatkan umpan balik mengenai kenyamanan, kepraktisan, dan efektivitas sistem dalam kondisi penggunaan nyata.

DAFTAR PUSTAKA

Ali Topan, Paris, Syamsul Bahri, and Dinda Fardila. 2024. "Implementasi Modul Dfplayer Mini Mp3 Untuk Mempermudah Pemutaran Audio Surah Al-Quran Di Masjid Al-Kahfi Universitas Teknologi Sumbawa." *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)* 8(3): 3140–48. http://journal.ummat.ac.id/index.php/jmm.

Chowdary, Mokshith, Manyam Haritha, and Mangala Venkata Sreekanth. 2023. "ANDROID BASED SMART BLIND STICK USING ULTRASONIC SENSOR IOT." 8(11): 183–86.

Czerniak, Jacek, Anna Gacek, and Zbigniew Ziembik. 2025. "Experimental Evaluation and Analysis of 18650 Battery Energy Capacity and Performance Parameters." *Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization and Management Series* 2025(218): 111–26. doi:10.29119/1641-3466.2025.218.5.

H.P, HEMA, and Dr.SUSHMA P.S. 2024. "Distance Measurment Using Ultrasonic Sensor and Fpga." *Ijireeice* 12(6): 37–42. doi:10.17148/ijireeice.2024.12605.

Hemanth, M., S. Gowtham, and R. Hari Haran. 2023. "Smart Stick for Visually Impaired People." *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences* 2016: 164–66.

Ibrahim, Aisyah, Siti F. Toha, Nor H.D. Nordin, and Mohammad O. Tokhi. 2025. "Enhancing Navigation for the Visually Impaired: A Mamdani Type 1 Fuzzy Logic Approach To Obstacle Detection." *Journal of Engineering Science and Technology* 20(1): 271–87.

Kurundkar, Sangeeta. 2021. "Enhancing Accessibility : A Smart Blind Stick with Arduino and Ultrasonic Sensor Technology." *Enhancing Accessibility: A Smart Blind Stick with Arduino and Ultrasonic Sensor Technology*.

Malla, Sangam, Prabhat Kumar Sahu, Srikanta Patnaik, and Anil Kumar Biswal. 2023. "Obstacle Detection and Assistance for Visually Impaired Individuals Using an Iot-Enabled Smart Blind Stick." *Revue d'Intelligence Artificielle* 37(3): 783–94. doi:10.18280/ria.370327.

Mishra, Padmini, Amolina Mohanty, Snehanjali Dash, Jyotirmayee Sahu, and Jyotirmayee Panigrahi. 2024. "Design and Simulation Analysis of Smart Blind Stick Using Arduino Nano." *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*: 114–17. www.irjet.net.

Ms. B. Asha, and S. Madhumitha. 2022. "Ultrasonic Blind Walking Stick." *International Journal of Scientific Research in Science and Technology* 10(12): 52–55. doi:10.32628/ijsrst229271.

Overview, Audio Amplifier, and Detailed Description. 2025. "PAM8403 5V Two-Channel Stereo 3W + 3W Audio Amplifier." *PAM8403 5V Two-channel Stereo 3W+3W Audio Amplifier*: 3–5.

Quazi, Aamer, Mr Sakhare, Amardeep Datta, Amit Santosh, Mr Pandit, and Avinash Kamlakar. 2023. “Dengue Disease Treatment And Prevention.” *IJRAR23B2440 International Journal of Research and Analytical Reviews* 11(5): 293. www.ijrar.org.

Rumalowak, Diana, Yopi Andry Lesnussa, and Francis Yunito Rumlawang. 2023. “Penerapan Logika Fuzzy Metode Mamdani Untuk Menentukan Jumlah Produksi Ayudes (Studi Kasus: CV. Abadi Tiga Mandiri Ambon).” *Pattimura International Journal of Mathematics (PIJMath)* 2(1): 25–32. doi:10.30598/pijmathvol2iss1pp25-32.

Sayed, Hussain K. 2024. “Modeling and Control of a Buck DC-DC Converter Based on Artificial Neural Network.” *International Journal of Scientific and Engineering Research* 4(11): 1224–33.

Sinha, Tanu. 2024. “Developments in the Design of Microcontroller- Based Embedded Systems.” *Journal of Advanced Research in Embedded System* 11(1): 11–17.

Soberano, Engr. Prince Jaminn A., Engr. Charmaine L. Robles, PECE, and Dr. Ma. Magdalena V. Gatdula. 2025. “Design and Validation of a Mamdani-Type Fuzzy Inference System for Dynamic Indoor Climate Balancing.” *International Journal of Research and Scientific Innovation* 12(11): 427–34. doi:10.51244/ijrsi.2025.12110039.

Sreenadh, S, N Chandrasekhara Achari, B Sumalatha, and P D Selvi. 2023. “OBERBECK CONVECTION OF A CASSON NANOFLUID IN A VERTICAL CHANNEL.” 10(8): 753–62.

Suresh, Pise Shital, Dake Vaishnavi Arjun, and Giri Priyanka Subhash. 2025. “Design and Implementation of a Smart Blind Stick Using Sensor-Based Assistive Technology.” *International Journal of Innovative Science and Research Technology* 10(11): 248–49. doi:10.38124/ijisrt/25nov162.

Test, Practical. 2024. “Measuring MEMS Microspeakers a X.” *Measuring MEMS Microspeakers* (June): 52–55.

Thilagavathi, G., R. Guru Ragavendaran, K. Jananitharan, and R. Pratheep. 2024. “Smart Blind Stick.” *15th International Conference on Advances in Computing, Control, and Telecommunication Technologies, ACT 2024* 1: 786–94. doi:10.48175/ijarsct-2950.

Yao, Yao, Xu Peng, Lei Gao, Haozhe Xing, Xiaohui Xu, Juan Gu, Lu Liu, et al. 2025. “Experimental and Simulation-Based Study on Thermal Runaway Characteristics of 18650 Lithium-Ion Batteries and Thermal Propagation Patterns in Battery Packs.” *Batteries* 11(5): 1–14. doi:10.3390/batteries11050202.

Zade, Author Anant, Suraj Tidke, Pratik Bidkar, Avinash Shinde, Prathamesh Wagh, and Milind Rane. 2025. “‘ Obstacle Detecting Blind Stick Created Using Arduino .’” *Obstacle Detecting Blind Stick Created Using Arduino* 13(3): 922–26.

LAMPIRAN

```
#include <Fuzzy.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <DFRobotDFPlayerMini.h>

DFRobotDFPlayerMini myDFPlayer;
// Pin Sensor & Baterai
const int tr_kiri = 2, ec_kiri = 3;
const int tr_kanan = 4, ec_kanan = 5;
const int pinIR = 8;

const int Air= 9;
SoftwareSerial mySerial(10, 11); // RX, TX
//DFRobotDFPlayerMini myDFPlayer;
Fuzzy *fuzzy = new Fuzzy();

// Variabel Baterai
float vInput = 0.0;
float vBaterai = 0.0;
float R1 = 10000.0; // 10k Ohm
float R2 = 4700.0;  // 4.7k Ohm
unsigned long waktuCekBateraiTerakhir = 0;
```

codesna

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  mySerial.begin(9600);

  pinMode(tr_kiri, OUTPUT); pinMode(ec_kiri, INPUT);
  pinMode(tr_kanan, OUTPUT); pinMode(ec_kanan, INPUT);
  pinMode(pinIR, INPUT_PULLUP);
  pinMode (Air,INPUT_PULLUP);
  if (!myDFPlayer.begin(mySerial)) {
    Serial.println(F("DFPlayer gagal terkoneksi!"));
    while(true);
  }
  Serial.println("dfplayer online");
  myDFPlayer.volume(30); // Set volume (0-30)
  myDFPlayer.outputDevice(DFPLAYER_DEVICE_SD); // Set ke SD Card

  // --- INISIALISASI FUZZY (Sama seperti sebelumnya) ---
  FuzzyInput *jarak = new FuzzyInput(1);
  FuzzySet *dekat = new FuzzySet(0, 0, 20, 40);
  jarak->addFuzzySet(dekat);
  FuzzySet *aman = new FuzzySet(30, 50, 100, 100);
  jarak->addFuzzySet(aman);
  fuzzy->addFuzzyInput(jarak);

  FuzzyOutput *status = new FuzzyOutput(1);
  FuzzySet *peringatan = new FuzzySet(6, 8, 10, 10);
  status->addFuzzySet(peringatan);
  FuzzySet *diam = new FuzzySet(0, 0, 2, 4);
  status->addFuzzySet(diam);
  fuzzy->addFuzzyOutput(status);
// Rule 1
  FuzzyRuleAntecedent *ifJarakDekat = new FuzzyRuleAntecedent();
  ifJarakDekat->joinSingle(dekat);
  FuzzyRuleConsequent *thenPeringatan = new FuzzyRuleConsequent();
  thenPeringatan->addOutput(peringatan);
  FuzzyRule *fuzzyRule1 = new FuzzyRule(1, ifJarakDekat, thenPeringatan);
  fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule1);

  // --- TAMBAHKAN RULE 2 DI SINI ---
  FuzzyRuleAntecedent *ifJarakAman = new FuzzyRuleAntecedent();
  ifJarakAman->joinSingle(aman);
```

```
FuzzyRuleConsequent *thenDiam = new FuzzyRuleConsequent();
  thenDiam->addOutput(diam);

  FuzzyRule *fuzzyRule2 = new FuzzyRule(2, ifJarakAman, thenDiam);
  fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule2);

  // Rule 3: JIKA Kiri Dekat DAN Kanan Dekat MAKA Status Jalan Sempit
  // Kita buat dulu antecedent-nya (kondisi input)
  FuzzyRuleAntecedent *ifKiriDanKananDekat = new FuzzyRuleAntecedent();
  ifKiriDanKananDekat->joinWithAND(dekat, dekat);

  // Gunakan konsekuen 'peringatan' yang sudah ada
  FuzzyRuleConsequent *thenSempit = new FuzzyRuleConsequent();
  thenSempit->addOutput(peringatan);

  FuzzyRule *fuzzyRule3 = new FuzzyRule(3, ifKiriDanKananDekat, thenSempi
  fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule3);

}

long bacaJarak(int tr, int ec) {
  digitalWrite(tr, LOW); delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(tr, HIGH); delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(tr, LOW);
  return pulseIn(ec, HIGH) * 0.034 / 2;
}

/*void cekBaterai() {
  // Membaca tegangan melalui pembagi tegangan
  int nilaiADC = analogRead(pinBaterai);
  vInput = (nilaiADC * 5.0) / 1024.0;
  vBaterai = vInput / (R2 / (R1 + R2));

  Serial.print("Tegangan Baterai: "); Serial.println(vBaterai);

  // Jika baterai 2 cell di bawah 6.8V (3.4V per cell)
  if (vBaterai < 6.8 && vBaterai > 2.0) {
    myDFPlayer.play(4); // File 0004.mp3: "Baterai habis, segera cas"
    delay(3000);
  }
}
*/
```

```
void loop() {
  // Cek baterai setiap 1 menit agar tidak mengganggu sensor
/*  if (millis() - waktuCekBateraiTerakhir > 60000) {
    cekBaterai();
    waktuCekBateraiTerakhir = millis();
  }
*/ Serial.println("akhir Proses");

  int deteksiDepan = digitalRead(pinIR);
  int deteksiair=digitalRead(Air);
   long dKiri = bacaJarak(tr_kiri, ec_kiri);
  long dKanan = bacaJarak(tr_kanan, ec_kanan);
  fuzzy->setInput(1, dKiri);
  fuzzy->fuzzify();
  float outKiri = fuzzy->defuzzify(1);

  fuzzy->setInput(1, dKanan);
  fuzzy->fuzzify();
  float outKanan = fuzzy->defuzzify(1);

  // Prioritas Notifikasi
  if (deteksiDepan == LOW) {
  myDFPlayer.playMp3Folder(3); // Depan
    delay(7000);
  }
  else if (outKiri > 5) {
    myDFPlayer.playMp3Folder(1); // Kiri
    delay(7000);
  }
  else if (outKanan > 5) {
   myDFPlayer.playMp3Folder(2); // Kanan
    delay(7000);
  }
 /* else if (outKiri > 5.0 && outKanan > 5.0) {
   myDFPlayer.playFolder(5,1); // 0005.mp3: "Awas jalan sempit"
    delay(7000);
  }
  */
  else if(deteksiair==LOW){
   myDFPlayer.playMp3Folder(4);// awas ada genangan air di depan
    delay(7000);
  }
  delay(500);

}
```

```
//codingan threshold
#include "SoftwareSerial.h"
#include "DFRobotDFPlayerMini.h"

// Definisi Pin
const int trigKiri = 2;
const int echoKiri = 3;
const int trigKanan = 4;
const int echoKanan = 5;
const int pinIR = 6;
const int pinAir = 7;

// Pin RX, TX untuk MP3 (SoftwareSerial)
SoftwareSerial mySoftwareSerial(10, 11); // RX, TX
DFRobotDFPlayerMini myDFPlayer;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  mySoftwareSerial.begin(9600);

  pinMode(trigKiri, OUTPUT);
  pinMode(echoKiri, INPUT);
  pinMode(trigKanan, OUTPUT);
  pinMode(echoKanan, INPUT);
  pinMode(pinIR, INPUT);
  pinMode(pinAir, INPUT);

  // Inisialisasi MP3 Player
  if (!myDFPlayer.begin(mySoftwareSerial)) {
    Serial.println(F("Gagal terhubung ke DFPlayer!"));
    // Jangan lanjut jika gagal
    while(true);
  }

  myDFPlayer.volume(25); // Set volume (0-30)
  Serial.println(F("Sistem Siap..."));
}
```

```
void loop() {
  // Baca Jarak Ultrasonik
  long jarakKiri = ambilJarak(trigKiri, echoKiri);
  long jarakKanan = ambilJarak(trigKanan, echoKanan);

  // Baca Sensor IR (D1880NK biasanya Output LOW saat ada benda)
  int statusIR = digitalRead(pinIR);

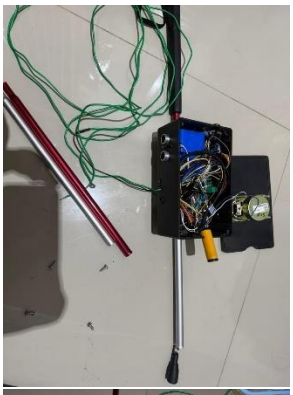
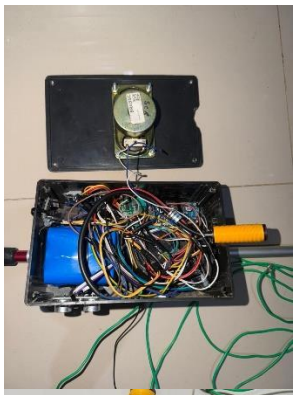
  // Baca Sensor Air (Biasanya LOW jika kena air, tergantung modul)
  int statusAir = digitalRead(pinAir);

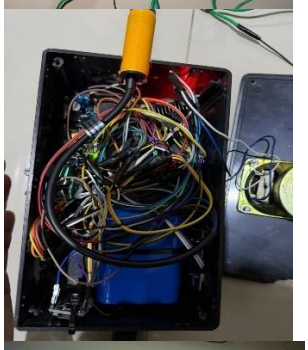
  // Logika Notifikasi Suara
  if (statusAir == LOW) { // Deteksi Genangan Air
    Serial.println("Awas Air!");
    myDFPlayer.playFolder(4,1); // File 0001.mp3: "Awas ada air"
    delay(2000);
  }
  else if (statusIR == LOW) { // Deteksi rintangan depan (IR)
    Serial.println("Rintangan di Depan!");
    myDFPlayer.playFolder(3,1); // File 0002.mp3: "Awas rintangan depan"
    delay(1500);
  }
  else if (jarakKiri > 0 && jarakKiri < 50) { // Kiri < 50cm
    Serial.println("Rintangan Kiri!");
    myDFPlayer.playFolder(2,1); // File 0003.mp3: "Rintangan di kiri"
    delay(1500);
  }
  else if (jarakKanan > 0 && jarakKanan < 50) { // Kanan < 50cm
    Serial.println("Rintangan Kanan!");
    myDFPlayer.playFolder(1,1); // File 0004.mp3: "Rintangan di kanan"
    delay(1500);
  }

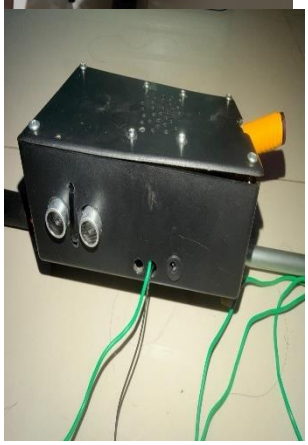
  delay(100); // Jeda stabilitas pembacaan
}

// Fungsi menghitung jarak ultrasonik
long ambilJarak(int trigPin, int echoPin) {
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);

  long durasi = pulseIn(echoPin, HIGH);
  long jarak = durasi * 0.034 / 2;
  return jarak;
}
```

No	dKiri	dKanan	outKiri	outKanan	Waktu Komputasi	IR	Air	Keputusan
1	10.00	200.00	10.46	1.54	107064 us	HIGH	HIGH	KIRI (Prio-2) -> play(2)
2	20.00	200.00	10.46	1.54	107064 us	HIGH	HIGH	KIRI (Prio-2) -> play(2)
3	30.00	200.00	10.23	1.54	105172 us	HIGH	HIGH	KIRI (Prio-2) -> play(2)
4	35.00	200.00	7.40	1.54	114048 us	HIGH	HIGH	KIRI (Prio-2) -> play(2)
5	40.00	200.00	1.75	1.54	108140 us	HIGH	HIGH	DIAM (tidak ada output)
6	50.00	200.00	1.54	1.54	110424 us	HIGH	HIGH	DIAM (tidak ada output)
7	70.00	200.00	1.54	1.54	110424 us	HIGH	HIGH	DIAM (tidak ada output)

No	dKiri	dKanan	outKiri	outKanan	Waktu Komputasi	IR	Air	Keputusan
1	200.00	10.00	1.54	10.46	107060 us	HIGH	HIGH	KANAN (Prio-3) -> play(1)
2	200.00	20.00	1.54	10.46	107064 us	HIGH	HIGH	KANAN (Prio-3) -> play(1)
3	200.00	30.00	1.54	10.23	105176 us	HIGH	HIGH	KANAN (Prio-3) -> play(1)
4	200.00	35.00	1.54	7.40	114044 us	HIGH	HIGH	KANAN (Prio-3) -> play(1)
5	200.00	40.00	1.54	1.75	108140 us	HIGH	HIGH	DIAM (tidak ada output)
6	200.00	50.00	1.54	1.54	110420 us	HIGH	HIGH	DIAM (tidak ada output)
7	200.00	70.00	1.54	1.54	110420 us	HIGH	HIGH	DIAM (tidak ada output)

No	dKiri	dKanan	outKiri	outKanan	Waktu Komputasi	IR	Air	Keputusan
1	200.00	200.00	1.54	1.54	110404 us	LOW	HIGH	DEPAN-IR (Prio-1) -> play(3)
2	200.00	200.00	1.54	1.54	110400 us	HIGH	HIGH	DIAM (tidak ada output)

No	dKiri	dKanan	outKiri	outKanan	Waktu Komputasi	IR	Air	Keputusan
1	200.00	200.00	1.54	1.54	110404 us	HIGH	LOW	AIR (Prio-5) -> play(4)
2	200.00	200.00	1.54	1.54	110400 us	HIGH	HIGH	DIAM (tidak ada output)

No	dKiri	dKanan	outKiri	outKanan	Waktu Komputasi	IR	Air	Keputusan
1	10.00	10.00	10.46	10.46	103716 us	LOW	LOW	DEPAN-IR (Prio-1) -> play(3)
2	10.00	10.00	10.46	10.46	103716 us	HIGH	LOW	KIRI (Prio-2) -> play(2)
3	10.00	10.00	10.46	10.46	103716 us	LOW	HIGH	DEPAN-IR (Prio-1) -> play(3)
4	10.00	10.00	10.46	10.46	103716 us	HIGH	HIGH	KIRI (Prio-2) -> play(2)
5	200.00	10.00	1.54	10.46	107064 us	HIGH	LOW	KANAN (Prio-3) -> play(1)
6	200.00	10.00	1.54	10.46	107064 us	HIGH	HIGH	KANAN (Prio-3) -> play(1)

No	jKiri	jKanan	IR	Air	Waktu Komputasi	Keputusan	Output Audio
1	10	200	HIGH	HIGH	276 us	KIRI (Prio-3)	playFolder(2,1) - Rintangan di kiri
2	20	200	HIGH	HIGH	276 us	KIRI (Prio-3)	playFolder(2,1) - Rintangan di kiri
3	30	200	HIGH	HIGH	272 us	KIRI (Prio-3)	playFolder(2,1) - Rintangan di kiri
4	35	200	HIGH	HIGH	272 us	KIRI (Prio-3)	playFolder(2,1) - Rintangan di kiri
5	40	200	HIGH	HIGH	272 us	KIRI (Prio-3)	playFolder(2,1) - Rintangan di kiri
6	50	200	HIGH	HIGH	120 us	DIAM	Tidak ada output
7	70	200	HIGH	HIGH	124 us	DIAM	Tidak ada output

No	jKiri	jKanan	IR	Air	Waktu Komputasi	Keputusan	Output Audio
1	200	10	HIGH	HIGH	276 us	KANAN (Prio-4)	playFolder(1,1) - Rintangan di kanan
2	200	20	HIGH	HIGH	276 us	KANAN (Prio-4)	playFolder(1,1) - Rintangan di kanan
3	200	30	HIGH	HIGH	272 us	KANAN (Prio-4)	playFolder(1,1) - Rintangan di kanan
4	200	35	HIGH	HIGH	272 us	KANAN (Prio-4)	playFolder(1,1) - Rintangan di kanan
5	200	40	HIGH	HIGH	276 us	KANAN (Prio-4)	playFolder(1,1) - Rintangan di kanan
6	200	50	HIGH	HIGH	120 us	DIAM	Tidak ada output
7	200	70	HIGH	HIGH	120 us	DIAM	Tidak ada output

```
=====================================================================
No | jKiri | jKanan | IR | Air | Waktu Komputasi | Keputusan       | Output Audio
=====================================================================
1 | 200 | 200 | LOW  | HIGH | 272 us | DEPAN-IR (Prio-2) | playFolder(3,1) - Awas rintangan depan
2 | 200 | 200 | HIGH | HIGH | 120 us | DIAM | Tidak ada output
```

```
=====================================================================
No | jKiri | jKanan | IR | Air | Waktu Komputasi | Keputusan       | Output Audio
=====================================================================
1 | 200 | 200 | HIGH | LOW  | 264 us | AIR (Prio-1) | playFolder(4,1) - Awas ada air
2 | 200 | 200 | HIGH | HIGH | 120 us | DIAM | Tidak ada output
```

```
=====================================================================
No | jKiri | jKanan | IR | Air | Waktu Komputasi | Keputusan       | Output Audio
=====================================================================
1 | 10 | 10 | LOW  | LOW  | 264 us | AIR (Prio-1) | playFolder(4,1) - Awas ada air
2 | 10 | 10 | HIGH | LOW  | 264 us | AIR (Prio-1) | playFolder(4,1) - Awas ada air
3 | 10 | 10 | LOW  | HIGH | 276 us | DEPAN-IR (Prio-2) | playFolder(3,1) - Awas rintangan depan
4 | 10 | 10 | HIGH | HIGH | 272 us | KIRI (Prio-3) | playFolder(2,1) - Rintangan di kiri
5 | 200 | 10 | HIGH | LOW  | 264 us | AIR (Prio-1) | playFolder(4,1) - Awas ada air
6 | 200 | 10 | HIGH | HIGH | 276 us | KANAN (Prio-4) | playFolder(1,1) - Rintangan di kanan
```

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BAN-PT/Akr.Pt/III/2024
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
umsumedan umsumedan umsumedan umsumedan

KEPUTUSAN DEKAN
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Nomor : 359/KEP/II.3.AU/UMSU-09/F/2026

Tentang :
PENGANGKATAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI
PRODI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, setelah:

Menimbang :
1. Bahwa sehubungan dengan pelaksanaan Tugas Akhir Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara;
2. Bahwa untuk memenuhi maksud tersebut perlu diterbitkan surat keputusan Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Mengingat :
1. Undang-undang Republik Indonesia No. 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi;
2. Peraturan Pemerintah Nomor 4 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi;
3. Pedoman Perguruan Tinggi Muhammadiyah;
4. Statuta Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
5. Keputusan Rektor No. 1001/KEP/II.3-AU/UMSU/D/2025 tanggal 25 Oktober 2025 tentang Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi UMSU Masa Jabatan 2025-2029
6. Keputusan Rektor No. 624/KEP/II.3.AU/UMSU/D/2025 tentang Prodi Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi UMSU Masa Jabatan 2025-2029

MEMUTUSKAN

Menetapkan :

KESATU : Menetapkan nama-nama dalam lampiran surat keputusan ini sebagai Dosen Pembimbing Prodi Teknologi Informasi Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi UMSU.

KEDUA : Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan, dan akan ditinjau serta diperbaiki kembali jika terdapat kekeliruan di kemudian hari.

Ditetapkan di : Medan
Pada tanggal : 14 Sya'ban 1447 H
02 Februari 2026 M

Dekan

Al-Khowarizmi., M.Kom
NIDN : 0127099201

Tembusan:
1. Yth. Wakil Dekan I & III UMSU di Medan,-
2. Ka. Prodi TI dan Sek. Prodi TI,-
3. Pertinggal.

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BAN-PT/Ak-Ppj/PT/III/2024
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
umsumedan umsumedan umsumedan umsumedan

Lampiran Dosen Pembimbing Prodi Teknologi Informasi
Nomor : 359/KEP/II.3.AU/UMSU-09/F/2026
Tanggal : 14 Sya'ban 1447 H /02 Februari 2026 M

PENGANGKATAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI
PRODI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NO	NAMA	NPM	JUDUL	DOSEN
1	Angga Aidulfitri	2209020239	Rancang Bangun Sistem Monitoring Tetesan Infus Real-Time Berbasis Internet of Thing(IoT) Menggunakan Mikrokontroler ESP32 dan Aplikasi Mobile	Mhd. Basri, S.Si. M.Kom
2	Faisal Rabani Sitompul	2209020303	Analisis Sentimen Ulasan Pengguna Aplikasi Gojek Berdasarkan Versi Aplikasi Menggunakan Algoritma Passive Aggressive Classifier dan Linear Support Vector Classification	Dr. Al-Khowarizmi, M.Kom.
3	Gibran Hakim Harahap	2209020057	Perbandingan Metode K-Means Dan Hierarchical Clustering Dalam Analisis Karakteristik Wajah Berdasarkan Bentuk Wajah Dan Tipe Rambut	Fatma Sari Hutagalung, S.Kom., M.Kom
4	Rahmansyah	2209020127	Pengembangan Game Edukasi Pencegahan Child Grooming Berbasis Android Menggunakan Metode Branching Narrative untuk Simulasi Pengambilan Keputusan Anak	Dr. Irvan, M.Pd
5	Adhitya Balfis Suriono	2209020045	Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Algoritma Support Vector Machine (SVM) dan Metode Prototyping	Dr. Firahmi Rizky, M.Kom
6	Muhammad Reza	2209020111	Perancangan Perangkat Navigasi Indoor pada penyandang Deaf-Blind Berbasis IoT dengan Implementasi BLE Beacons menggunakan Algoritma Trilaterasi, Kalman Filter, dan A-Star sebagai Pemandu Haptic.	Martiano, S.Kom., M.Kom.
7	Desi Luvita Sari Ritonga	2209020219	Perbandingan Logika Fuzzy Mamdani dan Thresholding dalam Sistem Peringatan Suara pada Tongkat Pintar Untuk Netra	Mulkan Azhari, S.Kom.,M.Kom.

Dekan

Dr. Al-Khowarizmi., M.Kom
NIDN: 0127099201

PERBANDINGAN LOGIKA FUZZY MAMDANI DAN THRESHOLDING DALAM SISTEM PERINGATAN SUARA PADA TONGKAT PINTAR TUNA NETRA

ORIGINALITY REPORT

28%	26%	6%	6%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	journal.cib.institute Internet Source	19%
2	Rupina Rupina, Mira Mira. "Perancangan dan Implementasi Sistem Monitoring dan Prediksi Ketinggian Air pada Tandon Berbasis Nodemcu Menggunakan Metode Fuzzy Logic Perumahan Bukit Tinggi Residence", RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business, 2026 Publication	<1%
3	repository.ar-raniry.ac.id Internet Source	<1%
4	journal.smartpublisher.id Internet Source	<1%
5	repository.upiyptk.ac.id Internet Source	<1%
6	repository.umsu.ac.id Internet Source	<1%
7	123dok.com Internet Source	<1%
8	eprints.polbeng.ac.id Internet Source	<1%
9	digilib.unila.ac.id Internet Source	<1%
10	Enjelina R. Minaely, Lira Aprina, Febianti Boiratan, Jeane Kaya et al. "Perancangan dan Implementasi Sistem Instrumentasi Pengukuran Tinggi Badan Non-Kontak berbasis Sensor Ultrasonik dan Mikrokontroler Arduino", ALGORITHM: Journal of Computer Science and Computational Intelligence, 2026 Publication	<1%
11	Submitted to Konsorsium Perguruan Tinggi Swasta Indonesia II Student Paper	<1%
12	etheses.uin-malang.ac.id Internet Source	<1%

13	repository.istn.ac.id Internet Source	<1 %
14	repository.teknokrat.ac.id Internet Source	<1 %
15	www.coursehero.com Internet Source	<1 %
16	Nurhalimah Berutu, Sriani. "Deteksi Tingkat Depresi Kerja Pada Guru Sekolah Dasar Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani", JURNAL FASILKOM, 2024 Publication	<1 %
17	Submitted to Politeknik Negeri Bandung Student Paper	<1 %
18	repository.stiewidyagamalumajang.ac.id Internet Source	<1 %
19	repository.upnvj.ac.id Internet Source	<1 %
20	Submitted to Universiti Teknologi Petronas Student Paper	<1 %
21	Submitted to Universitas Mercu Buana Student Paper	<1 %
22	Submitted to Universitas Muhammadiyah Palembang Student Paper	<1 %
23	Submitted to Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Student Paper	<1 %
24	Submitted to FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM Student Paper	<1 %
25	repository.uinjambi.ac.id Internet Source	<1 %
26	www.perumperindo.co.id Internet Source	<1 %
27	Wilma Wijayanti, Kristofel Santa, Sondy C. Kumajas. "Sistem Kontrol dan Monitoring Kelembaban Dan pH Tanah Tanaman Cabai Rawit Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani", Jurnal Minfo Polgan, 2025 Publication	<1 %
28	student.telkomuniversity.ac.id Internet Source	<1 %

29	Submitted to Politeknik Negeri Cilacap Student Paper	<1 %
30	Submitted to STKIP Sumatera Barat Student Paper	<1 %
31	Submitted to Universitas 17 Agustus 1945 Semarang Student Paper	<1 %
32	www.ejournal.sisfokomtek.org Internet Source	<1 %
33	B Nataraj, K R Prabha, R Abinaya, R Divya Rani, V S Christina. "Smart Cane with Object Recognition System", 2024 5th International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC), 2024 Publication	<1 %
34	Submitted to Universitas Putera Batam Student Paper	<1 %
35	elib.pnc.ac.id Internet Source	<1 %
36	eprints.umpo.ac.id Internet Source	<1 %
37	repository.isi-ska.ac.id Internet Source	<1 %
38	Submitted to Konsorsium PTS Batch 5 Student Paper	<1 %
39	Submitted to Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung Student Paper	<1 %
40	Submitted to UNIVERSITAS BUDI LUHUR Student Paper	<1 %
41	publikasi.hawari.id Internet Source	<1 %
42	repository.dinamika.ac.id Internet Source	<1 %
43	Dadang Iskandar Mulyana, Shakila Shila Wati. "Penerapan Alat Bantu Tunanetra Menggunakan Metode Fuzzy Logic Dengan Teknologi IoT Dalam Meningkatkan Kemandirian dan Mobilitas Pengguna", INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science, 2023 Publication	<1 %

44	Eli Safitri, Dhina Puspasari Wijaya, Andri Pramuntadi, Deden Hardan Gutama. "Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Alat Kesehatan pada Poli Gigi Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani (Studi Kasus: Klinik Pratama Wiwit)", Jurnal JTIK (Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi), 2026 Publication	<1 %
45	ejournal.utp.ac.id Internet Source	<1 %
46	ejurnal.methodist.ac.id Internet Source	<1 %
47	jurnalteknodik.kemdikbud.go.id Internet Source	<1 %
48	repository.telkomuniversity.ac.id Internet Source	<1 %
49	Dino Hermansyah. "Penentuan Status Mutu Air Sungai Kapuas Menggunakan Metode Storet dan Logika Fuzzy Mamdani", PRISMA FISIKA, 2022 Publication	<1 %
50	Moch.Aziz Kurniawan, M Alfan Afwan, Sekar Ajeng Nadhira Kirana. "Rancang Bangun Alat Blind Spot Area Pada Kendaraan Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno", Journal of Integrated Innovation Science, 2025 Publication	<1 %
51	Puput Indrayani, Sahat Parulian Sitorus, Rahmadani Pane. "Penerapan Internet Of Things Dalam Pemisahan Telur Ayam Di Pt.Nasha Poultry Indonesia", Jurnal Minfo Polgan, 2025 Publication	<1 %
52	blog.vcc2gnd.com Internet Source	<1 %
53	geograf.id Internet Source	<1 %
54	journal.uny.ac.id Internet Source	<1 %
55	repo.darmajaya.ac.id Internet Source	<1 %
56	repositori.usu.ac.id Internet Source	<1 %
57	repository.its.ac.id Internet Source	<1 %
	repository.untag-sby.ac.id	

58	Internet Source	<1%
59	sinergia.id Internet Source	<1%
60	www.scribd.com Internet Source	<1%
61	garuda.ristekbrin.go.id Internet Source	<1%
62	jfu.fmipa.unand.ac.id Internet Source	<1%
63	jurnal.stmik-dci.ac.id Internet Source	<1%
64	jurnal.ubd.ac.id Internet Source	<1%
65	nbriacademy.n-bri.org Internet Source	<1%
66	nusabot.id Internet Source	<1%
67	repositori.unibos.ac.id Internet Source	<1%
68	repository.ittelkom-pwt.ac.id Internet Source	<1%
69	repository.wima.ac.id Internet Source	<1%
70	www.nabhanzein.web.id Internet Source	<1%
71	Mohammad Rochman Liulin Nuha Author. "RANCANG BANGUN SISTEM KEAMANAN SEPEDA MOTOR DENGAN ENGINE CUT OFF, GPS, DAN KENDALI NFC SMARTPHONE", Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, 2025 Publication	<1%
72	Nur Janna, Yaslinda Lizar. "Implementasi Metode Forward Chaining pada Sistem Pakar untuk Diagnosa Penyakit sebagai Pendukung Keputusan", Indonesian Journal of Multidisciplinary on Social and Technology, 2026 Publication	<1%
73	Veri Kurniawan Kurniawan, Elisabet Yunaeti Anggraeni, Kanti Lestari Lestari. "RANCANG BANGUN TEMPAT SAMPAH OTOMATIS BERBASIS SENSOR	<1%

ULTRASONIK HC-SR04 DI SDN 3 WARINGINSARI TIMUR", Technologia : Jurnal Ilmiah, 2026
Publication

74	Bagas Muttaqi, Nurchim Nurchim, Pipin Widya Ningsih. "Penerapan Logika Fuzzy Mamdani dalam Sistem Penyiraman Cerdas untuk Pertanian", Generation Journal, 2024 Publication	<1 %
75	Robby Maududy, Dede Rizal Nursyamsi. "Pengembangan Real-Time Monitoring dan Data Logging Berbasis Web Pada Proses Robot Painting untuk Meningkatkan Efisiensi Produksi", Informatics and Digital Expert (INDEX), 2024 Publication	<1 %

Exclude quotes	Off	Exclude matches	Off
Exclude bibliography	Off		