TONGKAT BERBASIS INTERNET OF THINGS SEBAGAI ALAT BANTU PENYANDANG TUNANETRA

Achmad Nur Azmi[1], Wahyuni Eka Sari[2], Fara Triadi[3]

[1,2,3]*Politeknik Negeri Samarinda*
E-mail : azminur972@gmail.com[1], wahyunisari52@gmail.com[2], fara_triadi@polnes.ac.id[3]

ABSTRAK

Penelitian ini membahas hasil uji coba tongkat berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dirancang untuk mendukung mobilitas penyandang tunanetra. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor ultrasonik untuk mendeteksi hambatan, sensor *water level* untuk mengenali genangan air, *gyroscope* sebagai penentu sudut tongkat, modul GPS untuk pelacakan lokasi, serta buzzer sebagai pemberi peringatan suara. Hasil pengujian menunjukkan sensor ultrasonik mampu membaca hambatan hingga 350 cm dengan akurasi baik, sensor water level dapat membedakan kondisi kering hingga terendam, sedangkan gyroscope mengidentifikasi perubahan orientasi tongkat ketika miring atau jatuh. Modul GPS memberikan informasi lokasi dengan deviasi rata-rata 5–10 meter, meskipun performanya menurun di area tertutup. Respon *buzzer* terhadap sinyal sensor berlangsung cepat, dengan jeda kurang dari satu detik. Dari pembahasan tersebut, dapat disimpulkan bahwa integrasi sensor pada tongkat pintar ini efektif memberikan peringatan dini dan informasi lokasi secara real-time, sehingga meningkatkan keamanan sekaligus mendukung kemandirian tunanetra dalam beraktivitas.

Kata Kunci : *IoT, Tongkat Pintar, ESP32, Sensor Ultrasonik, GPS, Tunanetra*

ABSTRACT

This research discusses the testing of a cane based on the Internet of Things (IoT), designed to support the mobility of visually impaired individuals. The system utilizes an ESP32 microcontroller integrated with an ultrasonic sensor to detect obstacles, a water level sensor to identify puddles, a gyroscope to determine cane orientation, a GPS module for location tracking, and a buzzer as an audio alert. The test results show that the ultrasonic sensor can detect obstacles up to 350 cm with good accuracy, the water level sensor can distinguish between dry and submerged conditions, while the gyroscope identifies orientation changes when the cane tilts or falls. The GPS module provides location information with an average deviation of 5–10 meters, although its performance decreases in enclosed areas. The buzzer responds quickly to sensor signals with a delay of less than one second. From these findings, it can be concluded that the integration of sensors in this smart cane effectively provides early warnings and real-time location information, thereby enhancing safety and supporting the independence of visually impaired users.

Keywords : *IoT, Smart Cane, ESP32, Ultrasonic Sensor, GPS, Visually Impaired*

PENDAHULUAN

Penyandang tunanetra merupakan kelompok disabilitas yang mengalami keterbatasan fungsi penglihatan sehingga menghadapi berbagai hambatan dalam menjalankan aktivitas sehari-hari, terutama ketika melakukan mobilitas secara mandiri. Keterbatasan tersebut menyebabkan penyandang tunanetra kesulitan mengenali kondisi lingkungan, menentukan arah perjalanan, serta mendeteksi berbagai rintangan yang berada di jalur yang akan dilalui. Menurut *World Health Organization* (WHO), tunanetra adalah individu yang memiliki ketajaman penglihatan lebih buruk dari 20/200 pada mata terbaik atau memiliki lapang pandang kurang dari 20 derajat, sehingga memerlukan media alternatif maupun teknologi asistif untuk mendukung aktivitas sehari-hari dan proses pembelajaran (WHO, 2020; Nur'aisah, Halawati, and Destiyanti 2022). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengembangan teknologi asistif memiliki peranan yang sangat penting dalam meningkatkan kualitas hidup, kemandirian, serta keselamatan penyandang tunanetra.

Selama ini, tongkat putih konvensional masih menjadi alat bantu utama yang digunakan oleh penyandang tunanetra. Meskipun memiliki harga yang relatif terjangkau, mudah digunakan, serta tidak memerlukan perawatan yang rumit, tongkat konvensional hanya mampu mendeteksi objek ketika ujung tongkat bersentuhan secara langsung dengan hambatan sehingga ruang deteksinya sangat terbatas (Wijaya et al. 2025). Akibatnya, berbagai rintangan yang berada pada posisi lebih tinggi, seperti dahan pohon, papan reklame, maupun benda yang tidak berada pada permukaan tanah, sering kali tidak dapat dikenali sebelum terjadi kontak langsung. Selain itu, tongkat konvensional juga belum mampu memberikan informasi mengenai lokasi pengguna ataupun kondisi lingkungan sekitar secara *real-time*, sehingga penyandang tunanetra masih memiliki risiko tinggi mengalami kecelakaan maupun tersesat ketika beraktivitas di luar rumah (Ramadhani 2023). Oleh karena itu, diperlukan inovasi berupa pengembangan tongkat pintar berbasis *IoT* yang mampu meningkatkan keamanan sekaligus mendukung mobilitas penyandang tunanetra secara lebih efektif.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* telah membuka peluang yang sangat besar dalam pengembangan berbagai perangkat asistif. Konsep *IoT* memungkinkan berbagai perangkat fisik seperti sensor, aktuator, dan mikrokontroler saling terhubung melalui jaringan internet sehingga mampu mengumpulkan, memproses, serta mengirimkan data secara otomatis tanpa memerlukan intervensi manusia secara langsung (Erwin et al. 2023). Penerapan *IoT* pada tongkat tunanetra tidak hanya berfungsi sebagai alat pendeteksi rintangan, tetapi juga memungkinkan proses pemantauan lokasi pengguna secara *real-time*, pengiriman notifikasi kepada keluarga atau pendamping, hingga pemberian peringatan dini apabila pengguna menghadapi kondisi yang berpotensi membahayakan. Integrasi teknologi ini diharapkan mampu meningkatkan rasa aman, mengurangi ketergantungan penyandang tunanetra terhadap orang lain, sekaligus mendukung terciptanya kehidupan yang lebih mandiri dan inklusif.

Pengembangan tongkat pintar telah menjadi perhatian berbagai peneliti dalam beberapa tahun terakhir. Penelitian yang dilakukan oleh Mufit dan Hambali (2022) berhasil mengembangkan tongkat berbasis ESP32 yang memanfaatkan sensor ultrasonik untuk mendeteksi rintangan di sekitar pengguna. Sistem tersebut mampu memberikan peringatan berupa suara maupun getaran sehingga meningkatkan keselamatan penyandang tunanetra ketika berjalan. Namun demikian, sistem tersebut masih berfokus pada deteksi hambatan dan belum menyediakan fasilitas pemantauan lokasi pengguna secara *real-time* maupun deteksi kondisi lingkungan lainnya seperti genangan air. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan ESP32 sebagai pusat

kendali memiliki potensi yang besar dalam pengembangan perangkat asistif modern karena mendukung konektivitas *Wi-Fi* serta memiliki kemampuan pemrosesan data yang cukup tinggi (Mufit and Hambali 2022).

Penelitian lain yang dilakukan oleh R. Puspitasari (2025) mengembangkan tongkat pintar berbasis *Internet of Things* menggunakan metode *Research and Development* (*R&D*). Sistem tersebut memanfaatkan ESP32, sensor ultrasonik, sensor *water level*, sensor *gyroscope*, serta integrasi aplikasi Telegram untuk mengirimkan lokasi pengguna kepada keluarga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tongkat mampu mendeteksi hambatan di depan pengguna, mengenali genangan air, serta mengirimkan koordinat lokasi dengan waktu respons yang relatif cepat. Meskipun demikian, penelitian tersebut masih memiliki keterbatasan pada aspek penyederhanaan sistem serta belum membahas optimasi performa sensor dalam berbagai kondisi lingkungan (R. Puspitasari 2025).

Haslindah et al. (2024) juga mengembangkan tongkat cerdas berbasis Arduino menggunakan pendekatan *Research and Development*. Penelitian tersebut berhasil menunjukkan bahwa sensor ultrasonik mampu membantu penyandang tunanetra mendeteksi berbagai hambatan ketika berjalan. Akan tetapi, sistem yang dikembangkan belum dilengkapi dengan modul *GPS* sehingga keluarga maupun pendamping belum dapat mengetahui posisi pengguna apabila terjadi keadaan darurat. Keterbatasan tersebut menjadi salah satu alasan penting untuk mengintegrasikan teknologi pelacakan lokasi dalam pengembangan tongkat pintar generasi berikutnya (Haslindah et al. 2024).

Penelitian yang dilakukan oleh Priadinata dan Suprapto (2023) juga mengembangkan tongkat pendeteksi jarak berbasis sensor menggunakan mikrokontroler. Sistem tersebut mampu memberikan informasi mengenai keberadaan objek melalui mekanisme getaran sehingga meningkatkan keamanan pengguna ketika melakukan mobilitas. Namun demikian, sistem tersebut belum memanfaatkan teknologi *IoT* maupun layanan pelacakan lokasi sehingga fungsinya masih terbatas sebagai alat deteksi rintangan (Priadinata and Suprapto 2023). Demikian pula penelitian Syakuro (2021) berhasil mengembangkan tongkat pintar berbasis Telegram yang mampu mengirimkan koordinat lokasi pengguna kepada keluarga. Walaupun telah mendukung komunikasi jarak jauh, penelitian tersebut belum mengombinasikan seluruh fitur keselamatan seperti deteksi genangan air dan sistem pemantauan berbasis *IoT* secara lebih komprehensif (Syakuro 2021).

Beberapa penelitian lainnya juga menunjukkan perkembangan yang serupa. Andriana, Riyanto, and Anardani (2020) mengembangkan tongkat pintar berbasis *Firebase Realtime Database* yang berfokus pada pemantauan lokasi pengguna secara daring. Panacara et al. (2021) mengembangkan tongkat berbasis Arduino yang mampu mendeteksi genangan air, kobaran api, dan berbagai hambatan menggunakan sensor jarak serta memberikan umpan balik audio kepada pengguna. Aulia et al. mengembangkan tongkat cerdas berbasis *Internet of Things* yang memanfaatkan sensor ultrasonik, sensor *water level*, ESP32, dan deteksi koordinat pengguna. Sementara itu, Anggara and Taufiq (2021) mengembangkan tongkat berbasis *IoT* dengan fitur tombol darurat, peringatan suara, serta roda pendeteksi rintangan. Berbagai penelitian tersebut membuktikan bahwa perkembangan teknologi asistif telah mengarah pada integrasi sensor, mikrokontroler, komunikasi internet, dan sistem navigasi untuk meningkatkan keamanan penyandang tunanetra.

Meskipun demikian, hasil kajian pustaka menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian sebelumnya masih memiliki beberapa keterbatasan. Mayoritas penelitian hanya memanfaatkan

sensor ultrasonik sebagai alat utama untuk mendeteksi hambatan sehingga belum mampu memberikan perlindungan yang optimal terhadap kondisi lingkungan lain seperti genangan air. Selain itu, tidak semua sistem telah mengintegrasikan modul *GPS* dengan sistem *IoT* sehingga proses pemantauan lokasi pengguna oleh keluarga atau pendamping belum dapat dilakukan secara berkesinambungan. Beberapa penelitian juga masih menggunakan Arduino yang memiliki keterbatasan dibandingkan ESP32 dalam hal konektivitas *Wi-Fi*, *Bluetooth*, kapasitas memori, serta kemampuan pemrosesan data (Utomo et al. 2023). Kondisi tersebut menunjukkan masih terdapat *research gap* yang perlu dikembangkan agar diperoleh sistem tongkat pintar yang lebih komprehensif, adaptif, dan aman digunakan pada berbagai kondisi lingkungan.

Penggunaan ESP32 menjadi salah satu solusi yang menjanjikan karena mikrokontroler ini memiliki prosesor *dual-core*, kapasitas memori yang lebih besar, dukungan *Wi-Fi* dan *Bluetooth Low Energy*, serta kompatibel dengan berbagai sensor yang umum digunakan pada sistem *embedded* dan *IoT* (Utomo et al. 2023). Sensor ultrasonik HC-SR04 dipilih karena mampu mendeteksi objek pada rentang sekitar 2–400 cm dengan tingkat akurasi yang baik melalui prinsip pantulan gelombang ultrasonik. Selain itu, penambahan sensor *water level* memungkinkan sistem mengenali keberadaan genangan air yang sering menjadi ancaman bagi penyandang tunanetra. Modul *GPS* NEO-6M kemudian dimanfaatkan untuk memperoleh koordinat lokasi pengguna secara *real-time*, sedangkan buzzer digunakan sebagai media keluaran berupa peringatan suara ketika sistem mendeteksi adanya hambatan maupun kondisi berbahaya. Seluruh komponen tersebut diintegrasikan melalui jaringan *Internet of Things* sehingga informasi lokasi maupun kondisi pengguna dapat dipantau oleh keluarga melalui aplikasi pemantauan berbasis internet (Erwin et al. 2023).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini mengembangkan tongkat pintar berbasis *Internet of Things* menggunakan ESP32, sensor ultrasonik, sensor *water level*, buzzer, serta modul *GPS* sebagai sistem yang terintegrasi untuk meningkatkan keselamatan dan mobilitas penyandang tunanetra. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya berfokus pada deteksi hambatan, penelitian ini mengombinasikan deteksi objek, identifikasi genangan air, serta pemantauan lokasi pengguna secara *real-time* dalam satu perangkat sehingga diharapkan mampu memberikan perlindungan yang lebih menyeluruh. Pengembangan sistem ini diharapkan dapat meningkatkan kemandirian penyandang tunanetra, mempermudah keluarga dalam memantau keberadaan pengguna, serta menjadi salah satu bentuk implementasi teknologi *Internet of Things* yang berorientasi pada peningkatan kualitas hidup penyandang disabilitas.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (*R&D*) dengan tujuan merancang, mengembangkan, dan menguji sebuah tongkat pintar berbasis *Internet of Things* (*IoT*) sebagai alat bantu mobilitas bagi penyandang tunanetra. Metode *R&D* dipilih karena tidak hanya berorientasi pada pengembangan produk, tetapi juga mengevaluasi kinerja produk yang dihasilkan melalui serangkaian tahapan yang sistematis sehingga diperoleh perangkat yang layak digunakan. Penelitian dilaksanakan selama empat bulan, yaitu mulai Juni hingga September 2025, yang meliputi tahap inisialisasi, studi literatur, persiapan *hardware* dan *software*, perencanaan manajemen proyek, perancangan sistem, desain skematik dan *wiring*, penentuan spesifikasi perangkat, pengembangan sistem, pembuatan alat, pengembangan sistem *IoT*, pengujian, uji coba menggunakan objek, revisi dan optimasi, evaluasi akhir, serta penyusunan laporan.

Tahap awal penelitian diawali dengan identifikasi kebutuhan pengguna melalui studi literatur mengenai teknologi asistif bagi penyandang tunanetra, karakteristik sensor, mikrokontroler, serta implementasi *Internet of Things*. Informasi yang diperoleh kemudian digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan fungsional dan nonfungsional sistem sehingga perangkat yang dikembangkan mampu mendeteksi rintangan di depan pengguna, mengenali genangan air, memberikan peringatan suara, serta mengirimkan informasi lokasi pengguna secara *real-time*. Selanjutnya dilakukan perancangan sistem yang meliputi penyusunan *flowchart*, diagram blok, skematik rangkaian elektronik, serta desain *wiring* sebagai pedoman dalam proses perakitan perangkat.

Perangkat keras (*hardware*) yang digunakan terdiri atas mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali sistem, tiga sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi keberadaan objek di sekitar pengguna, sensor *water level* sebagai pendeteksi genangan air, modul *Global Positioning System* (*GPS*) untuk memperoleh koordinat lokasi pengguna, *buzzer* sebagai media peringatan suara, baterai *Li-ion* 18650 sebagai sumber daya, *breadboard*, kabel *jumper*, *push button*, serta tongkat tunanetra sebagai media utama pemasangan seluruh komponen elektronik. Seluruh komponen tersebut dipilih karena memiliki karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan sistem, mudah diintegrasikan dengan ESP32, serta mendukung komunikasi berbasis *IoT*. Berdasarkan perencanaan penelitian, total estimasi biaya pengadaan seluruh komponen sebesar Rp385.000.

Setelah proses perancangan selesai, tahap berikutnya adalah pengembangan perangkat lunak (*software*). Program dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman yang kompatibel dengan ESP32 untuk mengendalikan proses pembacaan data dari setiap sensor, mengolah hasil pembacaan, menentukan kondisi bahaya berdasarkan parameter yang telah ditetapkan, serta mengaktifkan *buzzer* sebagai indikator peringatan. Selain itu, perangkat lunak juga dirancang agar ESP32 mampu terhubung dengan jaringan internet sehingga data lokasi dari modul *GPS* dapat dikirimkan secara *real-time* ke sistem *IoT*. Integrasi antara *hardware* dan *software* dilakukan secara bertahap untuk memastikan setiap sensor bekerja sesuai fungsi sebelum seluruh sistem dioperasikan secara terpadu.

Tahap implementasi dilakukan dengan merakit seluruh komponen elektronik sesuai desain skematik dan *wiring* yang telah dibuat. ESP32 berfungsi sebagai pengendali utama yang menerima data dari sensor ultrasonik, sensor *water level*, dan modul *GPS*. Sensor ultrasonik bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik untuk mengukur jarak antara sensor dan objek di depannya, sedangkan sensor *water level* mendeteksi adanya genangan air berdasarkan perubahan konduktivitas pada permukaan sensor. Informasi yang diperoleh dari kedua sensor diproses oleh ESP32 untuk menentukan apakah terdapat kondisi yang memerlukan peringatan kepada pengguna. Apabila objek maupun genangan air terdeteksi sesuai batas yang telah ditentukan, sistem akan mengaktifkan *buzzer* sehingga pengguna memperoleh informasi secara langsung melalui sinyal suara. Pada saat yang sama, modul *GPS* akan memperoleh koordinat lokasi pengguna yang kemudian dikirimkan melalui sistem *IoT* sehingga dapat dipantau secara *real-time*.

Pengujian sistem dilakukan setelah seluruh proses integrasi selesai. Tahap ini bertujuan untuk mengetahui apakah setiap komponen mampu bekerja sesuai spesifikasi yang dirancang. Pengujian dilakukan terhadap fungsi sensor ultrasonik dalam mendeteksi berbagai objek pada jarak tertentu, sensor *water level* dalam mengenali keberadaan genangan air, *buzzer* dalam memberikan peringatan suara, serta modul *GPS* dalam memperoleh dan mengirimkan koordinat lokasi pengguna melalui sistem *IoT*. Selain pengujian setiap komponen secara individual, dilakukan pula pengujian keseluruhan sistem (*integrated system testing*) untuk memastikan

komunikasi antarkomponen berlangsung dengan baik dan seluruh fungsi dapat berjalan secara bersamaan tanpa mengalami gangguan.

Tahap selanjutnya berupa uji coba menggunakan objek yang menyerupai kondisi nyata di lingkungan pengguna. Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan berbagai rintangan di depan pengguna serta kondisi adanya genangan air pada jalur yang dilalui. Melalui pengujian tersebut diamati kemampuan sensor dalam mendeteksi objek, kecepatan sistem memberikan peringatan, serta keberhasilan pengiriman lokasi pengguna melalui jaringan *Internet of Things*. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem dalam menjalankan seluruh fungsi yang telah dirancang. Apabila masih ditemukan kesalahan maupun ketidaksesuaian kinerja, dilakukan proses revisi dan optimasi baik pada aspek *hardware* maupun *software* hingga diperoleh performa sistem yang optimal.

Tahap akhir penelitian meliputi evaluasi menyeluruh terhadap hasil pengembangan perangkat berdasarkan seluruh pengujian yang telah dilakukan. Evaluasi difokuskan pada keberhasilan integrasi sensor, stabilitas komunikasi *IoT*, kemampuan perangkat dalam membantu mobilitas penyandang tunanetra, serta kesesuaian fungsi sistem dengan tujuan penelitian. Seluruh hasil pengembangan, pengujian, analisis, revisi, dan evaluasi kemudian didokumentasikan dalam bentuk laporan penelitian sebagai luaran akhir dari proses *Research and Development*.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

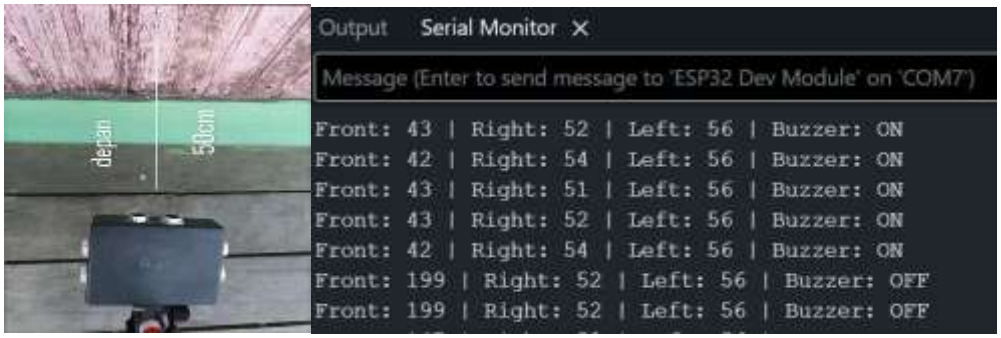
Penelitian ini berhasil mengembangkan sebuah tongkat pintar berbasis *Internet of Things* (*IoT*) yang dirancang untuk membantu mobilitas penyandang tunanetra melalui integrasi mikrokontroler ESP32, tiga sensor ultrasonik, sensor *water level*, modul *Global Positioning System* (*GPS*), dan *buzzer* sebagai sistem peringatan. Selain mampu mendeteksi hambatan di depan maupun di samping pengguna, perangkat juga dapat mengenali keberadaan genangan air serta mengirimkan informasi lokasi secara *real-time* melalui aplikasi berbasis *website*. Tongkat menggunakan kerangka berbahan aluminium dengan berat total 864 gram, termasuk kotak rangkaian elektronik, sehingga masih nyaman digunakan sebagai alat bantu mobilitas sehari-hari. Hasil pengembangan selanjutnya dievaluasi melalui pengujian setiap komponen untuk mengetahui kinerja dan efektivitas sistem yang telah dirancang.



Gambar 1. Hasil Alat Keseluruhan

Gambar 1. menunjukkan hasil implementasi tongkat pintar yang telah selesai dirakit beserta seluruh komponen penyusunnya. Seluruh sensor dan modul ditempatkan pada posisi yang disesuaikan dengan fungsi masing-masing agar mampu mendeteksi kondisi lingkungan secara optimal. ESP32 berperan sebagai pusat pengendali yang mengolah data dari sensor ultrasonik, sensor *water level*, dan modul *GPS*, kemudian mengaktifkan *buzzer* sebagai indikator peringatan sekaligus mengirimkan data lokasi pengguna ke sistem pemantauan berbasis *website*.

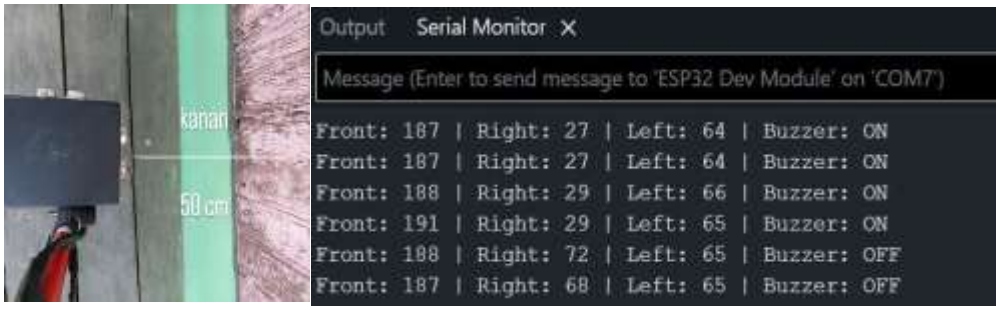
Setelah proses perakitan selesai, dilakukan pengujian terhadap sensor ultrasonik untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendeteksi objek pada berbagai arah di sekitar pengguna. Pengujian dilakukan pada tiga posisi sensor, yaitu bagian depan, kanan, dan kiri, guna memastikan cakupan deteksi mampu memberikan perlindungan yang lebih menyeluruh selama proses mobilitas.



Gambar 2. Pengujian Sensor Ultrasonik Depan

Pengujian pada sensor ultrasonik bagian depan dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi hambatan yang berada di jalur utama pengguna. Sensor bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik dan menghitung waktu pantulan gelombang untuk menentukan jarak objek.i Berdasarkan hasil pengujian, sensor mampu mengenali objek dengan baik sesuai prinsip kerja yang dimiliki sehingga dapat digunakan sebagai dasar pemberian peringatan ketika pengguna mendekati suatu hambatan.

Selain mendeteksi objek di depan pengguna, sistem juga dirancang untuk meningkatkan keamanan dari arah samping melalui pemasangan sensor ultrasonik pada sisi kanan dan kiri tongkat.

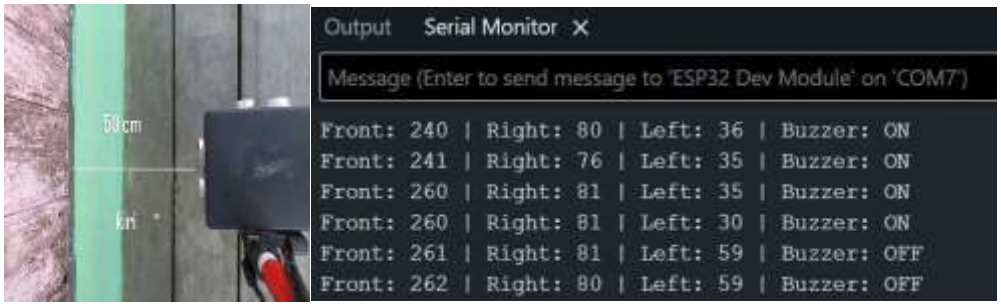


Gambar 3. Pengujian Sensor Ultrasonik Kanan

Gambar 3. memperlihatkan proses pengujian sensor ultrasonik pada sisi kanan tongkat. Pengujian ini bertujuan memastikan sensor mampu mengenali objek yang berada di sisi kanan pengguna sehingga risiko benturan dengan rintangan dapat diminimalkan. Hasil pengujian

menunjukkan bahwa sensor mampu memberikan respons terhadap keberadaan objek sesuai jarak yang telah diprogram pada sistem.

Untuk melengkapi cakupan deteksi, dilakukan pula pengujian sensor ultrasonik pada sisi kiri tongkat sehingga sistem dapat memberikan perlindungan dari tiga arah sekaligus.



Gambar 4. Pengujian Sensor Ultrasonik Kiri

Pengujian sensor ultrasonik sisi kiri dilakukan menggunakan prosedur yang sama dengan sensor depan dan kanan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi keberadaan objek di sisi kiri pengguna sehingga seluruh sensor ultrasonik dapat bekerja secara terintegrasi dalam memberikan informasi mengenai kondisi lingkungan sekitar. Dengan konfigurasi tiga sensor tersebut, sistem mampu memperluas area deteksi dibandingkan penggunaan satu sensor saja sehingga meningkatkan aspek keselamatan pengguna ketika berjalan.

Untuk mengetahui tingkat akurasi masing-masing sensor ultrasonik, dilakukan pengukuran dengan membandingkan jarak sebenarnya terhadap jarak yang terbaca oleh sensor. Hasil pengujian tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Data Sensor Ultrasonik

No	Jarak Sensor Depan (cm)	Jarak Terdeteksi(cm)	Error (%)	Indikator Buzzer
1	43 cm	44,0 cm	0,97 %	Bersuara
2	42 cm	43,0 cm	0,97 %	Bersuara
3	43 cm	42,0 cm	1,02 %	Bersuara
4	43 cm	45,0 cm	0,95 %	Bersuara
5	199 cm	190,0 cm	1,04 %	Tidak Bersuara
6	199 cm	197,0 cm	1,01 %	Tidak Bersuara
Rata – Rata			**0,99 %**	
No	**Jarak Sensor Kanan (cm)**	**Jarak Terdeteksi(cm)**	**Error (%)**	**Indikator Buzzer**
1	27 cm	28,0 cm	0,96 %	Bersuara
2	27 cm	29,0 cm	0,93 %	Bersuara
3	29 cm	30,0 cm	0,96 %	Bersuara
4	29 cm	29,0 cm	1,00 %	Bersuara
5	72 cm	71,0 cm	1,01%	Tidak Bersuara

6	68 cm	69,0 cm	0,98 %	Tidak Bersuara
		Rata - Rata	**0,97 %**	
No	**Jarak Sensor Kiri (cm)**	**Jarak Terdeteksi(cm)**	**Error (%)**	**Indikator Buzzer**
1	36 cm	37,0 cm	0,97 %	Bersuara
2	35 cm	34,0 cm	1,02 %	Bersuara
3	35 cm	37,0 cm	0,94 %	Bersuara
4	30 cm	29,0 cm	1,03 %	Bersuara
5	59 cm	60,0 cm	1,01 %	Tidak Bersuara
6	59 cm	61,0 cm	1,03 %	Tidak Bersuara
		Rata - Rata	**1,00 %**	

Berdasarkan Tabel 1, seluruh sensor ultrasonik menunjukkan performa pengukuran yang baik dengan tingkat kesalahan (*error*) yang relatif rendah. Sensor bagian depan menghasilkan rata-rata *error* sebesar 0,99%, sensor kanan sebesar 0,97%, sedangkan sensor kiri sebesar 1,00%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hasil pembacaan sensor memiliki selisih yang sangat kecil dibandingkan jarak sebenarnya sehingga akurasi sistem dapat dikategorikan baik. Selain itu, hasil pengujian juga memperlihatkan bahwa *buzzer* aktif ketika objek terdeteksi pada jarak kurang dari 50 cm dan tidak aktif ketika objek berada pada jarak lebih dari 50 cm. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa logika pemrograman yang diterapkan pada ESP32 mampu menjalankan fungsi peringatan sesuai dengan parameter yang telah ditentukan. Secara keseluruhan, hasil pengujian membuktikan bahwa sistem deteksi hambatan mampu bekerja secara konsisten dengan rata-rata persentase *error* sebesar 0,99%, sehingga layak digunakan sebagai bagian utama dari sistem tongkat pintar berbasis *Internet of Things*.

Pengujian lapangan dilakukan dengan melibatkan seorang pengguna tunanetra untuk mengevaluasi keefektifan tongkat dalam kondisi nyata. Uji coba mencakup aktivitas berjalan di ruang terbuka, deteksi adanya genangan air, serta identifikasi hambatan di jalur pengguna. Proses pengujian dilaksanakan bersama (Achmad Nur Azmi) sebagai pendamping, dan responden tunanetra yaitu Ahmad Nur Fadillah. Setelah menggunakan tongkat dalam beberapa skenario, responden memberikan tanggapan melalui wawancara.

Hasil wawancara menghasilkan beberapa temuan penting sebagai berikut:

1. Kemudahan dalam Penggunaan

   Responden menilai tongkat ini tidak menyulitkan untuk digunakan. Menurutnya: "Tongkat ini mirip dengan tongkat biasa, jadi saya tidak kesulitan memegangnya, meskipun ada tambahan sensor."
2. Deteksi Hambatan di Depan

   Responden merasa terbantu dengan adanya peringatan suara ketika ada halangan di jalur. Namun ia juga menambahkan: "Buzzer-nya cukup membantu, tapi kalau di jalan ramai suaranya kurang terdengar jelas. Mungkin bisa dibuat lebih keras."
3. Peringatan Genangan Air

   Fitur sensor air dinilai bermanfaat karena memberi peringatan ketika ada genangan.

4. Fitur GPS

   Menurut responden, fitur GPS membuatnya merasa lebih aman: “Saya jadi lebih tenang karena keluarga bisa tahu posisi saya kalau saya jalan sendiri.”

5. Keterbatasan yang Ditemukan

   Beberapa kendala yang dirasakan adalah respon sensor yang kadang sedikit lambat dan bunyi buzzer yang tidak selalu konsisten.

Secara keseluruhan, wawancara menunjukkan bahwa tongkat ini sudah memberikan manfaat nyata bagi pengguna, terutama dalam meningkatkan rasa aman dan kemandirian saat berjalan. Meski demikian, masih diperlukan pengembangan lebih lanjut, khususnya dalam kalibrasi sensor dan penyesuaian volume buzzer agar dapat berfungsi optimal di berbagai kondisi lingkungan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor yang terpasang pada tongkat berbasis IoT ini dapat bekerja sesuai fungsinya. Sensor ultrasonik mampu memberikan peringatan adanya hambatan dengan tingkat akurasi yang cukup baik, meskipun pada objek tertentu seperti permukaan kaca atau benda berwarna gelap akurasinya sedikit menurun. Sensor water level dapat mendeteksi adanya genangan air, hanya saja pembacaan data terkadang tidak stabil sehingga masih diperlukan proses kalibrasi tambahan. Sementara itu, modul GPS dapat menampilkan posisi pengguna melalui Firebase secara langsung, meskipun ada sedikit keterlambatan ketika kondisi sinyal tidak stabil.

Dari sisi integrasi, semua sensor berhasil dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 dan data dapat dikirim ke Firebase untuk kemudian ditampilkan dalam aplikasi monitoring berbasis web. Uji coba lapangan bersama responden tunanetra juga memberikan gambaran bahwa alat ini cukup membantu dalam aktivitas berjalan, terutama dalam hal deteksi hambatan, pengenalan genangan, serta menambah rasa aman dengan adanya fitur pelacakan lokasi. Namun demikian, terdapat beberapa catatan yang perlu diperhatikan, seperti respon sensor yang sesekali melambat, suara buzzer yang kurang terdengar jelas di lingkungan ramai, dan penggunaan daya yang masih cukup tinggi. Secara umum, tongkat ini sudah sesuai dengan tujuan penelitian dan layak digunakan sebagai prototipe, meskipun masih ada ruang untuk penyempurnaan agar lebih nyaman dan andal saat dipakai dalam jangka panjang.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan tongkat berbasis IoT untuk membantu mobilitas penyandang tunanetra. Sistem menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi rintangan serta modul GPS dan mikrokontroler ESP32 untuk mengirim data lokasi secara real-time ke aplikasi monitoring.

Hasil pengujian di lingkungan sekitar Jl. KH Harun Nafsi RT 18 Rapak Dalam menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan dini terhadap rintangan dan melaporkan posisi pengguna secara akurat. Fitur buzzer memberikan umpan balik berupa suara, sementara integrasi GPS memudahkan pemantauan oleh keluarga. Secara keseluruhan, tongkat ini meningkatkan keamanan, kemandirian, dan kenyamanan pengguna dibandingkan tongkat konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

Andriana, Elynda, Slamet Riyanto, and Sri Anardani. “"Optimalisasi Tongkat Pintar Pendeteksi Lokasi Berbasis Internet Of Things Menggunakan Firebase Realtime Database.” www.arduino.cc.

Anggara, Rifqi Prima, and Arif Johar Taufiq. 2021. 3 Hal. 111~118 *Rancang Bangun Alat Bantu Mobilitas Tunanetra Dan Penentu Lokasi Menggunakan Global Positioning System Tracking Berbasis Internet Of Things*.

Aulia, Jihan, Annisa Azzahra, Berman P Panjaitan, Teknik Elektronika, Teknik Elektro, and Politeknik Negeri Medan. *PERANCANGAN TONGKAT CERDAS SEBAGAI ALAT BANTU MOBILITAS PENYANDANG TUNANETRA BERBASIS INTERNET of THINGS (IoT)*.

Erwin, Erwin;, Iefan Aulia; Datya, Nurohim; Nurohim, Sepriano; Sepriano, Waryono; Waryono, Iwan; Adhicandra, Eko; Budihartono, and Ni Wayan; Purnawati. 2023. *PENGANTAR DAN PENERAPAN INTERNET OF THINGS : Konsep Dasar & Penerapan IoT Di Berbagai Sektor*. www.buku.sonpedia.com

Haslindah, Andi, Sukirman Sukirman, Andi Wahyunita Hakis, and Nur Indah Tenri Sa’na. 2024. “PENGEMBANGAN ALAT BANTU JALAN TUNANETRA DENGAN TONGKAT CERDAS BERBASIS ARDUINO.” *ILTEK : Jurnal Teknologi* 19(01): 12–17. doi:10.47398/iltek.v19i01.108.

Mufit, Choirul, and Imam Hambali. 2022. “Rancang Bangun Alat Bantu Tongkat Tunanetra Berbasis Esp32.” *Jurnal Kajian Teknik Elektro* 7(2): 64–69. doi:10.52447/jkte.v7i2.6473.

Nur’aisah, Enung, Firda Halawati, and Ika Candra Destiyanti. 2022. “Pengembangan Teknologi Pembelajaran Tunanetra (Teptun) Berbasis Screan Reader NVDA Pada Mahasiswa Tunanetra.” *Jurnal Pendidikan dan Konseling* 4(5): 79.

Nur, Azmi, Shidiq Ridwan, Rachel Disa, Talitha Rachma, Latief Naufal Andryanto, Acep Tio, Muhammad Syahran, Mawarid Taslim, and Nabil Muflih Wardana. 2024. “Perancangan Blind Stick Berbasis ESP32 Dengan Sensor Ultrasonik Untuk Membantu Mobilitas Penyandang Tunanetra Universitas Siliwangi , Indonesia.”

Panacara, Pandu, Masbach Siregar, Taswanda Taryo, Bank Rakyat Indonesia Jl Jend Sudirman, and Bendungan Hilir. 01 *Rancang Bangun Piranti Penuntun Tongkat Pintar Untuk Penyandang Tunanetra Berbasis Mikrokontroler Arduino*. http://www.openjournal.unpam.ac.id/index.php/SNH.

Priadinata, K, Y Suprapto, and ... 2023. “Rancang Tongkat Pendeteksi Jarak Berbasis Sensor Sebagai Mobilitas Tunanetra.” *Prosiding SNITP ….* https://ejournal.poltekbangsby.ac.id/index.php/SNITP/article/download/1651/1552.

Ramadhani, A R. 2023. “Rancang Bangun Tongkat Pintar Untuk Membantu Orientasi Mobilitas Penyandang Tunanetra Berbasis Internet of Things (IoT).” 7(2).

Suprianto, Dodit, Vipkas Al Hadid Firdaus, Rini Agustina, and Dimas Wahyu Wibowo. 2019. “Microcontroller Arduino Untuk Pemula (Disertai Contoh-Contoh Projek Yang Menginspirasi).” Jasakom (October 2021): 1–39.

Syakuro, Abdan. 2021. “IMPLEMENTASI TONGKAT PINTAR SEBAGAI ALAT BANTU TUNANETRA BERBASIS TELEGRAM.” Doi:10.51510/trekritel.v4i1.432.

Utomo, Agus Priyo, Adi Sucipto, Sholihah Ayu Wulandari, Ahmad Fahriyannur Rosyady, Mochammad Enrique Lazuardi, and Dyiono Dyiono. 2023. “Implementasi Desain Smart

Stick Untuk Anak Tunanetra Berbasis GPS Terintegrasi Dengan Smartphone." JURNAL ELTEK 21(1): 10–19. Doi:10.33795/eltek.v21i1.369.

Wijaya, Febriyanto Firman, Radius Setiyawan, Dede Nasrullah, Lukman Hakim, and Firman Firman. 2025. "Implementasi Inovasi Smart Cane Berbasis Smartphone Pada Tunanetra." : 44–51.