

Rancang Bangun Tongkat Untuk Penyandang Tunanetra Menggunakan Sensor Ultrasonik, HMC5883L, Dan Sistem Internet Of Things (IoT)

Moh Hafidz Putra P*, Aji Brahma Nugroho, Fitriana

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Jalan Karimata No.49, Jember

E-mail: hafidzputra287@gmail.com.

Naskah Masuk: 16 Desember 2025; Diterima: 29 September 2026; Terbit: 30 September 2026

ABSTRAK

Abstrak - Penyandang tunanetra menghadapi tantangan mobilitas dan keamanan dalam aktivitas sehari-hari karena keterbatasan indra penglihatan. Untuk mengatasi masalah ini, telah dirancang sebuah prototipe tongkat pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) yang bertujuan untuk meningkatkan kemandirian dan keselamatan pengguna. Penelitian ini berfokus pada perancangan dan implementasi alat bantu navigasi yang mengintegrasikan tiga sensor ultrasonik untuk mendeteksi rintangan di depan, kiri, dan kanan; sensor HMC5883L sebagai kompas digital untuk penunjuk arah mata angin; dan modul GPS Ublox Neo-6m untuk pelacakan lokasi. Seluruh sistem dikendalikan oleh mikrokontroler ESP-32 Dev Module, dengan notifikasi suara yang dikeluarkan melalui DFPlayer Mini dan speaker, serta data lokasi yang dikirimkan secara real-time ke Bot Telegram sebagai fitur pemantauan. Pengujian dilakukan terhadap fungsionalitas setiap komponen dan kinerja sistem secara keseluruhan pada berbagai bentuk lintasan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik mampu mendeteksi objek dengan rata-rata kesalahan pengukuran sebesar 0,32% untuk ultrasonik kiri dan 0% untuk ultrasonik kanan maupun depan, sedangkan sensor HMC5883L menghasilkan pembacaan arah dengan rata-rata kesalahan sebesar 0,1%, dan modul GPS Ublox NEO-6M memiliki rata-rata delay pengiriman data lokasi sebesar 1,3 detik. Berdasarkan pengujian keseluruhan pada berbagai skenario lintasan, sistem mampu mendeteksi rintangan, memberikan informasi arah melalui notifikasi suara, serta mengirimkan informasi lokasi melalui Bot Telegram dengan tingkat keberhasilan sebesar 100%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa prototipe yang dikembangkan berpotensi mendukung mobilitas dan keselamatan penyandang tunanetra.

Kata kunci: GPS, *Internet of Things* (IoT), HMC5883L, Penyandang Tunanetra, Sensor Ultrasonik, Tongkat Pintar

ABSTRACT

Abstract - People with visual impairments face challenges in mobility and safety in their daily activities due to limited vision. To address this issue, a smart cane prototype based on the *Internet of Things* (IoT) was developed to improve user independence and safety. This study focuses on the design and implementation of a navigation aid integrating three ultrasonic sensors to detect obstacles in the front, left, and right directions; an HMC5883L sensor as a digital compass for determining cardinal directions; and a Ublox NEO-6M GPS module for location tracking. The entire system is controlled by an ESP32 Dev Module microcontroller, with voice notifications provided through a DFPlayer Mini and speaker, while location data are transmitted in real time to a Telegram Bot for monitoring purposes. Testing was conducted to evaluate the functionality of each component and the overall system performance under various path conditions. The results showed that the ultrasonic sensors were able to detect objects with average measurement errors of 0.32% for the left ultrasonic sensor and 0% for both the right and front ultrasonic sensors. The HMC5883L sensor provided directional readings with an average error of 0.1%, while the Ublox NEO-6M GPS module had an average location-data transmission delay of 1.3 seconds. Based on overall testing under various path scenarios, the system successfully detected obstacles, provided directional information through voice notifications, and transmitted location information via the Telegram Bot, achieving an overall success rate of 100%. These results indicate that the developed prototype has the potential to support the mobility and safety of people with visual impairments.

Keywords: GPS, HMC5883L, *Internet of Things* (IoT), Ultrasonic Sensor, Visual Impairment, Smart Can.

Copyright © 2026 Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)

1. PENDAHULUAN

Penyandang tunanetra menghadapi berbagai kendala dalam melakukan aktivitas sehari-hari, terutama dalam mobilitas dan navigasi di lingkungan yang memiliki beragam kondisi dan rintangan. Keterbatasan penglihatan menyebabkan penyandang tunanetra mengalami kesulitan dalam memperoleh informasi mengenai keberadaan objek dan kondisi lingkungan secara visual. Kondisi tersebut mendorong pengembangan teknologi yang dapat memberikan

informasi lingkungan secara langsung kepada pengguna untuk mendukung kemandirian dan keamanan dalam melakukan mobilitas. Salah satu teknologi asistif yang terus dikembangkan adalah smart cane, yaitu tongkat yang dilengkapi sensor dan sistem elektronik untuk mendeteksi kondisi lingkungan serta memberikan informasi kepada pengguna.

Tongkat konvensional merupakan salah satu alat bantu yang umum digunakan oleh penyandang tunanetra untuk mendeteksi permukaan dan rintangan melalui kontak fisik. Meskipun sederhana dan mudah digunakan, kemampuan tongkat konvensional dalam memberikan informasi mengenai objek yang berada di luar jangkauan fisik tongkat masih terbatas. Pengembangan *smart cane* atau tongkat pintar memungkinkan deteksi rintangan dilakukan tanpa kontak langsung dengan memanfaatkan sensor elektronik. Şipoş et al. mengembangkan prototipe asisten pintar yang terdiri atas smart cane dan unit pusat dengan berbagai sensor untuk membantu penyandang tunanetra melakukan navigasi di lingkungan indoor dan outdoor. Sistem tersebut juga menggunakan pesan suara sebagai media komunikasi antara perangkat dan pengguna [1].

Sensor ultrasonik merupakan salah satu sensor yang dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan dan mengukur jarak objek berdasarkan waktu tempuh gelombang ultrasonik [2]-[4]. Penggunaan sensor ultrasonik pada *smart cane* memungkinkan rintangan dideteksi tanpa kontak langsung sehingga pengguna dapat memperoleh peringatan sebelum mencapai objek tersebut. Panazan dan Dulf mengembangkan intelligent cane yang menggunakan dua sensor ultrasonik untuk mendeteksi rintangan dan memberikan peringatan kepada pengguna. Penempatan sensor pada tongkat memungkinkan sistem mendeteksi objek pada arah tertentu berdasarkan jarak yang terukur [5]. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa teknologi sensor dapat dikombinasikan dengan sistem navigasi dan pengenalan objek untuk meningkatkan kemampuan smart cane dalam membantu penyandang tunanetra menghindari rintangan [6].

Selain deteksi rintangan, informasi mengenai arah perjalanan merupakan salah satu aspek penting dalam sistem navigasi bagi penyandang tunanetra. Kompas digital dapat digunakan untuk menentukan orientasi berdasarkan medan magnet bumi sehingga informasi mengenai arah mata angin dapat diberikan kepada pengguna. Şipoş et al. menunjukkan bahwa integrasi sensor navigasi, termasuk kompas elektronik dan GPS, dapat digunakan pada sistem asistif untuk membantu pengguna memperoleh informasi mengenai orientasi dan lokasi selama melakukan mobilitas. Dengan demikian, integrasi sensor deteksi rintangan dan sensor penentu arah dapat memberikan informasi navigasi yang lebih lengkap dibandingkan sistem yang hanya berfungsi untuk mendeteksi objek.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan perangkat bantu terhubung dengan jaringan komunikasi sehingga data yang diperoleh dari perangkat dapat dikirimkan kepada pengguna atau pihak pendamping. Salah satu penerapannya adalah pengiriman informasi lokasi melalui jaringan internet untuk mendukung pemantauan pengguna. Puspitasari et al. mengembangkan tongkat pintar berbasis IoT yang mengintegrasikan ESP32, sensor ultrasonik, GPS, dan Telegram Bot. Sistem tersebut dapat mendeteksi objek, memberikan peringatan suara, serta mengirimkan koordinat lokasi melalui Telegram sebagai sarana pemantauan [7]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa integrasi IoT dapat memperluas fungsi tongkat konvensional menjadi perangkat bantu yang tidak hanya memberikan informasi mengenai rintangan, tetapi juga menyediakan informasi lokasi pengguna.

Meskipun berbagai penelitian mengenai *smart cane* telah dilakukan, masih terdapat peluang untuk mengembangkan sistem yang mengintegrasikan deteksi rintangan dari tiga arah, penentuan arah mata angin, pemberian informasi suara, dan pemantauan lokasi secara real-time dalam satu perangkat dengan arsitektur yang relatif sederhana. Penggunaan tiga sensor ultrasonik pada arah depan, kiri, dan kanan memungkinkan sistem memperoleh informasi mengenai rintangan dari beberapa arah secara bersamaan. Selain itu, integrasi sensor HMC5883L sebagai kompas digital dapat memberikan informasi orientasi kepada pengguna, sedangkan GPS Ublox NEO-6M dapat digunakan untuk memperoleh informasi lokasi. Integrasi fungsi tersebut dengan IoT memungkinkan informasi lokasi dikirimkan kepada pihak pendamping melalui jaringan internet.

Berdasarkan permasalahan dan perkembangan penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun tongkat untuk penyandang tunanetra menggunakan sensor ultrasonik, HMC5883L, dan sistem *Internet of Things* (IoT). Sistem yang dikembangkan menggunakan tiga sensor ultrasonik untuk mendeteksi rintangan pada arah depan, kiri, dan kanan; sensor HMC5883L untuk menentukan arah mata angin; serta modul GPS Ublox NEO-6M untuk memperoleh informasi lokasi pengguna. Seluruh sistem dikendalikan menggunakan ESP32 Dev Module. Informasi mengenai rintangan dan arah disampaikan melalui notifikasi suara menggunakan DFPlayer Mini dan speaker, sedangkan informasi lokasi dikirimkan melalui Telegram Bot sebagai fitur pemantauan. Kinerja sistem dievaluasi melalui pengujian setiap komponen dan pengujian keseluruhan pada berbagai kondisi lintasan untuk mengetahui akurasi sensor, waktu tunda komunikasi, serta tingkat keberhasilan sistem dalam mendeteksi rintangan, memberikan informasi arah, dan mengirimkan informasi lokasi.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian Arifin dan Budihartono (2019) mengembangkan sistem pelacakan lokasi berbasis GPS yang diintegrasikan pada tongkat tunanetra. Penelitian tersebut menggunakan metode *System Development Life Cycle* (SDLC) dengan fokus pada pengembangan tongkat pintar yang dilengkapi sistem pemantauan lokasi melalui website. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe yang dikembangkan dapat digunakan untuk melakukan pelacakan lokasi pengguna. Namun, penggunaan modul GPS dengan sensitivitas yang lebih tinggi masih diperlukan agar sistem dapat bekerja secara optimal di dalam ruangan maupun pada lokasi dengan kondisi sinyal GPS yang terhalang [8].

Penelitian selanjutnya mengembangkan tongkat bantu bagi penyandang tunanetra dengan

memanfaatkan sensor ultrasonik untuk mendeteksi keberadaan objek atau halangan di sekitar pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi objek pada rentang jarak 20–60 cm. Penelitian tersebut juga merekomendasikan pengembangan sistem keluaran suara dengan mengganti bunyi buzzer menggunakan rekaman suara manusia agar informasi mengenai keberadaan halangan dapat disampaikan dengan lebih jelas kepada pengguna [9].

Penelitian lain mengembangkan tongkat tunanetra yang mengintegrasikan sensor ultrasonik dan GPS berbasis mikrokontroler. Sistem yang dikembangkan mampu mendeteksi rintangan pada jarak hingga 50 cm serta melakukan pelacakan lokasi pengguna melalui aplikasi Borland Delphi 7. Penelitian tersebut mengusulkan pengembangan lebih lanjut berupa integrasi SMS gateway dengan aplikasi Delphi untuk mempermudah penyampaian informasi lokasi pengguna dan visualisasi lokasi melalui Google Maps [10].

Penelitian berbasis kamera juga telah dilakukan dengan menerapkan metode Single Shot Multibox Detector (SSD) pada Raspberry Pi untuk mendeteksi dan mengidentifikasi objek di sekitar pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi manusia pada jarak 2–5 m dan objek pada jarak 50 cm–2 m, dengan kinerja yang lebih baik pada kondisi pencahayaan yang terang. Penelitian tersebut merekomendasikan penggunaan kamera dengan resolusi yang lebih tinggi, algoritma yang lebih canggih, serta pengujian pada kondisi lingkungan yang lebih beragam untuk meningkatkan kemampuan deteksi sistem [11].

Penelitian lainnya mengembangkan alat bantu tunanetra berbasis mikrokontroler ATmega2560 yang tidak hanya mendeteksi rintangan, tetapi juga mendeteksi keberadaan genangan air. Sistem memberikan peringatan kepada pengguna melalui getaran dan suara ketika mendeteksi rintangan atau genangan air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat yang dikembangkan dapat memberikan informasi mengenai kondisi lingkungan di sekitar pengguna sehingga dapat mendukung mobilitas dan keselamatan penyandang tunanetra [12].

Berdasarkan penelitian terdahulu, pengembangan tongkat pintar bagi penyandang tunanetra telah memanfaatkan berbagai teknologi, seperti sensor ultrasonik, GPS, kamera, dan mikrokontroler. Namun, penelitian-penelitian tersebut umumnya masih berfokus pada satu atau beberapa fungsi tertentu, seperti deteksi rintangan, pelacakan lokasi, atau identifikasi objek. Integrasi deteksi rintangan dari beberapa arah, informasi arah mata angin, pelacakan lokasi, dan penyampaian informasi secara suara serta pemantauan lokasi secara real-time masih perlu dikembangkan lebih lanjut. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan tongkat pintar dengan mengintegrasikan tiga sensor ultrasonik untuk mendeteksi objek dari arah depan, kiri, dan kanan, sensor HMC5883L untuk menentukan arah mata angin, serta modul GPS Ublox NEO-6M untuk pelacakan lokasi. Sistem dikendalikan menggunakan ESP32 dan dilengkapi keluaran suara melalui DFPlayer Mini serta pemantauan lokasi secara real-time menggunakan Telegram Bot.

2.2. Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik bekerja dengan memancarkan gelombang suara berfrekuensi sekitar 40 kHz dan mengukur waktu pantulan untuk menentukan jarak objek. Tipe HC-SR04 dipilih karena mampu mengukur jarak 0–4 m dengan akurasi tinggi serta mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler [13].

2.3. Modul GPS Ublox Neo 6m

Modul GPS Ublox NEO-6M berfungsi menerima sinyal satelit untuk menentukan koordinat lokasi secara real-time. Modul ini diintegrasikan dengan ESP32 untuk mengirimkan titik koordinat ke Bot Telegram sebagai sistem pemantauan lokasi. Kinerja modul optimal di area terbuka dengan akuisisi sinyal cepat dan akurat, namun menurun di area tertutup akibat keterbatasan penerimaan sinyal [14].

2.4. Sensor HMC5883L

Sensor HMC5883L adalah magnetometer digital yang berfungsi sebagai kompas elektronik dengan mendeteksi medan magnet bumi untuk menentukan arah. Sensor ini membaca vektor medan magnet pada tiga sumbu (X, Y, Z) sehingga dapat menentukan arah utara, timur, selatan, dan barat. Dirancang oleh Honeywell, HMC5883L bekerja pada tegangan 3–6 volt dan menggunakan komunikasi I2C, sehingga mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32. Dengan resolusi 12-bit dan rentang deteksi –8 hingga +8 Gauss, sensor ini cukup akurat untuk sistem navigasi sederhana, seperti robot atau perangkat bantu arah [15].

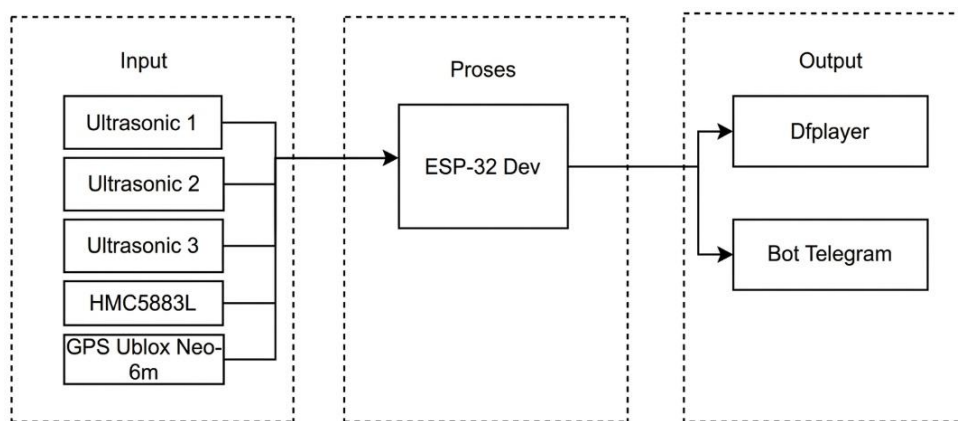
3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah terkait mobilitas dan keamanan penyandang tunanetra. Tujuannya adalah merancang tongkat navigasi berbasis Internet of Things (IoT) untuk meningkatkan kemandirian pengguna. Metode penelitian meliputi studi literatur, perancangan sistem

perangkat keras dan lunak menggunakan Arduino IDE, serta pengembangan prototipe yang dilengkapi sensor ultrasonik, GPS, dan kompas digital HMC5883L. Fitur IoT memungkinkan pengiriman lokasi secara real-time melalui aplikasi Telegram. Setelah tahap perakitan, dilakukan pengujian untuk memastikan fungsi sensor, akurasi data, dan kestabilan koneksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat ini efektif membantu mobilitas dan keamanan tunanetra serta berpotensi dikembangkan lebih lanjut.

3.1 Diagram Blok

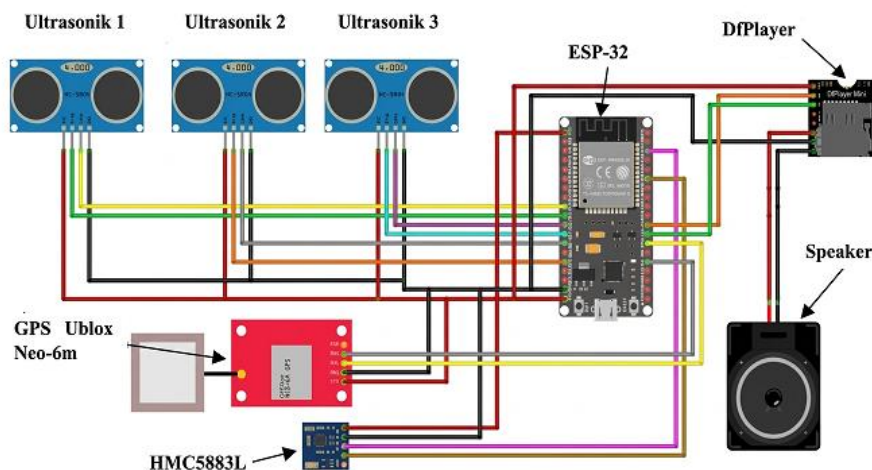
Diagram blok sistem ini (Gambar 1) terdiri dari tiga bagian utama, yaitu input, proses, dan output. Pada bagian input, data dikumpulkan dari sensor ultrasonik untuk mendeteksi jarak hambatan, sensor HMC5883L untuk menentukan arah mata angin, serta GPS untuk mengetahui koordinat lokasi pengguna. Data tersebut kemudian diolah oleh mikrokontroler ESP-32 DEV MODULE pada bagian proses. Mikrokontroler menganalisis jarak objek, mengidentifikasi arah, dan mengirimkan data lokasi ke keluarga melalui Telegram Bot secara real-time menggunakan koneksi Wi-Fi internal. Bagian output memberikan notifikasi suara melalui modul DFPlayer Mini dan speaker untuk memperingatkan pengguna tentang hambatan atau perubahan arah. Selain itu, fitur IoT pada alat ini memungkinkan pelacakan lokasi pengguna secara langsung, sehingga dapat meningkatkan keamanan dan memberikan ketenangan bagi keluarga penyandang tunanetra.



Gambar 1. Diagram Blok

3.2 Diagram Skematik Alat

Berikut ini adalah rancangan skema alat pada penelitian ini:



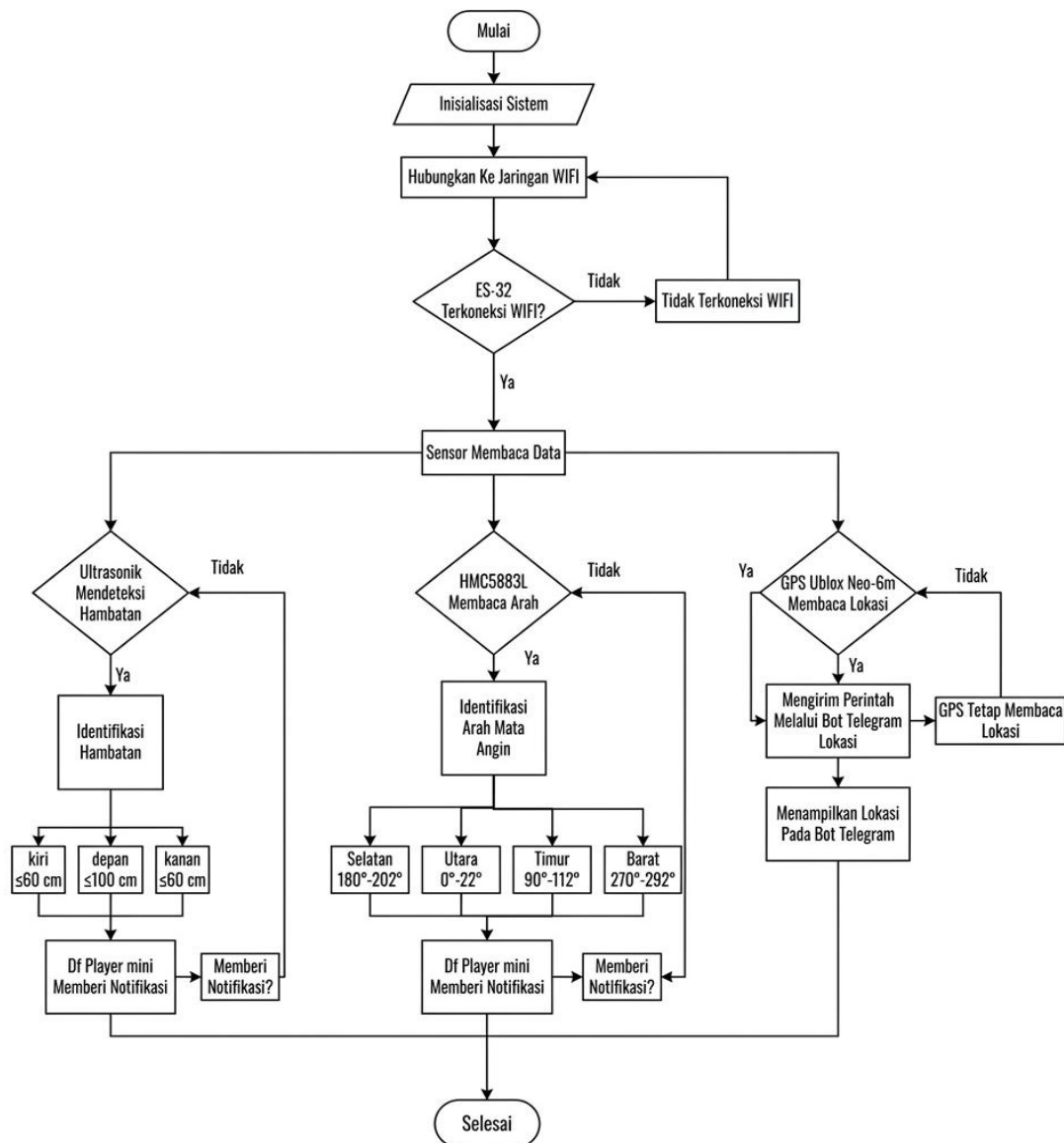
Gambar 2. Skematik Alat

Gambar 2 menunjukkan skematik sistem alat dengan menggunakan beberapa sensor utama yang terhubung ke mikrokontroler ESP-32 DEV MODULE. Sensor ultrasonik HC-SR04 berfungsi mendeteksi jarak hambatan di sekitar pengguna melalui tiga unit sensor yang ditempatkan di posisi berbeda untuk meningkatkan akurasi deteksi. Sensor HMC5883L digunakan sebagai kompas digital untuk menentukan arah mata angin. Modul GPS Ublox Neo-6m berfungsi menentukan koordinat lokasi pengguna secara real-time, yang kemudian dikirim ke keluarga melalui koneksi IoT. Selain

itu, modul DFPlayer Mini dan speaker digunakan untuk menghasilkan notifikasi suara yang memberi peringatan kepada pengguna terkait hambatan atau arah perjalanan. Kombinasi seluruh sensor ini memungkinkan alat bekerja secara terpadu dalam membantu mobilitas dan keamanan penyandang tunanetra.

3.3 Flowchart Sistem

Flowchart sistem pada Gambar 3 menampilkan urutan proses yang berlangsung sejak alat dinyalakan hingga memberikan informasi kepada pengguna.



Gambar 3. Flowchart Sistem

Ketika sumber daya dihubungkan, ESP-32 DEV MODULE melakukan inisialisasi seluruh komponen, termasuk sensor ultrasonik, sensor HMC5883L, modul GPS Ublox Neo-6m, serta modul DFPlayer Mini. Setelah itu, alat mulai membaca data lingkungan. Sensor ultrasonik mendeteksi adanya hambatan di depan maupun samping pengguna, sensor HMC5883L menentukan arah mata angin, dan modul GPS memperoleh koordinat lokasi. Semua data yang diterima kemudian diproses oleh ESP-32 untuk menentukan tindakan yang sesuai. Jika terdapat hambatan dalam jarak tertentu atau terjadi perubahan arah, sistem akan memberikan notifikasi berupa suara melalui DFPlayer Mini dan speaker. Selain itu, ketika diperintahkan melalui Telegram, ESP-32 mengirimkan lokasi pengguna secara real-time. Proses pembacaan dan pemantauan ini berlangsung berulang hingga alat dimatikan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Perancangan Alat

Gambar 4 berikut ini merupakan hasil perancangan alat pada penelitian ini. Alat ini terdiri dari ESP-32 Dev Module, tiga sensor ultrasonik HC-SR04, dan sensor kompas HMC5883L.

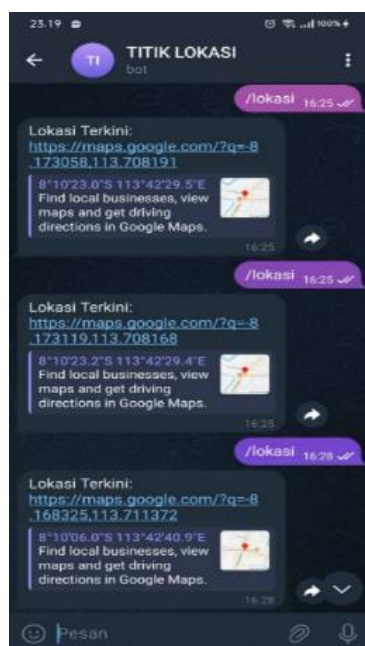


Gambar 4. Hasil perancangan Alat

ESP-32 Dev Module berperan sebagai pusat pemrosesan untuk mengintegrasikan seluruh komponen input dan output. Tiga sensor ultrasonik HC-SR04 dipasang pada sisi kanan, depan, dan kiri untuk mendeteksi rintangan, dengan jarak respon ≤ 60 cm untuk sisi kiri dan kanan serta ≤ 100 cm untuk bagian depan. Sensor kompas HMC5883L digunakan untuk menentukan arah mata angin, sedangkan modul GPS Ublox Neo-6m berfungsi memperoleh lokasi pengguna. Seluruh data sensor diproses oleh ESP-32 dan diteruskan sebagai peringatan suara melalui DFPlayer Mini dan speaker. Selain itu, fitur IoT memungkinkan lokasi pengguna dikirimkan ke Bot Telegram untuk pemantauan jarak jauh.

4.2. Hasil Perancangan Software

Gambar 5 merupakan hasil perancangan *software* pada penelitian ini:



Gambar 5. Hasil Perancangan *Software*

Pada sistem ini, Bot Telegram berfungsi sebagai media komunikasi antara alat dan pihak pemantau. Cara kerjanya dimulai ketika pengguna atau keluarga mengirimkan perintah tertentu, seperti “/lokasi”, ke bot yang telah terintegrasi dengan ESP-32. Perintah tersebut diterima oleh server

Telegram, lalu diteruskan ke ESP-32 melalui koneksi internet. Setelah menerima perintah, ESP-32 mengambil data koordinat terkini dari modul GPS Ublox Neo-6m, kemudian mengolahnya menjadi format tautan lokasi yang dapat dibuka melalui Google Maps. Informasi lokasi tersebut dikirim kembali ke Bot Telegram dan langsung ditampilkan kepada pengguna dalam bentuk pesan.

4.3. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian sensor ultrasonik dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi dan konsistensi sensor dalam mendeteksi jarak terhadap suatu objek di depannya. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa sensor mampu memberikan pembacaan jarak yang tepat dan dapat diandalkan sebagai sistem navigasi bagi pengguna tunanetra. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

Tabel 1. Pengujian Sensor Ultrasonik Kiri

Pengujian ke	Meteran(cm)	Ultrasonik Kiri (cm)	Selisih (cm)	Error (%)
1	60	60	0	0
2	60	60	0	0
3	60	60	0	0
4	60	59	1	1,6
5	60	60	0	0
Rata-rata				0,32

Tabel 1. Pengujian Sensor Ultrasonik Depan

Pengujian ke	Meteran (cm)	Ultrasonik Depan (cm)	Selisih (cm)	Error (%)
1	100	100	0	0
2	100	100	0	0
3	100	100	0	0
4	100	100	0	0
5	100	100	0	0
Rata-rata				0

Tabel 2. Pengujian Sensor Ultrasonik Kanan

Pengujian ke	Meteran (cm)	Ultrasonik Kanan (cm)	Selisih (cm)	Error (%)
1	60	60	0	0
2	60	60	0	0
3	60	60	0	0
4	60	60	0	0
5	60	60	0	0
Rata-rata				0

Berdasarkan Tabel 1, pengujian sensor ultrasonik kiri dilakukan pada jarak acuan 60 cm sebanyak lima kali. Pada pengujian pertama, kedua, ketiga, dan kelima, sensor menghasilkan pembacaan sebesar 60 cm sehingga tidak terdapat selisih antara hasil pengukuran sensor dan meteran. Pada pengujian keempat, sensor menghasilkan pembacaan sebesar 59 cm dengan selisih 1 cm terhadap jarak sebenarnya 60 cm. Nilai error pada pengujian tersebut sebesar 1,6%. Rata-rata error sensor ultrasonik kiri adalah 0,32%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hasil pembacaan sensor sangat mendekati jarak sebenarnya. Dengan demikian, sensor ultrasonik kiri memiliki tingkat akurasi pengukuran yang baik pada jarak pengujian 60 cm.

Berdasarkan Tabel 2, sensor ultrasonik depan diuji pada jarak 100 cm sebanyak lima kali. Seluruh hasil pembacaan sensor menunjukkan nilai 100 cm, sama dengan hasil pengukuran menggunakan meteran. Oleh karena itu, tidak terdapat selisih antara jarak aktual dan jarak yang terukur oleh sensor pada seluruh pengujian. Nilai error pada kelima pengujian adalah 0%, sehingga diperoleh rata-rata error sebesar 0%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi pengujian yang dilakukan, sensor ultrasonik depan mampu mendeteksi jarak 100 cm secara tepat sesuai dengan jarak acuan.

Berdasarkan Tabel 3, sensor ultrasonik kanan diuji sebanyak lima kali pada jarak 60 cm. Seluruh hasil pengukuran sensor menunjukkan nilai 60 cm, sesuai dengan hasil pengukuran menggunakan

meteran. Selisih antara hasil pengukuran sensor dan jarak sebenarnya adalah 0 cm pada seluruh pengujian. Dengan demikian, nilai error pada setiap pengujian adalah 0%, dan rata-rata error sensor ultrasonik kanan juga sebesar 0%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor ultrasonik kanan memberikan pembacaan yang konsisten dan sesuai dengan jarak acuan pada kondisi pengujian tersebut.

4.4. Pengujian Sensor HMC5883L

Pengujian sensor kompas digital HMC5883L bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi dan konsistensi sensor dalam menentukan arah mata angin. Untuk memastikan keakuratan data, pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan sudut dari sensor HMC5883L terhadap alat referensi, yaitu kompas analog manual. Pengujian ini dilakukan dengan mengarahkan sensor ke empat mata angin utama (Utara, Timur, Selatan, Barat) dan mencatat perbandingan hasilnya.

Tabel 4. Pengujian Sensor HMC5883L

Arah	Pengujian ke-	Sensor HMC (°)	Kompas Analog (°)	Selisih (°)	Error (%)
Selatan	1	180	180	0	0
	2	201	202	1	0,4
Utara	1	0	0	0	0
	2	22	22	0	0
Timur	1	90	90	0	0
	2	45	45	0	0
Barat	1	271	270	1	0,3
	2	337	337	0	0
Rata-rata					0,1

Berdasarkan hasil pengujian, sensor HMC5883L menunjukkan hasil yang sesuai dengan kompas analog pada arah selatan, utara, timur, dan barat. Selisih pengukuran terbesar adalah 1°, dengan error terbesar 0,4% pada arah selatan, sedangkan rata-rata error seluruh pengujian sebesar 0,1%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor HMC5883L memiliki tingkat ketelitian yang baik dalam mendeteksi arah dan layak digunakan sebagai pendeteksi orientasi pada tongkat tunanetra. Namun, penempatan sensor perlu diperhatikan karena pembacaan magnetometer dapat dipengaruhi oleh medan magnet dari komponen elektronik maupun lingkungan sekitar.

4.5. Pengujian Modul Modul GPS Ublox Neo-6m

Pengujian modul GPS Ublox Neo-6m dilakukan dengan tujuan utama untuk mengetahui tingkat akurasi dan keandalan modul dalam menentukan titik koordinat geografis (latitude dan longitude). Selain itu, pengujian ini juga bertujuan untuk mengukur waktu tunda (delay) yang dibutuhkan untuk mengirimkan data koordinat tersebut ke bot Telegram. Proses pengujian dilaksanakan dengan cara membandingkan data koordinat yang diterima dari modul GPS Ublox Neo-6m terhadap data koordinat dari aplikasi peta pada smartphone (seperti Google Maps) yang digunakan sebagai acuan referensi pada lokasi dan waktu yang sama.

Tabel 5. Pengujian Longitude Dan Latitude GPS Ublox Neo-6m

Lokasi	Kondisi	Maps		Alat		Selisih		Error (%)		Delay (Detik)
		Lon.	Lat.	Lon.	Lat.	Lon.	Lat.	Lon.	Lat.	
Lokasi 1	Siang 1	113,708	-8,1731	113,708	-8,1730	0	0,0001	0	0,001	1
	Siang 2	113,708	-8,1731	113,708	-8,1731	0	0	0	0	1
	Malam 1	113,708	-8,1731	113,708	-8,1731	0	0	0	0	2
	Malam 2	113,708	-8,1731	113,708	-8,1731	0	0	0	0	1
	Rata-rata							0	0,00025	1,25
Lokasi 2	Siang 1	113,711	-8,1683	113,711	-8,1683	0	0	0	0	2
	Siang 2	113,711	-8,1683	113,711	-8,1682	0	0,0001	0	0,001	3
	Malam 1	113,711	-8,1683	113,711	-8,1683	0	0	0	0	1
	Malam 2	113,711	-8,1683	113,711	-8,1683	0	0	0	0	1
	Rata-rata							0	0,001	1,75
Lokasi 3	Siang 1	113,712	-8,1687	113,712	-8,1690	0	0,0003	0	0,003	1
	Siang 2	113,712	-8,1687	113,712	-8,1690	0	0,0003	0	0,003	1
	Malam 1	113,712	-8,1687	113,712	-8,1687	0	0	0	0	1

Lokasi	Kondisi	Maps		Alat		Selisih		Error (%)		Delay (Detik)
		Lon.	Lat.	Lon.	Lat.	Lon.	Lat.	Lon.	Lat.	
Lokasi 4	Malam 2	113,712	-8,1683	113,712	-8,1687	0	0,0004	0	0,004	1
	Rata-rata							0	0,002	1
	Siang 1	113,721	-8,1705	113,721	-8,1705	0	0	0	0	1
	Siang 2	113,721	-8,1705	113,721	-8,1705	0	0	0	0	1
	Malam 1	113,721	-8,1705	113,721	-8,1705	0	0	0	0	2
	Malam 2	113,721	-8,1705	113,721	-8,1705	0	0	0	0	1
Lokasi 5	Rata-rata							0	0	1,25
	Siang 1	113,724	-8,1676	113,724	-8,1679	0	0,0003	0	0,003	1
	Siang 2	113,724	-8,1676	113,724	-8,1678	0	0,0002	0	0,002	1
	Malam 1	113,724	-8,1676	113,724	-8,1677	0	0,0001	0	0,001	1
	Malam 2	113,724	-8,1676	113,724	-8,1677	0	0,0001	0	0,001	1
	Rata-rata							0	0,001	1

Berdasarkan hasil pengujian GPS pada lima lokasi dengan kondisi siang dan malam, koordinat yang ditampilkan alat dibandingkan dengan koordinat pada Google Maps. Secara keseluruhan, nilai longitude memiliki rata-rata selisih 0° pada seluruh lokasi, sedangkan rata-rata selisih latitude berkisar 0–0,002° dengan error maksimum 0,004%. Rata-rata error pada masing-masing lokasi berturut-turut sebesar 0,00025%, 0,001%, 0,002%, 0%, dan 0,001%, sedangkan rata-rata delay masing-masing lokasi adalah 1,25 detik, 1,75 detik, 1 detik, 1,25 detik, dan 1 detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem GPS mampu memberikan koordinat yang sangat mendekati posisi pada Google Maps dengan error yang sangat kecil dan delay rata-rata 1,25 detik, baik pada kondisi siang maupun malam.

4.6. Pengujian Pengiriman Bot Telegram

Pengujian bot Telegram dilakukan dengan tujuan utama untuk memvalidasi fungsinya sebagai media pengiriman data lokasi GPS dan mengevaluasi waktu respons (delay) sistem. Pengujian ini berfokus untuk mengetahui seberapa cepat alat dapat mengirimkan data lokasi ke pihak keluarga atau kerabat melalui bot Telegram setelah pemantau mengirimkan perintah spesifik, yaitu “/lokasi”. Proses pengujian dilakukan dengan mencatat selang waktu yang dibutuhkan dari perintah terkirim hingga pesan lokasi diterima pada aplikasi Telegram untuk mengukur keandalan dan kecepatan sistem. Pengukuran dalam format koordinat latitude dan longitude. Pesan dikirim dalam bentuk teks yang langsung dapat dibaca oleh pengguna dan terekam di riwayat obrolan Telegram. Berikut pengujian delay internet of things dari pengambilan data sampai data terkirim ke telegram.

Tabel 7. Pengujian Pengiriman Bot Telegram

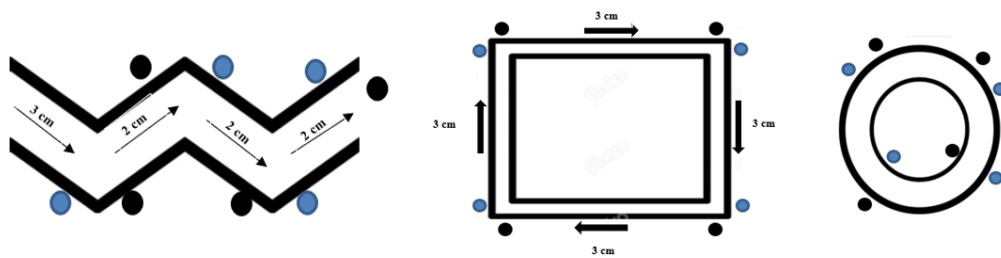
No.	Waktu Yang Diambil	Waktu Yang Diterima	Delay Terkirim (Detik)	Status
1	16:25:13	16:25:14	1	Berhasil
2	16:25:47	16:25:48	1	Berhasil
3	16:28:22	16:28:24	2	Berhasil
4	16:28:32	16:28:35	3	Berhasil
5	16:29:25	16:29:26	1	Berhasil
6	16:29:56	16:29:57	1	Berhasil
7	16:32:11	16:32:12	1	Berhasil
8	16:32:18	16:32:19	1	Berhasil
9	16:34:32	16:34:34	1	Berhasil
10	16:34:42	16:34:43	1	Berhasil
Rata-rata			1,3	

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 7, sistem pengiriman notifikasi dari alat navigasi ke bot Telegram sebagai platform IoT menunjukkan kinerja yang sangat andal dan responsif. Dari total 10 percobaan yang dilakukan, seluruh pesan berhasil terkirim dengan status "Berhasil", menandakan tingkat keandalan sistem yang cukup baik. Waktu tunda (delay) yang dibutuhkan untuk pengiriman pesan dari alat hingga diterima oleh pengguna juga tercatat sangat singkat, yaitu berkisar antara 1 hingga 3 detik. Dengan waktu tunda rata-rata sebesar 1,3 detik, dapat disimpulkan bahwa sistem IoT ini sangat efektif dan dapat diandalkan untuk keperluan pemantauan lokasi pengguna secara real-time.

4.7. Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

Pada pengujian ini dilakukan pengambilan data sistem secara menyeluruh untuk menguji performa sistem pada kondisi penggunaan nyata. Pengujian ini difokuskan pada tiga skenario

lintasan berbeda di lingkungan terbuka (outdoor) untuk mengevaluasi respons alat terhadap berbagai manuver. Lintasan pertama adalah lintasan zigzag sepanjang 9 meter dengan lebar 1,2 meter yang lebarnya telah disesuaikan dengan standar minimal untuk lintasan pejalan kaki satu arah, dilengkapi delapan rintangan untuk menguji kemampuan navigasi pada perubahan arah yang tajam (Gambar 6a). Lintasan kedua berbentuk persegi dengan total keliling 12 meter dan lebar 1,2 meter, yang dilengkapi delapan rintangan untuk mengevaluasi respons pada tikungan tajam 90 derajat (Gambar 6b). Lintasan ketiga adalah lintasan lingkaran dengan keliling 10 meter dan lebar 1,2 meter, yang dilengkapi delapan rintangan untuk menguji navigasi pada jalur melengkung yang kontinu, serta menguji alat didalam ruangan (indoor) dengan obstekel berupa cermin (Gambar 6c). Selain itu, pengujian ini juga bertujuan untuk menganalisis pengaruh variabel jarak terhadap waktu respons sensor ultrasonik dan menguji apakah jenis material rintangan (kayu atau logam) mempengaruhi akurasi deteksi sensor. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 9, Tabel 10, dan Tabel 11.



Gambar 6. Lintasan pengujian (a) Lintasan Zig-Zag, (b) Lintasan Persegi, (c) Lintasan Lingkaran

Tabel 9. Hasil Pengujian Data Lintasan Zigzag

Jenis Obstekel (Logam/Kayu)	Jarak Deteksi Obstekel (cm)	Delay Respon (detik)	Notifikasi Suara	Keterangan
Kayu	98	1,44	Depan ada halangan	Berhasil
Logam	57	1,22	Kanan ada halangan	Berhasil
Logam	98	1,37	Depan ada halangan	Berhasil
Kayu	57	1,29	Kiri ada halangan	Berhasil
Logam	99	1,44	Depan ada halangan	Berhasil
Kayu	56	1,25	Kanan ada halangan	Berhasil
Kayu	97	1,38	Depan ada halangan	Berhasil
Logam	58	1,28	Kiri ada halangan	Berhasil
Prosentase Keberhasilan				100%

Berdasarkan hasil pengujian deteksi objek menggunakan sensor ultrasonik, sistem diuji terhadap objek berbahan kayu dan logam pada jarak 56–99 cm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh objek berhasil terdeteksi pada arah depan, kanan, maupun kiri dengan delay respons 1,22–1,44 detik. Setiap objek yang terdeteksi menghasilkan notifikasi suara sesuai arah keberadaan halangan, seperti “depan ada halangan”, “kanan ada halangan”, dan “kiri ada halangan”. Dari 8 kali pengujian, seluruh pengujian menghasilkan notifikasi yang berhasil, sehingga diperoleh persentase keberhasilan sebesar 100%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi objek berbahan kayu maupun logam dan memberikan informasi arah halangan secara efektif.

Tabel 10. Hasil Pengujian Data Lintasan persegi

Jenis Obstekel (Logam/Kayu)	Jarak Deteksi Obstekel (cm)	Delay Respon (detik)	Notifikasi Suara	Keterangan
Kayu	97	1,43	Depan ada halangan	Berhasil
Logam	59	1,26	Kiri ada halangan	Berhasil
Logam	98	1,43	Depan ada halangan	Berhasil
Kayu	58	1,28	Kiri ada halangan	Berhasil
Kayu	98	1,44	Depan ada halangan	Berhasil
Logam	57	1,24	Kanan ada halangan	Berhasil
Logam	99	1,44	Depan ada halangan	Berhasil
Kayu	56	1,26	Kiri ada halangan	Berhasil
Prosentase Keberhasilan				100%

Berdasarkan hasil pengujian, sistem diuji terhadap 8 kondisi objek yang terdiri atas bahan kayu dan logam dengan jarak deteksi 56–99 cm. Sensor berhasil mendeteksi objek pada arah depan, kiri, dan kanan dengan delay respons 1,24–1,44 detik. Setiap objek yang terdeteksi menghasilkan notifikasi suara sesuai arah keberadaan halangan, dan seluruh pengujian menunjukkan status berhasil. Dengan demikian, dari 8 kali pengujian diperoleh persentase keberhasilan sebesar 100%, yang menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi berbagai jenis objek dan memberikan notifikasi arah halangan secara konsisten.

Tabel 11. Hasil Pengujian Data Lintasan persegi

Jenis Obstakel (Logam/Kayu)	Jarak Deteksi Obstakel (cm)	Delay Respon (detik)	Notifikasi Suara	Keterangan
Logam	99	1,45	Depan ada halangan	Berhasil
Kayu	56	1,28	Kiri ada halangan	Berhasil
Kayu	98	1,45	Depan ada halangan	Berhasil
Logam	59	1,29	Kiri ada halangan	Berhasil
Kayu	57	1,31	Kanan ada halangan	Berhasil
Logam	98	1,42	depan ada halangan	Berhasil
Kayu	98	1,46	Depan ada halangan	Berhasil
Logam	57	1,28	Kanan ada halangan	Berhasil
Prosentase Keberhasilan				100%

Berdasarkan Tabel 11, pengujian data lintasan persegi dilakukan terhadap 8 kondisi objek yang terdiri atas objek logam dan kayu dengan jarak deteksi 56–99 cm. Sistem mampu mendeteksi objek pada arah depan, kiri, dan kanan dengan delay respons 1,28–1,46 detik. Setiap objek yang terdeteksi menghasilkan notifikasi suara sesuai arah keberadaan halangan dan seluruh pengujian dinyatakan berhasil. Dengan demikian, diperoleh persentase keberhasilan sebesar 100%, yang menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi halangan pada lintasan persegi dan memberikan notifikasi arah secara konsisten.

5. KESIMPULAN

Alat navigasi untuk penyandang tunanetra berhasil dikembangkan dalam bentuk prototipe fungsional yang mengintegrasikan sensor ultrasonik, sensor kompas HMC5883L, mikrokontroler ESP-32, dan modul GPS Ublox Neo-6m untuk pelacakan lokasi berbasis IoT melalui Bot Telegram. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen memiliki kinerja yang sangat baik, dengan sensor ultrasonik mencatat error sangat kecil (0–1,6%), sensor kompas memiliki penyimpangan maksimal 1°, dan modul GPS mampu memberikan koordinat akurat dengan rata-rata delay pengiriman hanya 1,3 detik. Material rintangan terbukti memengaruhi performa deteksi, di mana permukaan logam memberikan pantulan ultrasonik terbaik dibandingkan kayu, baik pada lintasan zigzag, persegi, maupun pengujian indoor dengan objek seperti cermin, dinding, pintu, dan lemari. Selain itu, jarak deteksi yang lebih jauh cenderung meningkatkan waktu respons sensor, sementara kondisi lingkungan seperti siang dan malam tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap akurasi modul GPS. Berdasarkan hasil penelitian, terdapat beberapa saran untuk pengembangan alat navigasi ini agar lebih fungsional dan bermanfaat di masa mendatang. Pengembangan dapat mencakup penambahan fitur deteksi genangan air, integrasi konektivitas alternatif menggunakan modul GSM, serta penambahan output jack headset 3.5 mm untuk meningkatkan fleksibilitas audio. Selain itu, penelitian lanjutan dapat difokuskan pada optimalisasi konsumsi daya perangkat keras atau penambahan indikator level baterai yang lebih informatif, seperti notifikasi suara “baterai lemah”, guna memperpanjang durasi penggunaan alat.

REFERENSI

- [1] E. Şipoş, C. Ciuciu, and L. Ivanciu, “Sensor-Based Prototype of a Smart Assistant for Visually Impaired People—Preliminary Results,” *Sensors*, vol. 22, no. 11, p. 4271, 2022. DOI: 10.3390/s22114271.
- [2] J.-H. Kim, J.-E. Park, and J.-M. Lee, “3-D Space Visualization System Using Ultrasonic Sensors as an Assistive Device for the Blind,” *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, vol. 8, 2020. DOI: 10.1109/JTEHM.2020.2978842.
- [3] C.-E. Panazan and E.-H. Dulf, “Intelligent Cane for Assisting the Visually Impaired,” *Technologies*, vol. 12, no. 6, p. 75, 2024. DOI: 10.3390/technologies12060075.

- [4] C. Mai, H. Chen, L. Zeng, *et al.*, “A Smart Cane Based on 2D LiDAR and RGB-D Camera Sensor—Realizing Navigation and Obstacle Recognition,” *Sensors*, vol. 24, no. 3, p. 870, 2024. DOI: 10.3390/s24030870.
- [5] C.-E. Panazan and E.-H. Dulf, “Intelligent Cane for Assisting the Visually Impaired,” *Technologies*, vol. 12, no. 6, p. 75, 2024. DOI: 10.3390/technologies12060075.
- [6] C. Mai, H. Chen, L. Zeng, Z. Li, G. Liu, Z. Qiao, Y. Qu, L. Li, and L. Li, “A Smart Cane Based on 2D LiDAR and RGB-D Camera Sensor—Realizing Navigation and Obstacle Recognition,” *Sensors*, vol. 24, no. 3, p. 870, 2024. DOI: 10.3390/s24030870.
- [7] R. Puspitasari, A. Diamah, and B. Maruddani, “Design of a Smart Stick Based on the Internet of Things (IoT) for the Blind,” *Jurnal Pendidikan Vokasional Teknik Elektronika (JVOTE)*, vol. 7, no. 2, 2024. DOI: 10.21009/jvote.v7i2.54684.
- [8] A. F. Arifin, E. Budihartono, and A. Basit, “Implementasi GPS tracking pada tongkat tunanetra,” 2019.
- [9] R. Soekarta, D. Yapari, and M. I. Zulkaedi, “Rancang bangun alat bantu tuna netra menggunakan tongkat dengan sensor ultrasonik,” *INSECT (Informatics and Security): Jurnal Teknik Informatika*, vol. 7, no. 1, pp. 1–9, 2021, doi: 10.33506/insect.v7i1.1688.
- [10] H. R. Rosyadi, “Rancang bangun tongkat tunanetra menggunakan sensor ultrasonik dengan GPS berbasis mikrokontroler,” Diploma thesis, Universitas Islam Kalimantan MAB, 2021.
- [11] S. Fuady, Nehru, and G. Anggraeni, “Deteksi objek menggunakan metode *Single Shot Multibox Detector* pada alat bantu tongkat tunanetra berbasis kamera,” *Journal of Electrical Power Control and Automation (JEPICA)*, vol. 3, no. 2, pp. 39–43, 2020, doi: 10.33087/jepca.v3i2.38.
- [12] I. Salamah, Lindawati, and E. A. Munandar, “Rancang bangun alat bantu tunanetra berbasis mikrokontroler ATmega2560,” *Jurnal Syntax Admiration*, vol. 1, no. 4, pp. 363–373, 2020, doi: 10.46799/jsa.v1i4.72.
- [13] A. Zubaidah. (2019). Rancang Bangun Sepatu Tunanetra dengan Sensor Ultrasonik, Sensor Warna, dan Modul GSM/GPRS/GPS A7 AI Thinker Berbasis Arduino. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- [14] Ahmad Angga Putra Pradana. (2023). Implementasi Global Positioning System Pada Perkiraan Jarak Dan Waktu Kedatangan. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, 2(1), 47–58. <https://doi.org/10.51903/juisi.v2i1.532>.
- [15] Fitriyah, Q., Batam, P. N., Nugroho, B. Y., Komunitas, A., & Pacitan, N. (2020). Pengujian Sensor Hmc5883L Untuk Purwarupa Robot Beroda. *Prosiding Seminar Nasional NCIET*, 1(1). <https://doi.org/10.32497/nciet.v1i1.153>.