

## Sistem Monitoring Smart Stick Berbasis Internet Of Things (IoT) Dengan Integrasi Multi-Sensor Untuk Membantu Mobilitas Penyandang Tunanetra

Lady Setiawan<sup>1</sup>, Yan Sofyan Andhana Saputra<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Sistem Informasi Fakultas Teknik, Universitas Darma Persada, (Mahasiswa),

<sup>2</sup> Dosen Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas Darma Persada

Jl. Taman Malaka Selatan No.22, Pondok Kelapa, Duren Sawit, DKI Jakarta, Indonesia 13450

\*Koresponden : yansofyan@gmail.com

### Abstrak

Penyandang tunanetra menghadapi berbagai kendala dalam mobilitas karena tongkat konvensional terutama mendeteksi rintangan melalui kontak fisik dan belum menyediakan informasi lingkungan secara komprehensif. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji sistem monitoring Smart Stick berbasis Internet of Things (IoT) dengan integrasi multi-sensor untuk mendeteksi rintangan, genangan air, getaran atau benturan, serta lokasi pengguna secara real-time. Sistem menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama, tiga sensor ultrasonik HC-SR04, Water Sensor, sensor getar SW-420, modul GPS Neo-M8N, buzzer, motor getar, dan tombol SOS. Data sensor diproses oleh ESP32 untuk menentukan kondisi lingkungan dan mengaktifkan mekanisme peringatan sesuai tingkat bahaya. Data dikirim ke ThingSpeak dan dashboard monitoring berbasis web, sedangkan notifikasi kondisi bahaya, lokasi, dan SOS dikirim melalui Telegram ketika koneksi internet tersedia. Berdasarkan hasil pengujian, sensor ultrasonik menghasilkan galat rata-rata pengukuran (MAE) 0,46 cm, Water Sensor mencapai tingkat keberhasilan deteksi 100%, dan modul GPS berhasil memperoleh koordinat lokasi pada setiap pengujian, dengan nilai HDOP 1,05 pada salah satu skenario pengujian. Integrasi sistem menunjukkan bahwa perangkat mampu melakukan deteksi lingkungan, memberikan peringatan lokal melalui suara dan getaran, serta menyediakan monitoring jarak jauh. Hasil tersebut menunjukkan bahwa prototipe secara teknis layak digunakan sebagai instrumen pendukung mobilitas penyandang tunanetra, dengan pengembangan lanjutan masih diperlukan pada aspek keandalan sistem, efisiensi daya, dan pengujian lapangan.

**Kata kunci:** ESP32; Internet of Things; Monitoring Real-Time; Multi-Sensor; Smart Stick

### Abstract

Visually impaired individuals often encounter mobility challenges because conventional canes primarily rely on physical contact to identify obstacles and provide limited information about surrounding environmental conditions. This study aims to design and evaluate an Internet of Things (IoT)-based Smart Stick monitoring system that integrates multiple sensors to detect obstacles, water puddles, vibrations or impacts, and the user's location in real time. The proposed system employs an ESP32 as the main controller and integrates three HC-SR04 ultrasonic sensors, a water sensor, an SW-420 vibration sensor, a Neo-M8N GPS module, a buzzer, a vibration motor, and an SOS button. Sensor data are processed locally by the ESP32 to determine environmental conditions and activate appropriate warning mechanisms. The processed data are transmitted to ThingSpeak and a web-based monitoring dashboard, while danger alerts, location information, and SOS notifications are delivered via Telegram when an internet connection is available. Experimental results show that the ultrasonic sensors achieved a Mean Absolute Error (MAE) of 0.46 cm, while the water sensor achieved a 100% detection success rate under the tested conditions. The GPS module successfully acquired location coordinates, with an HDOP value of 1.05 recorded in one of the test scenarios. Overall system testing confirmed that the prototype was able to detect environmental conditions, provide local audio and vibration alerts, and support remote monitoring and emergency notifications. These findings demonstrate the technical feasibility of the proposed prototype as an assistive mobility device for

*visually impaired individuals, while further evaluation under more diverse real-world conditions is required to assess its reliability, power efficiency, and practical usability.*

**Keywords:** ESP32; Internet of Things; Monitoring Real-Time; Multi-Sensor; Smart Stick

## 1. Pendahuluan

Penyandang tunanetra menghadapi berbagai tantangan mobilitas dalam kehidupan sehari-hari, khususnya dalam bernavigasi dan mengenali kondisi lingkungan sekitar. Keterbatasan penglihatan membuat mereka kesulitan mendeteksi dan menghindari berbagai hambatan di sekitarnya, sehingga sering kali membutuhkan bantuan pihak lain dalam beraktivitas secara mandiri. Kondisi ini menunjukkan perlunya perangkat bantu yang mampu menyediakan informasi lingkungan secara lebih efektif guna mendukung navigasi yang aman [1]. Salah satu solusi yang dikembangkan untuk menjawab kebutuhan tersebut adalah tongkat pintar (*smart cane*), yang dirancang untuk memberikan informasi lingkungan secara *real-time* sekaligus meningkatkan keselamatan pengguna selama beraktivitas [2].

Perkembangan teknologi mendorong pengembangan *smart stick* yang mengintegrasikan sensor dan mikrokontroler untuk mendeteksi rintangan serta memberikan umpan balik kepada pengguna. Berbagai penelitian telah dilakukan dengan pendekatan sensor yang berbeda-beda: sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi objek di sekitar pengguna [3], sensor GPS diintegrasikan untuk keperluan pelacakan lokasi [4], dan sensor air dimanfaatkan untuk mendeteksi genangan di jalur yang dilalui [5]. Selain itu, integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan data dari perangkat dikirimkan secara langsung ke sistem monitoring atau platform komunikasi, sehingga kondisi dan lokasi pengguna dapat dipantau dari jarak jauh [4].

Hasil observasi lapangan dan wawancara di Yayasan Tunanetra Raudhatul Firdaus menunjukkan adanya kebutuhan perangkat bantu mobilitas yang mampu mendeteksi kondisi lingkungan secara lebih komprehensif. Permasalahan yang teridentifikasi meliputi kesulitan mendeteksi rintangan, genangan air, getaran atau benturan, serta kebutuhan akan fitur darurat berupa tombol SOS. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini merancang *Smart Stick* berbasis IoT dengan integrasi multi-sensor untuk mendeteksi kondisi lingkungan dan menyediakan mekanisme peringatan lokal serta notifikasi jarak jauh.

Penelitian terdahulu masih menunjukkan adanya ruang pengembangan dalam integrasi beberapa parameter lingkungan ke dalam satu perangkat. Penelitian berbasis ultrasonik berfokus pada deteksi rintangan [6], sementara penelitian berbasis IoT mengembangkan fungsi monitoring dan pelacakan lokasi [7]. Pendekatan multi-sensor juga telah digunakan untuk meningkatkan mobilitas dan keselamatan bagi pengguna tunanetra [8]. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya berfokus pada fungsi deteksi atau monitoring tertentu, penelitian ini mengintegrasikan deteksi rintangan multiarah, genangan air, getaran atau benturan, pelacakan lokasi, peringatan audio-haptik, monitoring berbasis web, serta notifikasi darurat dalam satu prototipe *Smart Stick* berbasis IoT.

Tujuan penelitian ini adalah merancang arsitektur sistem monitoring *Smart Stick* berbasis IoT dengan integrasi multi-sensor serta menguji fungsionalitas dan kinerja pembacaan sensor untuk menghasilkan peringatan kondisi lingkungan secara *real-time*.

## 2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D) dengan metode *prototyping* untuk menghasilkan dan menguji prototipe *Smart Stick* berbasis *Internet of Things* (IoT) sebagai perangkat bantu mobilitas penyandang tunanetra. Pendekatan *prototyping* dipilih karena memungkinkan proses pengembangan dilakukan secara bertahap melalui perancangan, implementasi, pengujian, dan evaluasi sehingga sistem dapat disempurnakan berdasarkan hasil pengujian.

Tahap awal penelitian dilakukan melalui observasi dan wawancara untuk mengidentifikasi permasalahan serta kebutuhan pengguna dalam aktivitas mobilitas. Hasil identifikasi menunjukkan kebutuhan terhadap perangkat yang mampu mendeteksi rintangan, genangan air, getaran atau benturan, serta menyediakan mekanisme pemberitahuan pada kondisi darurat. Berdasarkan kebutuhan tersebut, dirancang sistem *Smart Stick* dengan ESP32 sebagai pengendali utama yang mengintegrasikan tiga sensor ultrasonik HC-SR04, *Water Sensor*, sensor getar SW-420, dan GPS Neo-M8N. Sistem juga dilengkapi *buzzer*, motor getar, dan tombol SOS sebagai perangkat peringatan dan kondisi darurat.

Pada tahap implementasi, perangkat keras dan perangkat lunak diintegrasikan sehingga data dari setiap sensor dapat diproses oleh ESP32. Sensor ultrasonik digunakan untuk menentukan jarak atau tingkat kedekatan terhadap rintangan, *Water Sensor* untuk mendeteksi keberadaan genangan, sedangkan SW-420 digunakan untuk mendeteksi getaran atau benturan. GPS Neo-M8N digunakan untuk memperoleh informasi

lokasi pengguna. Data hasil pemrosesan selanjutnya dikirim melalui jaringan internet untuk ditampilkan pada sistem monitoring dan digunakan sebagai dasar pengiriman notifikasi.

Pengujian dilakukan secara bertahap, meliputi pengujian masing-masing sensor dan pengujian integrasi sistem. Pengujian sensor ultrasonik dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor terhadap jarak aktual dan dianalisis menggunakan Mean Absolute Error (MAE). *Water Sensor* diuji pada kondisi tanpa air dan dengan air untuk mengetahui keberhasilan deteksi genangan. Pengujian GPS dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam memperoleh koordinat lokasi, sedangkan sensor SW-420 diuji berdasarkan respon terhadap getaran atau benturan. Selanjutnya, pengujian integrasi dilakukan untuk memastikan komunikasi antara sensor, ESP32, aktuator, sistem monitoring, dan mekanisme notifikasi dapat berfungsi sesuai rancangan.

Hasil pengujian selanjutnya dianalisis untuk mengetahui tingkat keberhasilan fungsi dan kinerja sensor. Hasil analisis digunakan sebagai dasar evaluasi terhadap prototipe dan untuk mengidentifikasi bagian sistem yang masih memerlukan penyempurnaan. Dengan demikian, metode penelitian tidak hanya menghasilkan prototipe *Smart Stick*, tetapi juga memberikan evaluasi terhadap kemampuan sistem dalam mendukung deteksi kondisi lingkungan dan mobilitas penyandang tunanetra.

### 3. Landasan Teori

*Smart Stick* merupakan pengembangan alat bantu mobilitas yang mengintegrasikan sensor dan mikrokontroler untuk membantu pengguna mengenali kondisi lingkungan. Sistem semacam ini dapat memberikan informasi mengenai rintangan dan kondisi sekitar melalui keluaran suara atau getaran sehingga tidak bergantung pada penglihatan pengguna. Integrasi beberapa sensor memungkinkan satu perangkat memperoleh informasi dari lebih dari satu parameter lingkungan [4].

*Internet of Things* (IoT) merupakan konsep penghubungan perangkat fisik melalui jaringan untuk memungkinkan pertukaran data dan pemantauan dari jarak jauh. Pada *Smart Stick*, IoT digunakan untuk menghubungkan ESP32 dengan platform monitoring dan media notifikasi. Penerapan IoT pada alat bantu tunanetra telah digunakan untuk mengirimkan data sensor, informasi lokasi, serta notifikasi kondisi tertentu [7].

ESP32 digunakan sebagai pengendali utama karena memiliki kemampuan pemrosesan dan konektivitas WiFi yang mendukung aplikasi IoT. Dalam sistem ini, ESP32 membaca data dari sensor, melakukan pemrosesan lokal, mengendalikan aktuator, serta mengirimkan data melalui jaringan internet. Penggunaan ESP32 pada *blind stick* untuk mengintegrasikan sensor ultrasonik juga telah diterapkan pada penelitian sebelumnya [9].

Sensor ultrasonik HC-SR04 bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik dan mengukur waktu tempuh pantulan gelombang dari objek untuk menentukan jarak. Pada penelitian sebelumnya, dua sensor HC-SR04 digunakan untuk mendeteksi lubang dan rintangan di sekitar pengguna [10],[11]. Sementara itu, pada penelitian ini digunakan tiga sensor HC-SR04 untuk memperluas arah deteksi rintangan.

*Water Sensor* digunakan untuk mendeteksi keberadaan air atau genangan pada permukaan yang dilalui pengguna. Deteksi genangan menjadi salah satu fitur yang dapat melengkapi deteksi rintangan karena kondisi permukaan tertentu tidak selalu dapat dikenali melalui sensor jarak. Integrasi sensor air pada *Smart Stick* berbasis IoT telah digunakan pada penelitian sebelumnya [5].

Sensor SW-420 digunakan untuk mendeteksi getaran atau benturan pada perangkat. Dalam penelitian ini, hasil pembacaan sensor digunakan sebagai salah satu parameter untuk mengidentifikasi kondisi yang berpotensi menunjukkan benturan atau kejadian tertentu pada *Smart Stick*. Penggunaan sensor getar dalam sistem berbasis mikrokontroler dan IoT juga telah diterapkan pada berbagai penelitian [12].

GPS merupakan sistem penentuan posisi berbasis satelit yang menghasilkan informasi koordinat geografis. Modul GPS Neo-M8N pada penelitian ini digunakan untuk memperoleh latitude dan longitude pengguna. Data lokasi tersebut digunakan dalam monitoring dan dikirim bersama notifikasi ketika terjadi kondisi darurat. Pemanfaatan GPS pada tongkat bantu tunanetra untuk pelacakan lokasi telah dilaporkan dalam penelitian sebelumnya [7].

*Buzzer* dan motor getar berfungsi sebagai aktuator yang memberikan umpan balik kepada pengguna. *Buzzer* menghasilkan peringatan suara, sedangkan motor getar memberikan peringatan haptik. Penggunaan kombinasi umpan balik audio dan haptik pada perangkat bantu tunanetra telah digunakan untuk meningkatkan keterjangkauan informasi kondisi lingkungan bagi pengguna [3].

## 4. Hasil dan Pembahasan

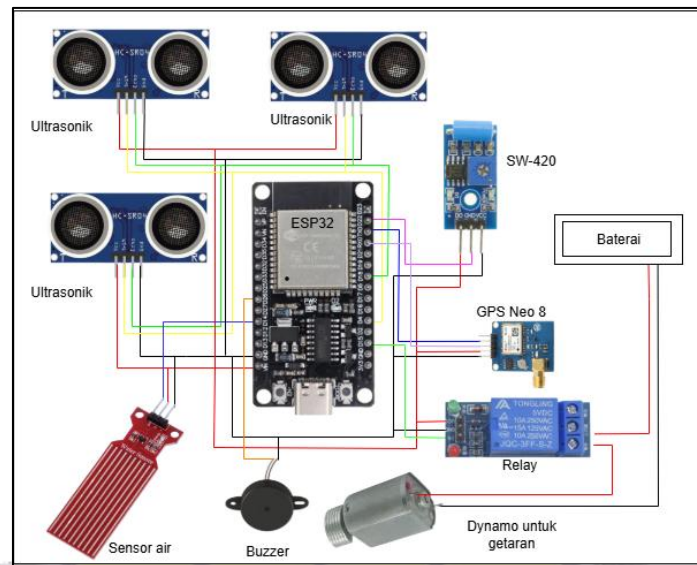
### 4.1. Implementasi Perangkat

Prototipe berhasil mengintegrasikan ESP32, tiga sensor ultrasonik, *Water Sensor*, SW-420, GPS Neo-M8N, *relay*, *buzzer*, motor getar, tombol SOS, baterai, dan *step-down converter* pada satu unit *Smart Stick*. Tiga sensor ultrasonik ditempatkan untuk memperluas arah deteksi, *Water Sensor* ditempatkan pada bagian bawah tongkat, sedangkan GPS ditempatkan pada posisi yang memungkinkan penerimaan sinyal satelit. Rancangan ini menghasilkan perangkat yang dapat melakukan deteksi lokal sekaligus komunikasi data ketika jaringan tersedia. Implementasi fisik prototipe beserta penempatan sensor dan komponen utama ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Prototipe Smart Stick dan penempatan komponen sensor

Secara keseluruhan, sensor dan komponen masukan terhubung ke ESP32 sebagai pengendali utama untuk melakukan pembacaan dan pemrosesan data. Hasil pemrosesan digunakan untuk mengaktifkan buzzer dan motor getar sebagai peringatan lokal, serta dikirim melalui jaringan internet untuk kebutuhan monitoring dan notifikasi. Hubungan antarbagian dan aliran data pada sistem ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Arsitektur sistem Smart Stick berbasis Internet of Things (IoT)

Arsitektur tersebut menunjukkan bahwa fungsi deteksi dan peringatan lokal diproses melalui ESP32, sedangkan konektivitas IoT digunakan untuk mendukung monitoring data dan pengiriman notifikasi kepada pihak terkait.

#### 4.2. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, ketiga sensor ultrasonik menunjukkan pembacaan yang mendekati jarak aktual pada rentang pengujian 20–60 cm. Perhitungan Mean Absolute Error (MAE) terhadap seluruh hasil pengukuran menghasilkan nilai sebesar 0,46 cm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pada skenario pengujian yang dilakukan, rata-rata selisih absolut antara hasil pembacaan sensor dan jarak aktual relatif kecil.

Tabel 1 Hasil pengujian sensor ultrasonik

| No | Jarak Manual (cm) | Sensor 1 (cm) | Sensor 2 (cm) | Sensor 3 (cm) | Rata-rata Error Absolut (cm) |
|----|-------------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------|
| 1  | 20                | 21            | 20            | 20            | 0,33                         |
| 2  | 20                | 20            | 21            | 19            | 0,67                         |
| 3  | 20                | 20            | 20            | 21            | 0,33                         |
| 4  | 30                | 29            | 30            | 31            | 0,67                         |
| 5  | 30                | 30            | 30            | 29            | 0,33                         |
| 6  | 30                | 31            | 30            | 30            | 0,33                         |
| 7  | 60                | 61            | 60            | 59            | 0,67                         |
| 8  | 60                | 60            | 61            | 60            | 0,33                         |
| 9  | 60                | 59            | 60            | 61            | 0,67                         |
| 10 | 60                | 60            | 60            | 59            | 0,33                         |
|    |                   |               |               | MAE           | 0,46                         |

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor ultrasonik dapat digunakan untuk mendukung deteksi rintangan pada prototipe. Temuan ini konsisten dengan penelitian *Smart Stick* yang memanfaatkan sensor ultrasonik untuk mendeteksi objek dari berbagai arah [3]. Namun, pengujian pada penelitian ini masih bersifat teknis dan terbatas pada beberapa jarak sehingga belum dapat disimpulkan sebagai validasi penggunaan di seluruh kondisi lingkungan. Variasi pantulan gelombang, bentuk objek, sudut objek, dan kondisi lingkungan tetap dapat memengaruhi pembacaan.

#### 4.3. Hasil Pengujian Water Sensor

*Water Sensor* diuji sebanyak sepuluh kali, terdiri atas lima kondisi tanpa air dan lima kondisi dengan air. Pada kondisi kering, sensor menghasilkan nilai 0 dan status tidak terdeteksi; sedangkan pada kondisi basah, sensor menghasilkan nilai 1 dan status terdeteksi. Seluruh hasil pembacaan sesuai dengan kondisi aktual sehingga tingkat keberhasilan deteksi pada skenario pengujian mencapai 100%. Hasil ini menunjukkan bahwa *Water Sensor* dapat digunakan untuk mendukung fungsi deteksi genangan pada prototipe *Smart Stick*. Namun, pengujian masih dilakukan pada kondisi terbatas sehingga diperlukan pengujian lebih lanjut dengan variasi volume air dan kondisi permukaan yang berbeda untuk mengevaluasi konsistensi sensor pada penggunaan lapangan.

#### 4.4. Hasil Pengujian GPS Neo-M8N

Pengujian GPS dilakukan pada tiga lokasi, yaitu Rorotan, Buaran, dan Universitas Darma Persada. Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul GPS Neo-M8N berhasil memperoleh koordinat pada setiap lokasi pengujian, sebagaimana disajikan pada Tabel 2. Koordinat yang diperoleh menunjukkan kesesuaian dengan lokasi tempat pengujian dilakukan. Pada salah satu pengujian di Rorotan, diperoleh nilai HDOP sebesar 1,05 dengan sembilan satelit terhubung.

Tabel 2 Hasil pengujian GPS Neo-M8N

| Lokasi Pengujian          | Latitude  | Longitude  | Kesesuaian Lokasi |
|---------------------------|-----------|------------|-------------------|
| Rorotan                   | -6.157588 | 106.953976 | Sesuai            |
| Buaran                    | -6.210683 | 106.921168 | Sesuai            |
| Universitas Darma Persada | -6.210629 | 106.921246 | Sesuai            |

HDOP (*Horizontal Dilution of Precision*) merupakan parameter tanpa satuan yang menunjukkan pengaruh geometri satelit terhadap kualitas penentuan posisi horizontal pada sistem GPS/GNSS. Nilai HDOP yang semakin kecil menunjukkan konfigurasi geometris satelit yang semakin baik dalam mendukung penentuan posisi. Secara matematis, HDOP dapat dinyatakan sebagai:

$$HDOP = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$$

dengan  $\sigma_x^2$  merupakan simpangan baku ternormalisasi pada arah timur–barat dan  $\sigma_y^2$  merupakan simpangan baku ternormalisasi pada arah utara–selatan. Pada penelitian ini, nilai HDOP tidak dihitung secara manual menggunakan persamaan tersebut, tetapi diperoleh secara langsung dari data keluaran modul GPS Neo-M8N pada saat pengujian. Pada salah satu pengujian di Rorotan diperoleh nilai HDOP sebesar 1,05 dengan sembilan satelit terhubung. Nilai HDOP tersebut menunjukkan kondisi geometri satelit yang baik dalam mendukung penentuan posisi horizontal. Namun, nilai HDOP tidak dapat diinterpretasikan secara langsung sebagai kesalahan posisi sebesar 1,05 meter karena HDOP merupakan parameter tanpa satuan.

#### 4.5. Hasil Pengujian SW-420

Sensor SW-420 diuji untuk mengetahui kemampuannya dalam mendeteksi getaran atau benturan pada *Smart Stick*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor dapat memberikan respons terhadap perubahan getaran yang terjadi pada perangkat. Nilai pembacaan sensor diproses oleh ESP32 untuk membedakan kondisi normal dan kondisi yang mengindikasikan adanya getaran atau benturan. Ketika kondisi tersebut terdeteksi, sistem mengaktifkan mekanisme peringatan kepada pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor SW-420 dapat berfungsi sebagai salah satu input dalam mendeteksi kondisi tidak normal pada *Smart Stick*.

#### 4.6. Integrasi Monitoring dan Notifikasi

Setelah pengujian unit, sistem diuji secara end-to-end. Data sensor dikirimkan melalui koneksi internet dan ditampilkan pada *dashboard* monitoring serta ThingSpeak. *Dashboard* menyediakan informasi data sensor, status bahaya, lokasi pengguna, notifikasi, dan histori sensor. Telegram digunakan untuk mengirimkan kondisi bahaya, informasi lokasi, dan sinyal SOS. Ketika koneksi internet tidak tersedia, fungsi lokal berupa buzzer dan motor getar tetap dapat digunakan sebagai peringatan kepada pengguna.

Integrasi ini memperluas fungsi *Smart Stick* dibandingkan tongkat konvensional. Penelitian terdahulu telah menunjukkan manfaat integrasi GPS dan Telegram [7], penggunaan sensor air dan IoT [13], serta sensor ultrasonik multiarah dengan umpan balik audio-haptik [3]. Kontribusi prototipe ini terletak pada

penggabungan deteksi rintangan, genangan, getaran, pelacakan lokasi, monitoring web, dan notifikasi dalam satu sistem.

#### 4.7. Perbandingan Fungsional

Untuk mengidentifikasi perbedaan kemampuan fungsional, dilakukan perbandingan antara tongkat konvensional dan *Smart Stick* yang dikembangkan berdasarkan fitur utama pada masing-masing perangkat, sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3 Perbandingan Fungsional Tongkat Konvensional dan *Smart Stick***

| Aspek                    | Tongkat Konvensional | <i>Smart Stick</i> yang Dikembangkan |
|--------------------------|----------------------|--------------------------------------|
| Deteksi rintangan        | Kontak fisik         | 3 sensor ultrasonik <i>real-time</i> |
| Deteksi genangan         | Tidak tersedia       | <i>Water Sensor</i>                  |
| Deteksi getaran/benturan | Tidak tersedia       | SW-420                               |
| Pelacakan lokasi         | Tidak tersedia       | GPS Neo-M8N                          |
| Monitoring jarak jauh    | Tidak tersedia       | <i>Dashboard web</i>                 |
| Notifikasi bahaya        | Tidak tersedia       | Telegram + <i>dashboard</i>          |
| Penyimpanan data         | Tidak tersedia       | Database + ThingSpeak                |
| IoT                      | Tidak tersedia       | ESP32 + koneksi internet             |

Perbandingan tersebut menunjukkan peningkatan fungsi dari tongkat sebagai alat bantu fisik menjadi perangkat monitoring yang mampu menghasilkan informasi sensorik dan komunikasi jarak jauh. Meski demikian, peningkatan fungsi tersebut tidak serta-merta membuktikan peningkatan keselamatan pengguna secara klinis atau pada kondisi lapangan yang luas. Validasi dengan pengguna tunanetra dalam skenario nyata masih diperlukan.

#### 5. Kesimpulan

1. Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan prototipe *Smart Stick* berbasis IoT dengan ESP32 dan integrasi tiga sensor ultrasonik, *Water Sensor*, SW-420, GPS Neo-M8N, *buzzer*, motor getar, dan tombol SOS. Sistem terhubung dengan ThingSpeak, *dashboard web*, dan Telegram untuk mendukung monitoring serta notifikasi.
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik menghasilkan MAE sebesar 0,46 cm pada skenario pengujian yang dilakukan, sedangkan *Water Sensor* memiliki tingkat keberhasilan deteksi sebesar 100%. Modul GPS berhasil memperoleh koordinat lokasi pada setiap pengujian, dengan nilai HDOP sebesar 1,05 dan sembilan satelit terhubung pada salah satu skenario pengujian. Nilai HDOP tersebut menunjukkan kondisi geometri satelit yang mendukung penentuan posisi horizontal, namun tidak secara langsung menunjukkan tingkat akurasi posisi dalam satuan jarak. Integrasi sensor dan aktuator memungkinkan sistem mendeteksi kondisi lingkungan serta memberikan peringatan melalui suara dan getaran sesuai kondisi yang terdeteksi.
3. Secara teknis, sistem telah memenuhi tujuan perancangan dan berfungsi sebagai prototipe instrumen pendukung mobilitas. Namun, penelitian ini masih terbatas pada pengujian fungsional dan lingkungan terbatas. Pengembangan selanjutnya perlu mencakup pengujian lapangan yang lebih luas, evaluasi kenyamanan pengguna, aspek keandalan sistem dan deteksi kondisi kompleks, optimasi konsumsi daya, serta integrasi teknologi pengenalan objek berbasis kecerdasan buatan.

#### Daftar Pustaka

- [1] G. I. Okolo, T. Althobaiti, and N. Ramzan, "Assistive Systems for Visually Impaired Persons: Challenges and Opportunities for Navigation Assistance," *Sensors*, vol. 24, no. 11, p. 3572, Jun. 2024, doi: 10.3390/s24113572.
- [2] H. Abuelmakarem, A. Abuelhaag, M. Raafat, and S. Ayman, "An Integrated IoT Smart Cane for the Blind and Visually Impaired Individuals," *SVU-International Journal of Engineering Sciences and Applications*, vol. 5, no. 1, pp. 71–78, Jun. 2024, doi: 10.21608/svusrc.2023.222096.1137.
- [3] M. D. Sinaga, A. F. Ibrahim, and N. S. B. Sembiring, "Smart Assistive Stick with Arduino and Multidirectional Ultrasonic Sensors for Intelligent Obstacle Detection and Navigation," *COGITO Smart Journal*, vol. 11, no. 2, pp. 311–322, Dec. 2025, doi: 10.31154/cogito.v11i2.886.311-322.
- [4] M. S. Farooq *et al.*, "IoT Enabled Intelligent Stick for Visually Impaired People for Obstacle Recognition," *Sensors*, vol. 22, no. 22, p. 8914, Nov. 2022, doi: 10.3390/s22228914.

- [5] I. Purwanto and M. T. Q. Ramadhani, "Teknologi Internet of Things untuk Meningkatkan Mobilitas Penyandang Tunanetra Tanpa Batasan Ruang dan Waktu," *Komputika: Jurnal Sistem Komputer*, vol. 14, no. 1, pp. 115–124, Apr. 2025, doi: 10.34010/7qg31590.
- [6] Joni Eka Candra, "Pengembangan Tingkat Cerdas Pemandu Tunanetra Menggunakan Arduino Berbasis Sensor Ultrasonik," *ijcs*, vol. 14, no. 2, Apr. 2025, doi: 10.33022/ijcs.v14i2.4157.
- [7] A. Syakuro, "Implementasi Tingkat Pintar Sebagai Alat Bantu Tunanetra Berbasis Telegram," *Jurnal Teknik Elektro.*, vol. 4, no. 1, pp. 36–43, Apr. 2024, doi: 10.51510/trekritel.v4i1.432.
- [8] T. Mungdee, P. Ramsiri, K. Khabuankla, P. Khambun, T. Nupim, and P. Chophuk, "Low-Cost Smart Cane for Visually Impaired People with Pathway Surface Detection and Distance Estimation Using Weighted Bounding Boxes and Depth Mapping," *Information*, vol. 16, no. 8, p. 707, Aug. 2025, doi: 10.3390/info16080707.
- [9] Latief Naufal Andryanto, Azmi Nur Shidiq Ridzwan, Rachel Disa Talitha Rachma, Acep Tio, Muhammad Syahrani Mawarid Taslim, and Nabil Muflih Wardana, "Perancangan Blind Stick Berbasis ESP32 dengan Sensor Ultrasonik untuk Membantu Mobilitas Penyandang Tunanetra," *Uranus*, vol. 2, no. 4, pp. 264–272, Dec. 2024, doi: 10.61132/uranus.v2i4.543.
- [10] C.-E. Panazan and E.-H. Dulf, "Intelligent Cane for Assisting the Visually Impaired," *Technologies*, vol. 12, no. 6, p. 75, May 2024, doi: 10.3390/technologies12060075.
- [11] S. K. Gharghan, H. S. Kamel, A. A. Marir, and L. A. Saleh, "Smart Stick Navigation System for Visually Impaired Based on Machine Learning Algorithms Using Sensors Data," *JSAN*, vol. 13, no. 4, p. 43, Aug. 2024, doi: 10.3390/jsan13040043.
- [12] S. N. Alamsyah *et al.*, "DISTANCE RANGE TEST OF SW-420 SENSOR-BASED VIBRATION DETECTION SYSTEM," *j. kumparan fis. j. teach. phys.*, vol. 6, no. 3, pp. 177–184, Dec. 2023, doi: 10.33369/jkf.6.3.177-184.
- [13] Z. Zakhir and H. Maulana, "Smart Blind Stick Design Using HC-SR04 Sensor and ESP 32 Based Water Level Sensor to Improve the Mobility of Blind Persons," *Tsabit j. of Computer Science*, vol. 1, no. 2, pp. 60–67, Jan. 2025, doi: 10.56211/tsabit32.