ECHONAV: TONGKAT PINTAR BAGI PENYANDANG TUNANETRA TOTAL UNTUK NAVIGASI LUAR RUANGAN PADA RUTE TULT-GKU DI TELKOM UNIVERSITY

Anggraeni Rahmadani
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
anggraenirahmadani@student.telkomuniversity.ac.id

Nazwa Nabila Putri
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
nazwanabilanazwa@student.telkomuniversity.ac.id

Dwi Murti Nawir
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
dwimurtin@student.telkomuniversity. ac.id

Dharu Arseno
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom Bandung,
Indonesia
darseno@telkomuniversity.ac.id

Nyoman Bogi Aditya Karna
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom Bandung,
Indonesia
aditya@telkomuniversity.ac.id

***Abstrak* — Mobilitas penyandang tunanetra di lingkungan kampus masih menghadapi berbagai tantangan, seperti keterbatasan informasi arah, risiko menabrak rintangan, serta kesulitan dalam mengenali jalur yang aman untuk dilalui. Fasilitas pendukung yang tersedia umumnya belum mampu memberikan bantuan navigasi yang adaptif dan *real-time*. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan EchoNav, yaitu *Smart Stick* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dirancang untuk membantu penyandang tunanetra bernavigasi secara mandiri di area Telkom University. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor ultrasonik untuk mendeteksi rintangan, lubang, tangga, dan genangan air, sensor warna TCS34725 untuk mengenali jalur taktil berwarna kuning, serta modul GPS NEO-7M untuk memperoleh informasi lokasi pengguna. Informasi kondisi lingkungan disampaikan melalui motor getar, buzzer, dan modul audio DFPlayer Mini sebagai umpan balik *secara real-time*. Selain itu, sistem terhubung dengan server dan *dashboard monitoring* berbasis web yang dikembangkan menggunakan PHP, MySQL, HTML, CSS, JavaScript, serta *Google Maps* untuk memantau lokasi pengguna secara daring. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi rintangan dan memberikan peringatan kepada pengguna secara efektif, serta mengirimkan data lokasi ke server untuk ditampilkan pada *dashboard monitoring* secara *real-time*. Dengan demikian, EchoNav dapat meningkatkan kemandirian, keselamatan, dan efisiensi mobilitas penyandang tunanetra serta mendukung penerapan teknologi IoT pada sistem navigasi asistif.**

Keywords: Blind People, internet of things, smart stick, ESP32, ultrasonic sensor, GPS, navigation system, real-time monitoring.

I. PENDAHULUAN

Penyandang tunanetra merupakan kelompok disabilitas yang menghadapi berbagai tantangan dalam melakukan mobilitas dan navigasi secara mandiri, terutama pada lingkungan yang luas dan memiliki tata letak yang kompleks seperti kawasan kampus. Di lingkungan Universitas Telkom, keterbatasan informasi arah dan penanda yang dapat diakses oleh penyandang tunanetra masih menjadi kendala dalam proses perpindahan lokasi secara mandiri. Meskipun telah tersedia fasilitas pendukung seperti jalur akses disabilitas dan tombol berbasis braille, fasilitas tersebut belum sepenuhnya mampu memberikan solusi navigasi yang efektif dan aman [1]. Kondisi tersebut meningkatkan risiko keselamatan pengguna, seperti tersesat, menabrak rintangan, maupun kesulitan dalam mengenali jalur yang tepat menuju lokasi tujuan.

Seiring perkembangan teknologi, berbagai sistem bantu navigasi untuk penyandang tunanetra telah dikembangkan dengan memanfaatkan sensor, perangkat *wearable*, serta teknologi berbasis *Internet of Things* (IoT). Beberapa penelitian mengembangkan *smart cane* yang memanfaatkan sensor ultrasonik untuk mendeteksi rintangan di sekitar pengguna, sedangkan penelitian lainnya mengintegrasikan teknologi GPS untuk membantu pelacakan lokasi secara *real-time*. Selain itu, teknologi yang lebih canggih seperti LiDAR dan *computer vision* juga telah digunakan untuk meningkatkan kemampuan identifikasi lingkungan. Namun, solusi-solusi tersebut masih memiliki keterbatasan dalam aspek biaya implementasi, kompleksitas sistem, konsumsi daya, serta kemudahan penggunaan bagi penyandang tunanetra [2].

Permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem navigasi yang mampu membantu penyandang tunanetra bergerak secara mandiri, aman, dan responsif di lingkungan kampus. Kompleksitas permasalahan meliputi kemampuan sistem dalam mendeteksi rintangan, lubang, tangga, genangan air, dan jalur pemandu yang berada di sekitar pengguna, serta kemampuan menyediakan informasi lokasi secara *real-time* yang dapat dipantau oleh pendamping atau keluarga. Selain itu, sistem juga harus mampu memberikan umpan balik yang mudah dipahami pengguna tanpa mengganggu aktivitas navigasi yang sedang dilakukan.

Saat ini, solusi yang tersedia umumnya hanya berfokus pada satu fungsi tertentu, seperti deteksi rintangan atau pelacakan lokasi. Beberapa sistem navigasi memerlukan perangkat tambahan dengan biaya yang relatif tinggi, sedangkan sistem lainnya belum mengintegrasikan

kemampuan *monitoring* lokasi secara daring. Akibatnya, kebutuhan akan sistem yang mampu menggabungkan fungsi deteksi lingkungan, navigasi, dan *monitoring* dalam satu perangkat yang terintegrasi masih belum sepenuhnya terpenuhi.

Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan EchoNav, yaitu *Smart Stick* berbasis IoT yang memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali sistem. Perangkat ini mengintegrasikan sensor ultrasonik untuk mendeteksi rintangan, lubang, tangga, dan genangan air, sensor warna TCS34725 untuk mengenali jalur taktil berwarna kuning, serta modul GPS untuk memperoleh informasi lokasi pengguna secara *real-time*. Sistem juga dilengkapi dengan aktuator berupa motor getar, buzzer, dan modul audio sebagai media pemberian peringatan kepada pengguna. Selain itu, data lokasi dikirimkan ke server dan ditampilkan melalui *dashboard monitoring* berbasis web yang terintegrasi dengan *Google Maps*. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan diharapkan mampu meningkatkan kemandirian, keselamatan, dan efisiensi mobilitas penyandang tunanetra di lingkungan Universitas Telkom.

II. KAJIAN TEORI

Kajian teori ini membahas konsep dan komponen yang mendasari pengembangan sistem EchoNav berbasis *Internet of Things* (IoT), meliputi teknologi IoT, sensor, mikrokontroler, sistem navigasi berbasis GPS, aktuator, serta teknologi *monitoring* berbasis web yang digunakan dalam sistem.

A. ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler berbasis sistem *on-chip* (SoC) yang digunakan sebagai pusat kendali dalam sistem IoT. Dengan kemampuan ini, ESP32 berfungsi sebagai penghubung antara perangkat fisik (sensor dan aktuator) dengan sistem pemantauan berbasis jaringan [3]. Pada sistem, ESP32 berperan sebagai unit utama yang mengintegrasikan seluruh pembacaan sensor, seperti sensor ultrasonik, sensor warna, sensor genangan air, serta modul GPS, kemudian mengolah data tersebut dan mengirimkannya ke *server* melalui koneksi Wi-Fi.

B. Sensor pada Sistem EchoNav

Sensor merupakan komponen utama yang berfungsi mengubah besaran fisik menjadi data yang dapat diproses oleh mikrokontroler. Pada sistem EchoNav, sensor digunakan untuk memperoleh informasi kondisi lingkungan secara *real-time* sehingga sistem dapat memberikan peringatan yang sesuai kepada pengguna.

I. *Sensor Ultrasonik HC-SR04*

Sensor ultrasonik memancarkan gelombang ultrasonik melalui *transmitter*, kemudian gelombang tersebut akan dipantulkan kembali oleh objek di depannya dan diterima oleh *receiver*. Selisih waktu antara pengiriman dan penerimaan gelombang (*time of flight*) digunakan untuk menentukan jarak objek secara akurat [4]. Pada sistem EchoNav, sensor ini digunakan sebagai komponen utama yang mendeteksi halangan dan rintangan di depan pengguna.

II. *Sensor Warna TCS34725*

Sensor warna merupakan perangkat yang digunakan untuk mendeteksi karakteristik warna suatu objek berdasarkan intensitas komponen cahaya RGB (Red, Green, Blue) yang dipantulkan oleh permukaan objek [5]. Pada sistem ini, sensor warna dimanfaatkan sebagai elemen pendeteksi jalur atau *marker* berwarna kuning yang berfungsi sebagai panduan navigasi pengguna saat bergerak.

III. *Sensor Air/Hujan*

Sensor genangan air merupakan komponen yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan air atau permukaan basah di sekitar jalur pengguna. Prinsip kerja sensor ini didasarkan pada perubahan sifat konduktivitas listrik pada permukaan sensor ketika terjadi kontak dengan air [6]. Sensor ini berfungsi sebagai sistem peringatan dini untuk mengurangi risiko terpeleset atau masuk ke area yang memiliki genangan air, terutama pada lingkungan luar ruangan.

IV. *GPS NEO 7M Module*

GPS Module NEO-7M merupakan perangkat navigasi berbasis satelit yang digunakan untuk memperoleh informasi koordinat lokasi pengguna secara *real-time*. Modul ini mampu memberikan tingkat akurasi sekitar 2–3 meter pada kondisi outdoor yang memiliki penerimaan sinyal satelit yang optimal [7]. Dalam sistem ini, GPS berfungsi sebagai komponen utama untuk menentukan posisi geografis pengguna sehingga dapat digunakan untuk pemetaan lokasi maupun pelacakan pergerakan

C. Komponen Aktuator pada Sistem EchoNav

Aktuator merupakan perangkat keluaran yang berfungsi menyampaikan informasi hasil pemrosesan sistem kepada pengguna, Pada EchoNav digunakan beberapa aktuator, yaitu buzzer, motor getar, DFPlayer Mini, dan speaker.

I. *DFPlayer Mini*

DFPlayer Mini merupakan modul pemutar audio digital berbasis MP3 yang digunakan untuk menghasilkan keluaran suara dalam sistem *embedded*. Modul ini mampu memutar file audio yang tersimpan pada *microSD card* dalam format MP3 atau WAV dan dikendalikan secara langsung oleh mikrokontroler seperti ESP32 melalui komunikasi serial UART [8]. Komponen ini digunakan sebagai sumber utama keluaran suara yang terhubung dengan *amplifier* untuk memperkuat sinyal audio lalu dikeluarkan melalui *speaker*.

II. *Buzzer*

Buzzer adalah komponen elektronik yang digunakan untuk menghasilkan suara atau bip. Ini adalah perangkat *output* yang mengubah sinyal listrik menjadi suara [9]. Komponen ini digunakan untuk memberikan *feedback* tambahan selain audio bagi sensor ultrasonik

III. *Motor Getar*

Motor getar merupakan komponen aktuator yang berfungsi untuk menghasilkan umpan balik berupa getaran sebagai bentuk peringatan kepada pengguna [10]. Dalam sistem ini, motor getar digunakan sebagai indikator non-audio yang memberikan informasi ketika sistem mendeteksi kondisi tertentu, seperti adanya jalur yang benar atau kondisi lingkungan yang telah diprogram pada sensor.

D. Software Sistem

Sistem perangkat lunak merupakan bagian yang berperan dalam pengelolaan, penyimpanan, pertukaran, dan penyajian data pada EchoNav. Perangkat lunak memungkinkan data yang diperoleh dari sensor dan modul GPS diproses, dikirim ke server, serta ditampilkan kepada pengguna melalui antarmuka *monitoring* berbasis web secara *real-time*. Pada sistem EchoNav, perangkat lunak terdiri dari *website monitoring* sebagai media visualisasi

data dan JSON sebagai format pertukaran data antara perangkat dan server.

I. *Sistem Backend*

Sistem *backend* merupakan bagian dari perangkat lunak yang bertugas mengelola pertukaran data antara perangkat IoT, basis data, dan antarmuka pengguna. *Backend* bekerja pada sisi *server* (*server-side*) dan berfungsi untuk menerima, memproses, menyimpan, serta menyediakan data yang dibutuhkan oleh pengguna melalui halaman *website*. Pada sistem EchoNav, *backend* bertugas sebagai penghubung antara perangkat ESP32, *database* MySQL, dan *dashboard monitoring* sehingga proses penerimaan, penyimpanan, pengambilan, serta penyajian data dapat dilakukan secara terintegrasi.

II. *Antarmuka Web (Frontend)*

Antarmuka web merupakan media yang digunakan untuk menampilkan informasi hasil *monitoring* kepada pengguna atau pemantau. Antarmuka tersebut dikembangkan menggunakan kombinasi HTML, CSS, JavaScript, dan PHP sehingga mampu membentuk halaman *Website* yang responsif dan mudah diakses melalui berbagai perangkat seperti *smartphone*, tablet, maupun komputer.

III. *JSON (JavaScript Object Notation)*

Merupakan format pertukaran data yang ringan dan mudah dibaca oleh manusia maupun diproses oleh komputer. JSON digunakan secara luas dalam komunikasi antara aplikasi, *server*, dan perangkat IoT karena memiliki struktur yang sederhana serta mendukung berbagai bahasa pemrograman.

IV. *Application Programming Interface (API)*

Merupakan sekumpulan aturan dan layanan yang memungkinkan dua sistem atau lebih saling berkomunikasi dan bertukar data. API berfungsi sebagai perantara antara *client* dan server sehingga proses pengiriman maupun pengambilan data dapat dilakukan secara terstruktur.

V. *Google Maps API*

Merupakan layanan yang disediakan oleh *Google* untuk mengintegrasikan peta digital ke dalam aplikasi berbasis web maupun perangkat bergerak. *Google Maps* API memungkinkan pengembang untuk menampilkan peta, *marker* lokasi, serta berbagai informasi geografis lainnya berdasarkan koordinat *latitude* dan *longitude*. Pada sistem EchoNav, *Google Maps* API digunakan untuk menampilkan posisi pengguna tongkat berdasarkan data koordinat yang diperoleh dari modul GPS NEO-7M.

VI. *HTTP*

Merupakan protokol komunikasi pada lapisan aplikasi (*Application Layer*) yang digunakan untuk melakukan pertukaran data antara *client* dan server melalui jaringan internet. Pada sistem EchoNav, protokol HTTP digunakan sebagai media komunikasi antara ESP32, server *backend*, dan *dashboard monitoring*.

VII. *Dashboard Monitoring*

Merupakan antarmuka berbasis web yang digunakan untuk menampilkan informasi hasil pemantauan suatu sistem secara visual dan terstruktur. *Dashboard* berfungsi sebagai media bagi pengguna untuk memantau kondisi sistem berdasarkan data yang diterima dari server secara berkala. Informasi yang ditampilkan dapat berupa teks, indikator status, grafik, maupun peta digital sesuai dengan kebutuhan aplikasi.

VIII. *Hosting dan Domain*

Hosting merupakan layanan yang menyediakan sumber daya *server* untuk menjalankan *website*, aplikasi, maupun basis data sehingga dapat diakses melalui jaringan internet, kegunaan *hosting* yaitu seluruh proses pengolahan dan penyimpanan data dapat dilakukan secara terpusat tanpa memerlukan *server* lokal. Domain berfungsi untuk mengubah alamat IP *server* menjadi nama yang lebih mudah diingat oleh pengguna.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode perancangan dan implementasi sistem Smart Stick berbasis Internet of Things (IoT). Tahapan penelitian meliputi perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian untuk memastikan seluruh fitur bekerja sesuai dengan tujuan penelitian.

A. Perancangan Sistem

I. Desain Alat

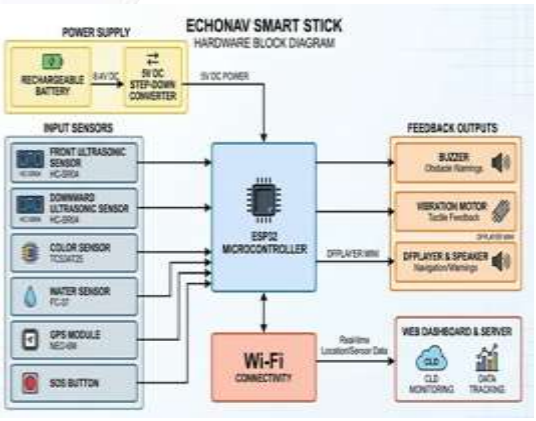
Gambar 1 menunjukkan desain EchoNav yang mengintegrasikan seluruh komponen pada sebuah tongkat pintar. Sistem dirancang untuk mendeteksi kondisi lingkungan dan memberikan peringatan kepada pengguna melalui audio, getaran, dan buzzer.



Gambar 3. 1 Desain Alat

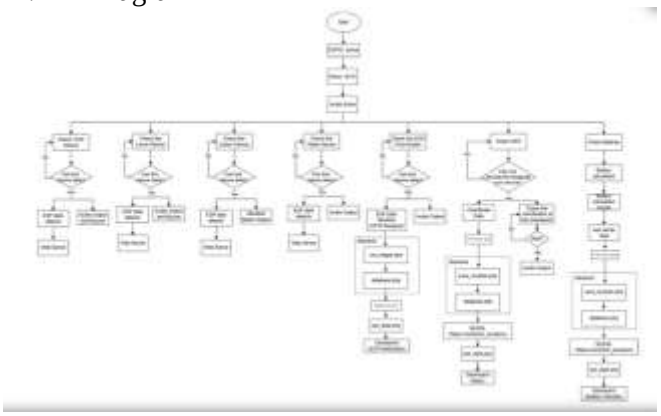
II. Diagram Blok

Perancangan sistem dilakukan untuk menggambarkan hubungan antar komponen pada Smart Stick yang dikembangkan. Sistem dirancang menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali yang mengintegrasikan seluruh sensor, modul keluaran, dan sistem monitoring sehingga setiap komponen dapat bekerja secara terkoordinasi.



Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem.

B. Diagram Alir



Gambar 3. 3 Diagram Alir

Gambar 3 menunjukkan diagram alir sistem EchoNav. Sistem diawali dengan pembacaan data dari sensor ultrasonik, sensor warna, sensor air, GPS, dan tombol SOS. Data yang diperoleh diproses oleh ESP32 untuk menentukan kondisi lingkungan, kemudian menghasilkan keluaran berupa buzzer, motor getar, dan audio. Selain itu, data lokasi dan status sistem dikirim ke web server melalui koneksi Wi-Fi untuk mendukung monitoring secara real-time.

C. Komponen Sistem

I. Mikrokontroller ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler yang memiliki kemampuan pemrosesan data, komunikasi nirkabel Wi-Fi, serta konsumsi daya yang relatif rendah. Dalam sistem ini, ESP32 berfungsi sebagai pengendali utama yang memproses data sensor dan mengatur pergerakan aktuator berdasarkan logika pengendalian yang telah ditentukan. Gambar 5 menampilkan Mikrokontroler ESP32 dan Tabel 1 menyajikan spesifikasi utama dari Mikrokontroler ESP32 [3].



Gambar 3. 4 Mikrokontroler ESP32

Tabel 3. 1 Spesifikasi Mikrokontroler ESP32D

Parameter	Nilai
Mikrokontroler	ESP32D
Tegangan Operasi	3.3V
Konektivitas	Wi-fi, Bluetooth
Frekuensi CPU	Hingga 240 MHz
GPIO	34 Pin
Fungsi	Pusat kendali Smart Stick

II. Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk mengukur jarak objek menggunakan gelombang ultrasonik [11]. Pada sistem EchoNav, sensor ini berfungsi mendeteksi rintangan di depan serta lubang atau perubahan permukaan untuk memberikan peringatan kepada pengguna.



Gambar 3. 5 Sensor Ultrasonik HC-SR04

Tabel 3. 2 Spesifikasi Sensor Ultrasonik HC-SR04

Parameter	Nilai
Tipe	HC-SR04
Tegangan Operasi	5V
Jarak Deteksi	2 – 400 cm
Frekuensi Ultrasonik	40 KHz
Akurasi	±3 mm
Fungsi	Mendeteksi rintangan dan perubahan permukaan tanah

III. Sensor Warna TCS34725

Sensor warna TCS34725 digunakan untuk mendeteksi warna kuning pada jalur pemandu [5]. Data hasil pembacaan diproses oleh ESP32 untuk mengaktifkan motor getar sebagai peringatan kepada pengguna ketika jalur kuning terdeteksi.



Gambar 3. 6 Sensor Warna

Tabel 3. 3 Spesifikasi Sensor Warna

Parameter	Nilai
Tipe Sensor	TCS34725
Tegangan Operasi	3.3 – 5V
Antarmuka	I^2C
Warna yang dideteksi	RGB dan Clear
Fungsi	Mendeteksi jalur warna kuning

IV. Sensor Air

Sensor air digunakan untuk mendeteksi keberadaan genangan air pada permukaan jalan [12]. Data hasil pembacaan diproses oleh ESP32 untuk memberikan peringatan suara kepada pengguna sehingga dapat menghindari area yang tergenang.



Gambar 3. 7 Sensor Air

Tabel 3. 4 Spesifikasi Sensor Air

Parameter	Nilai
Tipe	Water Sensor
Tegangan Operasi	3.3 – 5V
Jenis Keluaran	Analog dan Digital
Metode Deteksi	Konduktivitas Air

Fungsi	Mendeteksi genangan air

V. Modul GPS NEO-7M

Modul GPS NEO-7M digunakan untuk memperoleh koordinat lokasi pengguna berupa nilai latitude dan longitude [13]. Data lokasi diproses oleh ESP32 dan dikirim ke web monitoring untuk mendukung pelacakan posisi pengguna secara real-time.



Gambar 3. 8 Modul GPS NEO-7M

Tabel 3. 5 Spesifikasi Modul GPS NEO-7M

Parameter	Nilai
Tipe	NEO-7M GPS
Tegangan Operasi	3.3 – 5V
Antarmuka	UART (Serial)
Data Keluaran	Latitude dan Longitude
Fungsi	Menentukan lokasi pengguna

VI. Dfplayer Mini

DFPlayer Mini digunakan sebagai modul pemutar audio pada sistem EchoNav. DFPlayer Mini menerima perintah dari ESP32 untuk memutar audio peringatan sesuai kondisi yang dideteksi sensor, seperti rintangan, genangan air, atau tombol SOS [8].



Gambar 3. 9 DFPlayer Mini

Tabel 3. 6 Spesifikasi DFPlayer Mini

Parameter	Nilai
Tipe	DFPlayer Mini
Tegangan Operasi	3.3 – 5V
Media Penyimpanan	microSD card
Format Audio	MP3, WAV
Fungsi	Memutar audio peringatan

VII. Amplifier

Amplifier PAM8403 digunakan untuk memperkuat sinyal audio yang dihasilkan oleh DFPlayer Mini sebelum diteruskan ke speaker [14]. Dengan demikian, suara peringatan dapat terdengar lebih jelas oleh pengguna.



Gambar 3. 10 Amplifier

Tabel 3. 7 Spesifikasi Amplifier

Parameter	Nilai
Tipe	PAM8403
Tegangan Operasi	2.5 – 5V
Daya Keluaran	2 x 3 W
Jumlah Keluaran	2 Channel (Stereo)
Fungsi	Memperkuat sinyal audio

VIII. Motor Getar

Motor getar digunakan sebagai media keluaran berupa getaran pada sistem EchoNav. Motor akan aktif ketika sensor warna mendeteksi jalur kuning, sehingga memberikan umpan balik kepada pengguna sebagai penanda jalur pemandu.



Gambar 3. 11 Motor Getar

Tabel 3. 8 Spesifikasi Motor Getar

Parameter	Nilai
Tipe	Coin vibration Motor
Tegangan Operasi	3 – 5V
Arus Operasi	≤ 100 mA
Jenis Getaran	DC Vibration
Fungsi	Menghasilkan getaran sebagai umpan balik kepada pengguna.

IX. Buzzer

Buzzer digunakan sebagai media keluaran suara pada sistem EchoNav. Buzzer akan aktif ketika sistem mendeteksi kondisi tertentu, seperti adanya rintangan atau perubahan permukaan, sehingga memberikan peringatan awal kepada pengguna.



Gambar 3. 12 Buzzer

Tabel 3. 9 Spesifikasi Buzzer

Parameter	Nilai
Tipe	Active Buzzer
Tegangan Operasi	3 – 5V
Frekuensi	±2–4 kHz
Jenis Keluaran	Suara
Fungsi	Memberikan peringatan suara sebagai umpan balik kepada pengguna.

X. Tombol SOS

Tombol SOS digunakan sebagai fitur darurat pada sistem EchoNav. Ketika tombol ditekan, ESP32 akan memproses perintah untuk mengaktifkan audio SOS dan mengirimkan informasi darurat beserta lokasi pengguna ke web monitoring.



Gambar 3. 13 Tombol SOS

Tabel 3. 10 Spesifikasi Tombol SOS

Parameter	Nilai
Tipe	Push Button
Tegangan Operasi	3.3V
Jenis Kontak	Normally Open (NO)
Jumlah pin	2 Pin
Fungsi	Mengaktifkan fitur darurat

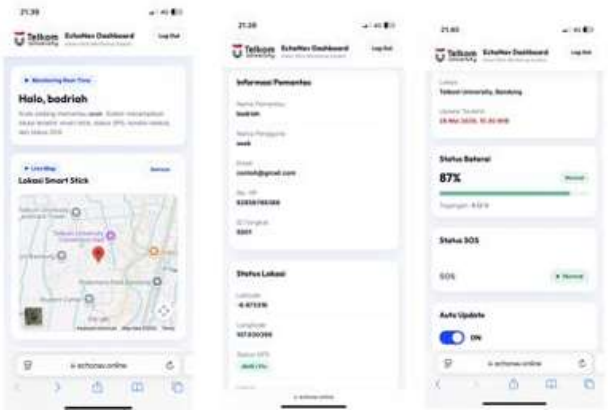
D. Implementasi Perangkat Lunak

I. Firmware ESP32

Firmware pada EchoNav dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali sistem. Program bertugas membaca data dari sensor ultrasonik, sensor warna, sensor air, modul GPS, serta tombol SOS. Selanjutnya, ESP32 memproses data tersebut untuk mengendalikan buzzer, motor getar, dan DFPlayer Mini, serta mengirimkan data ke server melalui koneksi Wi-Fi.

II. Website Monitoring

Dashboard monitoring dikembangkan menggunakan HTML, CSS, JavaScript, dan PHP yang terintegrasi dengan database MySQL. Dashboard monitoring berfungsi menampilkan informasi hasil pemantauan sistem secara real-time, meliputi lokasi pengguna, koordinat GPS, kondisi baterai, dan status tombol SOS. Data yang ditampilkan diperoleh dari database dan diperbarui secara otomatis menggunakan JavaScript sehingga pengguna tidak perlu melakukan penyegaran halaman secara manual.



Gambar 3. 14 Dashboard Monitoring

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor Ultrasonik Depan

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik Depan

No	Objek	Jarak (cm)	Sensor Mendeteksi, *Output Buzzer* dan Audio (Ya/Tidak)	Akurasi (%)
1	Tembok	<200	Ya	100% Nyala 100% Berhasil
		200	Tidak	0% Nyala 100% Berhasil
		>200	Tidak	0% Nyala 100% Berhasil
2	Tiang	<200	Ya	100% Nyala 100% Berhasil
		200	Tidak	0% Nyala 100% Berhasil
		>200	Tidak	0% Nyala 100% Berhasil
3	Manusia	<200	YA	100% Nyala 100% Berhasil
		200	Tidak	0% Nyala
				100% Berhasil
		>200	Tidak	0% Nyala 100% Berhasil
4	Pohon	<200	Ya	100% Nyala 100% Berhasi
		200	Tidak	0% Nyala 100% Berhasil
		>200	Tidak	0% Nyala 100% Berhasil
5	Tembok Rendah	<200	Ya	100% Nyala 100% Berhasi
		200	Tidak	0% Nyala 100% Berhasil
		>200	Tidak	0% Nyala 100% Berhasil

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik HC-SR04 bagian depan mampu mendeteksi objek dengan tingkat keberhasilan 100% pada jarak kurang dari 200 cm. Pada jarak 200 cm kemampuan deteksi mulai menurun, sedangkan pada jarak lebih dari 200 cm sensor tidak lagi mendeteksi objek secara konsisten. Dengan demikian, sensor memiliki jarak kerja efektif kurang dari 200 cm dan dapat digunakan sebagai pendeteksi rintangan pada sistem EchoNav.

B. Pengujian Sensor Ultrasonik Bawah

Tabel 4. 2 Hasil pengujian Sensor Ultrasonik Bawah

No	Objek	Jarak (cm)	Sensor Mendeteksi, *Output* Audio (Ya/Tidak)	Akurasi (%)
1	Tangga	<20	Ya	100% Nyala 100% Berhasil
		20	Ya	100% Nyala 100% Berhasil
		>20	Ya	100% Nyala 100% Berhasil
2	Lubang	>20	Ya	100% Nyala 100% Berhasil
		20	Ya	100% Nyala 100% Berhasil
		<20	Ya	100% Nyala 100% Berhasil
3	Lubang Genangan	>20	Tidak	0% Nyala 0% Berhasil
		20	Tidak	0% Nyala 0% Berhasil
		<20	Tidak	0% Nyala 0% Berhasil

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik bagian bawah mampu mendeteksi tangga dan lubang dengan tingkat keberhasilan 100% pada seluruh variasi jarak pengujian. Sensor juga berhasil mengaktifkan peringatan audio ketika mendeteksi perubahan elevasi permukaan. Namun, sensor tidak dapat mendeteksi lubang yang tertutup genangan air karena gelombang ultrasonik dipantulkan oleh permukaan air. Dengan demikian, sensor bekerja dengan baik untuk mendeteksi tangga dan lubang, tetapi memiliki keterbatasan pada kondisi lubang yang tergenang air.

C. Pengujian Sensor Warna

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Sensor Warna

No	Objek	Sensor Mendeteksi, *Output* Audio (Ya/Tidak)	Jarak Deteksi	Akurasi Kesesuain Respon (%)
1	*Indoor*	Ya	≥ 5 cm	100%
2	*Outdoor*	Ya	≤ 5 cm	100%

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor warna TCS34725 mampu mendeteksi warna kuning sesuai nilai kalibrasi yang telah ditentukan. Ketika warna kuning terdeteksi, ESP32 berhasil mengaktifkan motor getar sebagai umpan balik kepada pengguna, sedangkan pada warna selain kuning motor getar tetap tidak aktif. Hal ini menunjukkan bahwa sensor warna bekerja dengan baik sebagai pendukung navigasi untuk mengenali jalur pemandu berwarna kuning.

D. Pengujian Sensor Air

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Sensor Air

No	Objek	Sensor Mendeteksi, *Output* Audio (Ya/Tidak)	Akurasi (%)
1	Basah	Tidak	100%
2	Percikan	Tidak	100%
3	Genangan	Ya	100%

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor air mampu mendeteksi genangan air dan mengaktifkan peringatan audio sesuai dengan perancangan sistem. Namun, sensor tidak mendeteksi percikan air maupun permukaan yang hanya basah karena jumlah air yang mengenai permukaan sensor belum memenuhi ambang deteksi. Dengan demikian, sensor bekerja secara optimal pada kondisi genangan air sehingga dapat memberikan informasi kepada pengguna saat melewati area yang tergenang.

E. Pengujian GPS

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Modul GPS NEO-7M

No	Objek	Koordinat Valid	GPS Terbaca (Ya/Tidak)	Akurasi (%)
1	Dalam Ruangan	Tidak	Ya	0%
2	Luar Ruangan	Ya	Ya	100%
3	Malam	Ya	Ya	100%

Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul GPS NEO-7M mampu bekerja dengan baik pada area terbuka, baik pada siang maupun malam hari, dengan akurasi pembacaan koordinat mencapai 100%. Sebaliknya, pada kondisi dalam ruangan modul GPS tidak mampu memperoleh koordinat yang valid karena sinyal satelit terhalang oleh bangunan. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja GPS sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan lebih optimal digunakan pada area luar ruangan.

F. Pengujian Buzzer

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Buzzer

No	Komponen Output	Kondisi Output	Respon yang Diharrapkan	Kesesuaian Respon (%)
1	Buzzer	Sensor depan mendeteksi ritangan.	Bunyi pendekpendek	100%
2	Buzzer	Sensor bawah mendeteksi permukaan tanah tidak rata	Bunyi panjangpanjang	100%

Hasil pengujian menunjukkan bahwa buzzer dapat berfungsi dengan baik sebagai media peringatan pada sistem EchoNav. Buzzer berhasil aktif ketika sensor mendeteksi kondisi yang telah ditentukan dan tidak aktif saat tidak terdapat kondisi pemicu. Hal ini menunjukkan bahwa buzzer mampu memberikan notifikasi suara sesuai dengan logika sistem yang dirancang.

G. Pengujian Motor Getar

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Motor Getar

No	Komponen Output	Kondisi Output	Respon yang Diharrapkan	Kesesuaian Respon (%)
1	Motor Getar	Sensor warna mendeteksi kuning	Motor getar aktif	100%
2	Motor Getar	Sensor warna tidak mendeteksi kuning	Motor getar mati	100%

Hasil pengujian menunjukkan bahwa motor getar memberikan respons sesuai dengan hasil deteksi sensor warna. Motor getar aktif ketika sensor mendeteksi warna kuning dan tetap tidak aktif saat warna kuning tidak terdeteksi. Hal ini menunjukkan bahwa motor getar berfungsi dengan baik sebagai umpan balik haptik untuk membantu pengguna mengenali jalur pemandu.

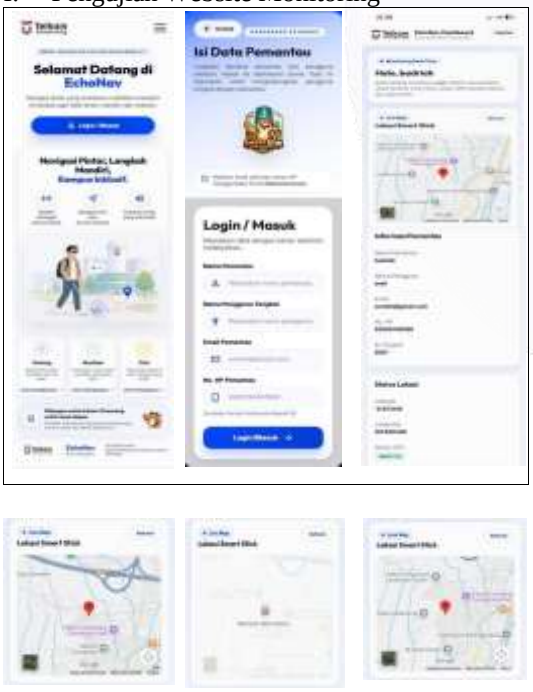
H. Pengujian Baterai

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Baterai

No	Durasi Pemakaian (Jam)	Lama Pengisian (jam)
1	4-7 jam	2 Jam 8 Menit

Hasil pengujian menunjukkan bahwa baterai memiliki durasi pemakaian 4–7 jam dengan waktu pengisian sekitar 2 jam 8 menit. Perbedaan durasi pemakaian dipengaruhi oleh intensitas penggunaan komponen selama perangkat beroperasi. Hasil ini menunjukkan bahwa baterai mampu mendukung operasional EchoNav dengan waktu penggunaan yang cukup untuk aktivitas luar ruangan.

I. Pengujian Website Monitoring



Gambar 4. 1 Hasil Pengujian Website Monitoring

Hasil pengujian menunjukkan bahwa website monitoring berhasil menerima dan menampilkan data yang dikirimkan oleh ESP32 secara real-time. Informasi yang ditampilkan meliputi koordinat GPS, lokasi pengguna pada Google Maps, kondisi baterai, dan status tombol SOS sesuai dengan data yang diterima dari sistem. Hal ini menunjukkan bahwa komunikasi antara ESP32, server, database, dan dashboard monitoring telah berjalan dengan baik sehingga proses pemantauan pengguna dapat dilakukan secara efektif.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem EchoNav berhasil dikembangkan sebagai tongkat pintar berbasis Internet of Things (IoT) untuk membantu navigasi penyandang tunanetra total pada area luar ruangan di Telkom University. Sistem yang terdiri atas mikrokontroler ESP32, sensor ultrasonik, sensor warna TCS34725, sensor air, modul GPS NEO-7M, buzzer, motor getar, dan DFPlayer Mini mampu bekerja sesuai dengan fungsi yang telah dirancang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik efektif mendeteksi rintangan, lubang, dan tangga, sensor warna mampu mengenali jalur pemandu berwarna kuning, sensor air mendeteksi genangan air, serta modul GPS mampu memberikan informasi lokasi secara optimal pada area luar ruangan. Selain itu, website monitoring berhasil menampilkan data lokasi, kondisi baterai, dan status tombol SOS secara real-time**.** Dengan demikian, EchoNav mampu meningkatkan aspek keselamatan, kemandirian, dan kemudahan mobilitas penyandang tunanetra total dalam melakukan navigasi di lingkungan kampus.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem EchoNav masih dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya. Pengembangan dapat dilakukan dengan meningkatkan akurasi GPS pada area yang memiliki banyak penghalang, menambahkan metode deteksi untuk membedakan genangan air dan lubang yang tertutup air, serta mengembangkan aplikasi monitoring berbasis perangkat bergerak agar proses pemantauan lokasi pengguna menjadi lebih mudah dan fleksibel.

DAFTAR PUSTAKA

[1] B.-A. J. M. a. H. M. Mohamed Dhiaeddine Messaoudi, "Review of Navigation Assistive Tools and Technologies for the," 2022.

[2] S. D. A. Moh. Alfian, "Smart Stick Revolutionizes Mobility for the Visually Impaired: Tongkat Pintar Merevolusi Mobilitas bagi Tunanetra," *Indonesian Journal of Innovation Studies*, vol. 25, 2024.

[3] v. A. T. B. M. F. N. C. H. Rezi Delfianti, "Internet of Things (IoT) based Electrical Power Monitoring System for Solar Power Plants using the Telegram Application," *Vokasi Unesa Bulletin of Engineering, Technology and Applied Science (VUBETA)*, 2025.

[4] P. R. K. K. P. K. T. N. Teepakorn Mungdee, "Low-Cost Smart Cane for Visually Impaired People with Pathway Surface Detection and Distance Estimation Using," 2025.

[5] A. V. W. ,. H. J. S. Ta'ali, "Pembacaan RGB Warna Terhadap Lima Warna yang Berbeda pada Sensor TCS34725," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 2023.

[6] A. Onay, Y. Akın, A. Kafalı and E. Çıracı, "Real Time Air and Water Quality Monitoring based on Distributed Sensor Network," *IEEE*, 2021.

[7] A. T. R. Y. K. W. a. W. Z. Chenwang Yuan, "Tactile and Thermal Sensors Built from Carbon–Polymer Nanocomposites—A Critical Review," 2021.

[8] S. M. M. A. F. a. A. F. S. Ayat Nada, "Effective Fast Response Smart Stick for Blind People," 2015.

[9] J. T. E. U. H. Oleo, "Buzzer," Virtual Lab IoT, [Online]. Available: https://te.eng.uho.ac.id/virtualab/manager/buzzer.html. [Accessed 09 July 2026].

[10] Y. T. L. L. S. C. H. L. Y. W. a. Chengbin Chen, "Obtaining World Coordinate Information of UAV in GNSS Denied Environments," *MDPI*, 2020.

[11] Y.R. Fikri Arifuddin, "Implementasi Sensor Ultrasonik HC-SR04 dan Lab VIEW Untuk Pengukuran Level Air," *SPEKTRAL: Journal of Communications, Antennas and propagation*, vol. 6, 2025.

[12] Fahrel May inzagi, Muhammad Amiruddin, Ganjar Winasis, "Sistem Monitoring Cuaca Berbasis IoT dengan Integrasi ikrokontroler ESP32 dan Notifikasi real Time Pada Penjemuran Kerupuk," *JETI: Jurnal Elekto dan Teknik Informasi*, 2025.

[13] Chenwang Yuan, Anthony Tony, Ruixue Yin, Kemin Wang, and Wenjung Zhang, "Tactile and Thermal sensors Built From Carboon Polymer Nanocomposistes," *A Critical review*, 2021.

[14] rafael Florencio, Alvaro Somolinos, ivan Gonzalez, and Felipe Catedra, "Method of Moments Based on Equivalent Periodic Problem and FFT with NURBS Surface for Analysis of Multilayer Periodic Structures," 2020.