

EVALUATION OF ARDUINO-BASED ASSISTIVE TECHNOLOGY FOR THE BLIND: IMPLICATIONS FOR INCLUSIVE TECHNICAL EDUCATION

Rahima Mahabbah¹, Irwanto Irwanto^{2*}, Didik Aribowo³, Siswo Wardoyo⁴, Suhendar Suhendar⁵

^{1,2,3} Program Studi Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Ciwaru Raya No. 25, Kota Serang, Banten

^{4,5} Program Studi Magister Pendidikan Vokasi Keteknikan, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Raya Jkt No.3, Sindangsari, Kec. Pabuaran, Kota Serang, Banten
irwanto.ir@untirta.ac.id*

ABSTRACT/ABSTRAK

Visually impaired individuals often face mobility challenges due to the limitations of conventional canes, which are unable to detect obstacles automatically. This study aims to develop and evaluate an assistive technology based on Arduino Uno R3 and an HC-SR04 ultrasonic sensor as a navigation aid. The system is designed to detect surrounding objects and provide warnings through a *buzzer* and a *vibration* motor as multimodal feedback. The research employed the *Waterfall* model, consisting of requirements analysis, design, construction, implementation, and evaluation stages. Testing was conducted on four visually impaired students from the Department of Special Education at Universitas Sultan Ageng Tirtayasa using a *Likert* scale to assess comfort, effectiveness, and ease of use. The results show an average score of 0.8075, categorized as “fairly high,” indicating good user acceptance and *usability* of the device. The developed technology is considered sufficiently feasible and effective as a mobility aid, although further improvement is still required. In addition, this study demonstrates that integrating microcontroller-based assistive technology can serve as a contextual learning medium in vocational education, particularly in electronics and embedded systems. The findings also imply that this approach supports the enhancement of engineering competencies through *project-based learning* oriented toward real-world inclusive solutions.

Penyandang tunanetra sering mengalami kendala mobilitas akibat keterbatasan tongkat konvensional yang belum mampu mendeteksi hambatan secara otomatis. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan mengevaluasi teknologi asistif berbasis Arduino Uno R3 dan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai alat bantu navigasi. Sistem dirancang untuk mendeteksi objek di sekitar pengguna dan memberikan peringatan melalui *buzzer* dan *vibration* motor sebagai umpan balik multimodal. Metode penelitian menggunakan model *Waterfall* yang meliputi analisis kebutuhan, perancangan, konstruksi, implementasi, dan evaluasi. Pengujian dilakukan pada empat mahasiswa tunanetra Jurusan Pendidikan Khusus Universitas Sultan Ageng Tirtayasa menggunakan skala *Likert* untuk menilai kenyamanan, efektivitas, dan kemudahan penggunaan. Hasil menunjukkan skor rata-rata 0,8075 yang termasuk kategori “cukup tinggi”, yang mengindikasikan tingkat penerimaan

ARTICLE INFO

Article History:

Submitted/Received
08 January 2026

First Revised
04 February 2026

Accepted
27 April 2026

Online Date
01 May 2026

Publication Date
30 June 2026

Keywords:

Arduino Uno; Smart Cane; Ultrasonic Sensor; Visual Impairment; Waterfall

Kata kunci:

Arduino Uno; Sensor Ultrasonik; Tunanetra; Tongkat Bantu; Waterfall

dan *usability* alat yang baik. Teknologi ini dinilai cukup layak dan efektif sebagai alat bantu mobilitas, meskipun masih memerlukan pengembangan lebih lanjut. Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi mikrokontroler dalam pengembangan alat asistif dapat menjadi media pembelajaran kontekstual di pendidikan vokasi, khususnya pada bidang elektronika dan sistem tertanam. Implikasi penelitian ini mendukung penguatan kompetensi keteknikan melalui pendekatan *project-based learning* yang berorientasi pada solusi nyata bagi kebutuhan inklusif masyarakat.

1. PENDAHULUAN

Mata atau indra penglihatan adalah salah satu organ tubuh yang sangat penting, karena mata berfungsi sebagai jendela dunia bagi manusia, dari penglihatan banyak sumber informasi didapatkan untuk melakukan berbagai kegiatan (Praptaningrum, 2020). Namun demikian, tidak semua individu memiliki kondisi penglihatan yang optimal, karena sebagian mengalami gangguan penglihatan sejak lahir maupun akibat faktor tertentu (Ilyasah et al., 2022). Tunanetra adalah individu yang memiliki hambatan dalam penglihatan, yang dapat diklasifikasikan dalam dua golongan yaitu buta sebagian (*low vision*) dan buta total (*totally blind*). Akibat keterbatasan tersebut, penyandang tunanetra cenderung mengoptimalkan indra lainnya seperti pendengaran, peraba, penciuman, dan perasa sebagai kompensasi dalam memahami lingkungan sekitarnya (Praptaningrum, 2020). Klasifikasi ini juga diperkuat oleh *World Health Organization* (WHO) yang membagi hambatan penglihatan ke dalam kategori *blind* dan *low vision*, sehingga menunjukkan bahwa permasalahan ini memiliki cakupan global dan memerlukan perhatian khusus (World Health Organization, n.d.). Dalam aktivitas sehari-hari, penyandang tunanetra sering mengalami kesulitan terutama dalam orientasi dan mobilitas, yang berdampak pada keterbatasan akses terhadap lingkungan fisik dan sosial. Secara global diperkirakan 40 hingga 45 juta orang mengalami kebutaan dan 135 juta orang mengalami *low vision* dari jumlah penduduk dunia pada tahun 2020 mencapai 7,7 miliar (World Health Organization, n.d.). Data tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan akan solusi yang mendukung mobilitas penyandang tunanetra menjadi semakin penting. Salah satu upaya yang telah dilakukan adalah penyediaan jalur pemandu di ruang publik yang memanfaatkan pola ubin bertekstur untuk membantu navigasi penyandang disabilitas. Namun, solusi ini masih memiliki keterbatasan karena hanya tersedia pada lokasi tertentu dan belum mampu memberikan informasi secara dinamis terhadap kondisi lingkungan sekitar.

Kemajuan teknologi saat ini berkembang dengan pesat khususnya pada kehidupan sehari-hari. Namun, dalam konteks pendidikan teknik dan vokasi, pengembangan teknologi

asistif tidak hanya berfokus pada fungsi alat, tetapi juga pada nilai pembelajaran yang dihasilkan dari proses perancangannya (Kraśniewski, 2025; Pratama & Handayani, 2025). Seperti halnya tongkat tunanetra, alat ini telah banyak dikembangkan dengan berbagai integrasi teknologi. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya lebih menitikberatkan pada aspek teknis dan kinerja alat, serta belum secara eksplisit mengaitkannya dengan pembelajaran teknik dan pendidikan inklusif (Yadav et al., 2016; Abuelmakarem et al., 2024). Oleh karena itu, penelitian ini menegaskan kebaruan pada integrasi antara pengembangan teknologi asistif dengan pendekatan pembelajaran berbasis proyek (*project-based learning*) dalam pendidikan vokasi, serta evaluasi yang tidak hanya menilai kinerja alat tetapi juga persepsi pengguna dalam konteks pembelajaran inklusif (Kraśniewski, 2025; Al-Azawei et al., 2020). Seiring dengan perkembangan teknologi, khususnya di bidang elektronika dan sistem tertanam, peluang integrasi teknologi pada alat bantu tunanetra semakin terbuka lebar. Dengan dilakukannya perancangan sebuah alat bantu navigasi tunanetra otomatis yang dapat digunakan sebagai alternatif baru bagi penyandang tunanetra agar lebih efektif (Parirak & Kolyaan, 2023). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa integrasi teknologi pada alat bantu dapat meningkatkan efektivitas penggunaan serta memberikan informasi lingkungan secara lebih *real-time* kepada pengguna. Hampir semua penyandang tunanetra tidak dalam melakukan kegiatan kesehariannya tidak terlepas dari alat bantu tradisional berupa tongkat. Perancangan alat bantu navigasi tunanetra otomatis ini dilakukan sebagai alternatif inovatif dengan memanfaatkan sistem Arduino uno serta sensor ultrasonic, yang berfungsi untuk mendeteksi benda atau objek disekitar pengguna. Sensor ultrasonik bekerja memancarkan gelombang ultrasonik dan menerima pantulannya kembali untuk mendeteksi kondisi lingkungan. Apabila terdapat benda atau objek yang menghalangi, maka akan memberikan peringatan berupa suara dari *buzzer* dan getaran dari *vibration* motor (Affandy & Saiye, 2023). Dengan demikian, modifikasi tongkat tunanetra berbasis Arduino Uno R3 dan sensor ultrasonik HC-SR04 tidak hanya meningkatkan kemampuan deteksi hambatan, tetapi juga memberikan umpan balik yang lebih responsif dibandingkan tongkat konvensional. Pengembangan ini diharapkan dapat mengatasi keterbatasan mobilitas penyandang tunanetra serta meningkatkan kemandirian dalam beraktivitas sehari-hari, sekaligus menunjukkan bahwa integrasi teknologi dan kebutuhan pengguna menjadi kunci dalam pengembangan teknologi asistif yang efektif.

Berbeda dengan penelitian sejenis, sistem ini dirancang sebagai media pembelajaran kontekstual yang dapat digunakan dalam proses pembelajaran teknik elektronika, khususnya pada materi mikrokontroler dan *embedded system*. Selain itu, pendekatan evaluasi dalam

penelitian ini tidak hanya berfokus pada aspek teknis, tetapi juga melibatkan pengguna secara langsung (*user-centered evaluation*) untuk menilai kenyamanan, efektivitas, dan kemudahan penggunaan, sehingga memberikan kontribusi pada pengembangan pembelajaran inklusif di lingkungan pendidikan vokasi (Al-Azawei et al., 2020). Dengan demikian, kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi antara inovasi teknologi asistif, pendekatan evaluasi berbasis pengguna, serta kontribusinya sebagai media pembelajaran dalam meningkatkan kompetensi keteknikan siswa vokasi yang berorientasi pada solusi nyata bagi kebutuhan masyarakat inklusif (Pratama & Handayani, 2025).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode evaluatif-deskriptif dengan pendekatan model pengembangan *Waterfall (Linear Sequential Model)*. Model ini menggambarkan proses pengembangan sistem yang dilakukan secara sistematis dan berurutan, dimulai dari analisis kebutuhan, perancangan sistem, konstruksi, implementasi, hingga tahap evaluasi pengguna (Wahid, 2020). Pemilihan model *Waterfall* dalam penelitian ini didasarkan pada karakteristiknya yang terstruktur dan linear, sehingga sesuai untuk pengembangan produk teknologi asistif yang memiliki kebutuhan sistem yang relatif jelas sejak tahap awal serta memerlukan tahapan validasi yang sistematis pada setiap fase. Selain itu, dalam konteks pendidikan teknik, model ini relevan digunakan sebagai kerangka pembelajaran berbasis proses (*process-oriented learning*) karena mampu membantu peserta didik memahami alur pengembangan sistem secara runtut dan terdokumentasi dengan baik (Pratama & Handayani, 2025).

Pendekatan ini digunakan untuk menilai kinerja dan kelayakan teknologi asistif berbasis Arduino yang dikembangkan sebagai alat bantu mobilitas bagi penyandang tunanetra dalam konteks pembelajaran inklusif. Namun demikian, jumlah responden dalam penelitian ini yang terbatas, yaitu hanya empat orang penyandang tunanetra, menjadi salah satu keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil penelitian. Jumlah sampel yang kecil ini disebabkan oleh keterbatasan akses dan ketersediaan partisipan yang sesuai dengan kriteria penelitian, sehingga pendekatan yang digunakan lebih bersifat eksploratif dan mendalam (*in-depth evaluation*). Oleh karena itu, hasil penelitian ini tidak dimaksudkan untuk digeneralisasikan secara luas, melainkan lebih sebagai studi awal (*preliminary study*) yang memberikan gambaran mengenai potensi penggunaan teknologi asistif dalam mendukung mobilitas dan pembelajaran inklusif di pendidikan vokasi. Generalisasi temuan

perlu dilakukan secara hati-hati dan disesuaikan dengan konteks, karakteristik pengguna, serta skala implementasi yang lebih luas pada penelitian selanjutnya.

Tahapan evaluasi dilakukan melalui dua jenis pengujian, yaitu uji kinerja teknis dan uji kelayakan pengguna. Uji kinerja teknis bertujuan untuk menilai kemampuan alat dalam mendeteksi objek di sekitar pengguna, kecepatan respon sensor ultrasonik, serta ketahanan daya baterai selama penggunaan. Sementara itu, uji kelayakan pengguna dilakukan untuk menilai persepsi, kenyamanan, dan kemudahan penggunaan alat oleh penyandang tunanetra. Penilaian ini menggunakan instrumen kuesioner dengan skala *Likert* empat poin, yaitu sangat setuju, setuju, tidak setuju, dan sangat tidak setuju. Instrumen kuesioner yang digunakan dalam penelitian ini terlebih dahulu diuji validitas dan reliabilitasnya untuk memastikan kualitas data yang diperoleh. Uji validitas dilakukan menggunakan validitas isi (*content validity*) melalui *expert judgment*, yaitu dengan melibatkan ahli di bidang pendidikan teknik dan pendidikan khusus untuk menilai kesesuaian butir instrumen dengan tujuan penelitian. Sedangkan uji reliabilitas dilakukan menggunakan koefisien *Cronbach's Alpha* untuk mengukur konsistensi internal instrumen, dengan nilai $\alpha \geq 0,70$ dikategorikan *reliable* (Hair et al., 2020). Penggunaan skala *Likert* dalam penelitian ini tidak dimaksudkan untuk mengukur validitas alat secara teknis, melainkan untuk mengukur persepsi pengguna terhadap aspek *usability*, seperti kenyamanan, kemudahan, dan efektivitas penggunaan alat. Oleh karena itu, hasil skor *Likert* diinterpretasikan sebagai tingkat kelayakan atau penerimaan pengguna (*user acceptance*), bukan sebagai ukuran validitas instrumen atau validitas sistem secara keseluruhan. Dengan demikian, istilah “validitas” pada hasil penelitian lebih tepat dimaknai sebagai tingkat kelayakan penggunaan alat berdasarkan persepsi responden, sehingga perlu disesuaikan secara konseptual dalam penyajian hasil dan pembahasan.

2.1 Arduino Uno R3

Mikrokontroler Arduino adalah pengendali mikro *single-board* yang bersifat *open-source*, diturunkan dari *Wiring platform*, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. *Hardware*-nya memiliki *prosesor Atmel AVR* dan *software*-nya memiliki bahasa pemrograman sendiri (Tarigan et al., 2020). Arduino uno R3 adalah jenis arduino yang paling populer karena mudah digunakan, dimana Arduino R3 ini menggunakan mikrokontroler ATmega 328 dengan tegangan operasional 5 Vdc yang mempunyai 14 pin digital input dan output dan 6 pin input analog berlabel A0 sampai A5 Sebagai ADC, setiap Pin Analog memiliki resolusi sebesar 10 bit, dengan memiliki memori 32 KB.

2.2 Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik adalah sebuah sensor yang memiliki fungsi untuk mengubah besaran fisis alias bunyi menjadi besaran listrik, begitupun sebaliknya (Ilyasah et al., 2022). Sensor ini bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik dan kemudian menangkapnya kembali jika ada pantulan dari objek yang kembali ke sensor ini, waktu yang menjadi jeda antara waktu pengeluaran gelombang dan penangkapan gelombang pantulan akan membuat sensor ini mengetahui jarak dari objek tersebut (Saragih & Bancin, 2021).

2.3 Buzzer

Buzzer adalah sebuah komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah sinyal listrik menjadi getaran suara (Kurniawan, 2019). Pada umumnya, *Buzzer* yang merupakan sebuah perangkat audio ini sering digunakan pada rangkaian anti-maling, Alarm pada Jam Tangan, bel rumah, peringatan mundur pada truk dan perangkat peringatan bahaya lainnya (Sumara et al., 2021).

2.4 Vibration Motor

Vibration motor DC 5V adalah motor arus searah kecil yang menghasilkan getaran selama beroperasi, umumnya karena adanya gaya elektromagnetik balik (*back EMF*) yang bervariasi secara waktu. Getaran ini muncul akibat interaksi dinamis antara medan magnet, lilitan kawat pada rotor, dan komutator dalam motor (Kim et al., 2022). Motor getar DC 5V adalah jenis motor arus searah kecil yang sering menghasilkan getaran karena desain rotor tidak seimbang atau karena gaya elektromagnetik balik. Sumber getaran utama getaran arus listrik, dan intereaksi elektromagnetik antara internal motor seperti *switching* sikat, resonansi struktur motor. Digunakan dalam perangkat yang memerlukan umpan balik getaran seperti ponsel pada saat mengetik atau menerima notifikasi, alarm getar ponsel, aplikasi medis seperti alat terapi.

2.5 Project Board dan Baterai

Project Board atau yang sering disebut sebagai *Bread Board* adalah dasar konstruksi sebuah sirkuit elektronik dan merupakan prototipe dari suatu rangkaian elektronik. Baterai atau aki merupakan suatu sel listrik yang mengalami dua proses elektrokimia, yaitu pelepasan (konversi energi kimia menjadi energi listrik) dan pengisian (energi listrik diubah kembali menjadi energi kimia) melalui arus yang mengalir dalam arah yang berlawanan (polaritas) di dalam sel (Humainah et al., 2023). Baterai terbagi menjadi dua jenis, yaitu ada baterai yang tidak dapat diisi ulang (*non rechargeable batteries*) disebut juga sebagai baterai

primer dan ada baterai yang dapat di isi ulang (*rechargeable batteries*) disebut juga sebagai baterai sekunder (Lystianingrum, 2021).

2.6 Kabel *Jumper* dan *Switch ON/OFF*

Kabel jumper adalah kabel pendek yang digunakan untuk menyambungkan komponen-komponen dalam rangkaian elektronik, terutama pada breadboard atau papan rangkaian tanpa solder, dengan menghubungkan pin antar komponen yang berfungsi untuk mengalirkan arus. *Switch ON/OFF* (saklar *ON/OFF*) adalah komponen listrik atau elektronik yang berfungsi untuk menghubungkan (*ON*) atau memutuskan (*OFF*) aliran arus listrik dalam suatu rangkaian.

2.7 Tongkat

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), tongkat adalah sepotong bambu (rotan, kayu, dan sebagainya) yang panjang untuk menopang atau pegangan ketika berjalan. Alat bantu untuk mobilitas tunanetra menggunakan tongkat khusus, yaitu tongkat berwarna putih dengan garis merah horizontal (Siahaan et al., 2020). Tongkat memiliki fungsi sebagai perpanjangan tangan tunanetra dan membuat tunanetra dapat melakukan perjalanan secara mandiri dan aman. Berbeda dengan teknik pendamping awas yang membuat tunanetra bergantung pada orang awas, dengan teknik tongkat tunanetra dapat melakukan perjalanan dengan mandiri. Jika teknik-teknik tersebut dilaksanakan secara tepat maka tunanetra menjadi aman dalam melakukan perjalanan dan terhindar dari menabrak atau jatuh (Azzahro et al., 2017).

3. HASIL PENELITIAN

Evaluasi terhadap modifikasi tongkat bantu penyandang tunanetra berbasis Arduino UNO R3 dan sensor ultrasonik HC-SR04 dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu perancangan perangkat lunak, perancangan perangkat keras, serta implementasi dan pengujian. Setiap tahapan bertujuan untuk menilai sejauh mana teknologi asistif ini dapat berfungsi secara efektif dalam membantu penyandang tunanetra menjalankan aktivitas kesehariannya secara mandiri. Sebelum diujicobakan kepada pengguna tunanetra, alat terlebih dahulu melalui serangkaian uji kinerja untuk memastikan sistem mampu mendeteksi hambatan di sekitar pengguna secara akurat dan responsif.

Proses implementasi dan evaluasi kinerja alat dilakukan dengan melibatkan empat orang penyandang tunanetra yang merupakan mahasiswa Jurusan Pendidikan Khusus Universitas Sultan Ageng Tirtayasa angkatan 2023 dan 2024. Kegiatan ini bertujuan untuk menilai tingkat efektivitas dan kelayakan penggunaan teknologi asistif berbasis Arduino sebagai alat bantu navigasi bagi penyandang tunanetra.

3.1 Perancangan *Software*

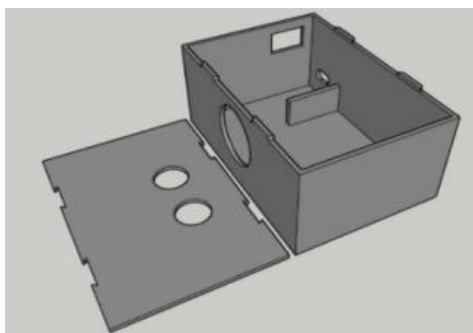
Pada proses pembuatan alat modifikasi tongkat bantu penyanggah tunanetra berbasis Arduino UNO R3 dan sensor ultrasonik HC-SR04, langkah awal yang dilakukan adalah perancangan perangkat lunak (*software*). Perancangan ini dilakukan dengan menyusun dan menuliskan kode program menggunakan perangkat lunak Arduino IDE (*Integrated Development Environment*), yang merupakan *platform* pemrograman resmi untuk mikrokontroler Arduino. Tujuan dari perancangan *software* ini adalah untuk memastikan bahwa seluruh komponen perangkat keras (*hardware*) yang digunakan dapat berfungsi secara optimal dan terintegrasi satu sama lain sesuai dengan logika kerja alat yang diinginkan. Komponen tersebut meliputi Arduino UNO R3 sebagai unit pengendali utama, sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pendeteksi jarak, *buzzer* sebagai alat pemberi peringatan suara, *vibration* motor sebagai pemberi getaran, baterai sebagai sumber daya listrik, serta saklar sebagai kontrol awal sistem. Dengan penyusunan program yang tepat, alat ini diharapkan mampu memberikan peringatan dini kepada pengguna tunanetra saat terdapat hambatan di sekitar mereka, baik melalui suara maupun getaran, sehingga dapat meningkatkan keselamatan dan kenyamanan dalam mobilitas sehari-hari.

3.2 Perancangan *Hardware*

Perancangan *hardware* ini merupakan langkah penting dalam memastikan seluruh komponen fisik dari alat modifikasi tongkat bantu penyanggah tunanetra dapat berfungsi secara optimal dan terintegrasi sesuai dengan rancangan sistem yang telah dibuat sebelumnya. Tahapan ini dibagi menjadi tiga bagian utama, yang masing-masing memiliki peran penting dalam mendukung keberhasilan perakitan alat.

3.2.1 Pembuatan desain modifikasi tongkat

Tahap pertama adalah pembuatan desain kotak modifikasi tongkat bantu. Pada tahap ini, dilakukan perencanaan dan pembuatan bentuk fisik dari kotak yang berfungsi sebagai wadah untuk seluruh komponen elektronik. Desain kotak disesuaikan agar tetap ergonomis, ringan, dan tidak mengganggu kenyamanan pengguna saat menggunakan tongkat, dapat dilihat pada gambar1, desain kotak modifikasi tongkat tunanetra.



Gambar 1. Desain kotak modifikasi tongkat tunanetra



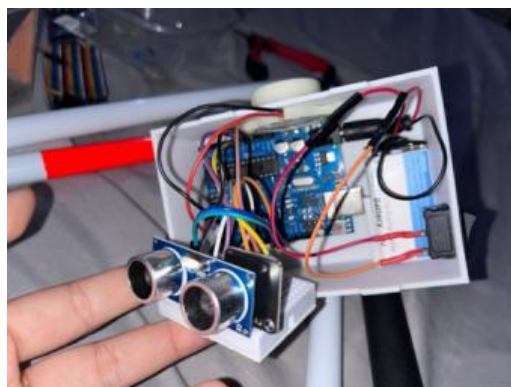
Gambar 2. Perancangan posisi penempatan modifikasi tongkat tunanetra

3.2.2 Perancangan posisi penempatan modifikasi tongkat

Tahap kedua merupakan proses perancangan posisi penempatan kotak modifikasi pada tongkat bantu. Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap titik keseimbangan dan kemudahan jangkauan pengguna agar posisi kotak tidak mengganggu fungsi utama tongkat sebagai alat bantu jalan. Selain itu, penentuan posisi juga mempertimbangkan faktor ergonomis, kestabilan, serta kemudahan akses terhadap komponen di dalam kotak. Hasil rancangan posisi penempatan tersebut dapat dilihat pada gambar 2, perancangan posisi penempatan modifikasi tongkat tunanetra.

3.2.3 Penyusunan dan perakitan seluruh komponen

Tahap ketiga adalah proses penyusunan dan perakitan seluruh komponen ke dalam kotak modifikasi. Komponen-komponen yang digunakan antara lain Arduino UNO R3, sensor ultrasonik HC-SR04, buzzer, *vibration* motor, baterai, dan saklar. Seluruh komponen ini disusun dengan rapi dan terorganisir agar tidak terjadi gangguan atau kerusakan selama penggunaan alat. Penyusunan ini juga mempertimbangkan kemudahan perawatan dan keamanan sirkuit elektronik, dapat dilihat pada gambar 3, penyusunan seluruh komponen pada kotak modifikasi tongkat.



Gambar 3. Penyusunan seluruh komponen pada kotak modifikasi tongkat

Dengan mengikuti tahapan-tahapan tersebut secara sistematis, diharapkan alat yang dihasilkan memiliki kualitas fisik yang baik, kokoh, dan siap digunakan untuk mendukung

aktivitas mobilitas penyandang tunanetra secara lebih aman dan mandiri. Untuk memastikan apakah modifikasi tongkat sesuai dengan yang dirapkan maka dilakukan pengujian yang terdiri terdiri dari empat tahapan utama sebagai berikut:

3.2.4 Simulasi deteksi objek dengan variasi jarak

Pada tahap pengujian, dilakukan simulasi deteksi objek dengan jarak masing-masing 10 cm, 20 cm, dan 50 cm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh skenario berhasil dijalankan secara optimal. Hal ini menunjukkan bahwa sistem modifikasi tongkat bantu penyandang tunanetra berfungsi secara andal dalam mengenali keberadaan objek pada rentang jarak yang telah ditentukan. Pada gambar 4 sampai dengan gambar 6, disajikan pengujian dengan beberapa jarak berbeda.



Gambar 4. Pengujian objek jarak 10cm



Gambar 5. Pengujian objek jarak 20cm



Gambar 6. Pengujian objek jarak 50cm



Gambar 7. Pengujian modifikasi tongkat pada objek dinding

Keberhasilan ini dikonfirmasi oleh respons aktif, baik berupa bunyi *buzzer* maupun getaran dari *vibration* motor, yang bekerja sesuai dengan logika pemrograman yang telah dirancang. Jarak 50 cm digunakan sebagai ambang batas maksimum dalam konfigurasi perangkat lunak, dan sistem mampu merespons objek dengan akurasi yang sesuai hingga pada titik maksimum tersebut. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak dalam sistem ini bekerja secara efektif dalam mendukung navigasi pengguna tunanetra.

3.2.5 Uji alat dengan mendeteksi berbagai jenis objek

Pengujian alat dengan mendeteksi berbagai jenis objek bertujuan untuk mengevaluasi tingkat sensitivitas dan akurasi sensor terhadap karakteristik permukaan yang berbeda. Objek yang diuji meliputi dinding, pintu, manusia, hewan, serta benda-benda transparan seperti kaca atau plastik bening. Pengujian ini untuk mengetahui sejauh mana sistem mampu memberikan respons yang konsisten terhadap variasi material, bentuk, dan tingkat kerapatan objek di lingkungan sekitar pengguna. Gambar 7 pengujian modifikasi tongkat pada objek dinding, menunjukkan proses pengujian alat dilakukan dengan mendeteksi objek berupa permukaan dinding. Pada tahap ini, sistem diuji untuk mengamati kemampuan sensor ultrasonik mengenali keberadaan objek padat dengan permukaan datar.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik HC-SR04 yang terpasang pada tongkat bantu mampu memancarkan gelombang ultrasonik secara optimal ke arah objek, lalu menerima kembali pantulan gelombang tersebut secara akurat dalam waktu yang sangat singkat. Pengujian berikutnya dilakukan dengan menggunakan objek berupa pintu sebagai target deteksi yang disajikan pada gambar 8. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan baik dan mampu mendeteksi keberadaan pintu secara akurat. Proses pemantulan dan penerimaan gelombang pada pengujian dinding dan pintu berjalan dengan baik, menunjukkan bahwa sistem deteksi bekerja secara efektif tanpa gangguan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa alat modifikasi tongkat bantu penyandang tunanetra ini mampu mendeteksi keberadaan objek dinding dengan presisi yang tinggi dan keberadaan objek pintu dengan karakteristik permukaan vertical dan padat.



Gambar 8. Pengujian modifikasi tongkat pada objek pintu

Pengujian selanjutnya dilakukan dengan menggunakan objek berupa manusia sebagai target deteksi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi keberadaan objek hidup tersebut secara efektif dan responsif. Sensor ultrasonik berhasil memancarkan gelombang suara ke arah tubuh manusia, lalu menerima kembali gelombang pantulannya dengan akurasi yang memadai. Meskipun manusia sebagai objek memiliki

permukaan yang tidak sepenuhnya datar dan cenderung menyerap sebagian gelombang suara, sistem tetap mampu mengidentifikasinya dengan baik dalam jarak yang telah ditentukan. Keberhasilan dalam mendeteksi objek manusia ini menjadi indikator penting bahwa alat dapat digunakan dalam kondisi nyata di mana pengguna tunanetra perlu menyadari keberadaan individu lain di sekitar mereka. Pengujian pada manusia dapat dilihat pada gambar 9, pengujian modifikasi tongkat pada manusia.



Gambar 9. Pengujian modifikasi tongkat pada manusia



Gambar 10. Pengujian modifikasi tongkat pada hewan

Gambar 10, pengujian modifikasi tongkat pada hewan memperlihatkan hasil pengujian alat dengan objek berupa hewan sebagai target deteksi. Berdasarkan hasil pengamatan, pengujian ini dinyatakan berhasil. Meskipun hewan memiliki bentuk tubuh yang tidak beraturan dan dapat bergerak secara acak, sensor tetap mampu mengidentifikasi kehadirannya dalam jarak deteksi yang telah diprogram. Selanjutnya, dilakukan pengujian terhadap objek transparan guna mengevaluasi kemampuan sensor dalam mendeteksi material dengan tingkat pantulan gelombang ultrasonik yang rendah.



Gambar 11. Pengujian modifikasi tongkat pada objek transparan

Pengujian pada gambar 11, memperlihatkan pengujian modifikasi tongkat pada objek transparan, menggunakan mika transparan sebagai perwakilan dari jenis objek transparan yang umum dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Hasil pengujian menunjukkan

bahwa sistem mampu mendeteksi keberadaan mika transparan dengan cukup baik. Sensor ultrasonik berhasil memancarkan gelombang suara dan menerima pantulannya kembali meskipun sebagian energi gelombang mungkin tersebar atau terserap oleh permukaan objek. Keberhasilan ini mengindikasikan bahwa alat modifikasi tongkat bantu tunanetra memiliki sensitivitas yang memadai dalam mengenali objek-objek dengan karakteristik visual yang sulit dilihat oleh manusia maupun sulit dideteksi oleh sistem optik biasa.

3.2.6 Uji alat dengan berbagai kondisi lingkungan

Pengujian pada poin ketiga difokuskan pada evaluasi performa alat dalam dua kondisi pencahayaan yang berbeda, yaitu dalam keadaan gelap dan terang, ditunjukkan gambar 12 dan 13. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menilai konsistensi dan keandalan sistem deteksi terhadap perubahan intensitas cahaya di lingkungan sekitar.



Gambar 12. Pengujian modifikasi tongkat pada kondisi gelap



Gambar 13. Pengujian modifikasi tongkat pada kondisi terang

Hasil pengujian dalam kondisi pencahayaan gelap dan terang menunjukkan bahwa sistem berfungsi dengan baik dan konsisten. Deteksi objek tetap berjalan secara optimal tanpa terpengaruh oleh perbedaan intensitas cahaya di lingkungan. Hal ini membuktikan bahwa alat modifikasi tongkat bantu penyandang tunanetra memiliki tingkat keandalan yang tinggi, serta mampu beroperasi secara efektif dalam berbagai situasi pencahayaan, baik pada siang hari maupun di lingkungan minim cahaya.

3.2.7 Uji ketahanan baterai

Untuk menghitung ketahanan baterai waktu pakai pada modifikasi tongkat bantu penyandang tunanetra berbasis Arduino uno R3 dan sensor ultrasonic HC-SR04, menggunakan rumus ketahanan baterai sebagai berikut:

$$\text{Ketahanan Baterai} = \frac{\text{Kapasitas Baterai (mAh)}}{\text{Total Konsumsi Arus (mA)}}$$

Diketahui: Kapasitas Baterai = 6800 mAh

Arduino Uno R3 = 50 mA-70mA

Sensor Ultrasonik = 15 mA

Buzzer = 30 mA

Vibration Motor DC = 80 mA-100 mA

Ditanya : Ketahanan Baterai apabila dipakai secara terus

Menerus

Jawab : Total Konsumsi Arus = 70 + 15 + 30 + 100

$$= 215 \text{ mA}$$

$$\text{Ketahanan Baterai} = \frac{\text{Kapasitas Baterai}}{\text{Total Konsumsi Arus}}$$

$$= \frac{6800 \text{ mAh}}{215 \text{ mA}}$$

$$= 31,6 \text{ jam}$$

Jika modifikasi tongkat dinyalakan terus menerus tanpa henti maka akan bertahan sekitar 31 jam, namun apabila *buzzer* dan motor hanya menyala sesekali saat ada deteksi maka ketahanan baterai bisa lebih lama sekitar 35 – 40 jam.

4. PEMBAHASAN

Proses implementasi dan evaluasi kinerja alat dilakukan dengan melibatkan empat orang penyandang tunanetra yang merupakan mahasiswa Jurusan Pendidikan Khusus Universitas Sultan Ageng Tirtayasa angkatan 2023 dan 2024. Kegiatan ini bertujuan untuk menilai tingkat efektivitas dan kelayakan penggunaan teknologi asistif berbasis Arduino sebagai alat bantu navigasi bagi penyandang tunanetra.

Percobaan dimulai dengan membacakan angket secara langsung kepada setiap responden untuk memastikan seluruh pernyataan dapat dipahami dengan jelas. Responden kemudian memberikan tanggapan secara lisan, yang dicatat dan diklasifikasikan sesuai skala penilaian *Likert*. Data hasil tanggapan diolah untuk memperoleh nilai persepsi pengguna terhadap kenyamanan, fungsionalitas, dan kemudahan penggunaan alat bantu tersebut. Nilai hasil angket ini menjadi dasar dalam mengevaluasi tingkat kelayakan alat. Rumus yang digunakan untuk menghitung persepsi pengguna sebagai berikut:

$$V = \frac{\text{jumlah skor yang diperoleh}}{\text{jumlah skor maksimal}}$$

Perlu ditegaskan bahwa skor yang diperoleh dari skala *Likert* tidak dimaknai sebagai “validitas” instrumen, melainkan sebagai indikator tingkat kelayakan atau penerimaan

pengguna (*usability*) terhadap alat yang dikembangkan. Skor hasil perhitungan kemudian di analisis dan dirata-ratakan untuk memperoleh validitas akhir secara keseluruhan dimana nilai validitas akhir untuk menentukan valid atau tidaknya dengan tabel kriteria validitas seperti Tabel 1 kriteria validitas.

Tabel 1 Kriteria validitas

Rentang Validitas	Kategori
0,81 – 1,00	Sangat Valid
0,61 – 0,80	Cukup Valid
0,41 – 0,60	Kurang Valid
0,00 – 0,40	Tidak Valid

Berikut ini ditampilkan dokumentasi implementasi lapangan sebagai bukti pelaksanaan kegiatan serta interaksi langsung antara peneliti dan partisipan dalam proses pengisian angket. Pada gambar 14 sampai dengan gambar 21 memperlihatkan momen ketika peneliti sedang memperkenalkan dan mengajarkan penggunaan tongkat bantu yang telah dimodifikasi kepada responden. Selain memperkenalkan fitur yang tersedia pada modifikasi tongkat, peneliti juga memberi tahu komponen yang digunakan pada modifikasi tongkat, yaitu seperti sensor ultrasonic yang berfungsi untuk mendeteksi sesuatu yang menghalanginya di depan dengan memanfaatkan gelombang ultrasonic, dimana berbentuk dua lingkaran yang terletak pada sisi bagian depan kotak modifikasi tongkat, dan *buzzer* yang berfungsi untuk mengeluarkan suara apabila ada benda yang menghalanginya di depan maka sensor ultrasonic akan memberi sinyal kepada *buzzer* untuk berbunyi, *buzzer* berbentuk lingkaran besar terletak pada sisi atas kotak modifikasi tongkat.



Gambar 1. Pengenalan fitur modifikasi tongkat responden satu



Gambar 2. Pengenalan fitur modifikasi tongkat responden dua



Gambar 3. Pengenalan fitur modifikasi tongkat responden tiga



Gambar 4. Pengenalan fitur modifikasi tongkat responden empat



Gambar 5. Responden satu menggunakan modifikasi tongkat



Gambar 6. Responden dua menggunakan modifikasi tongkat



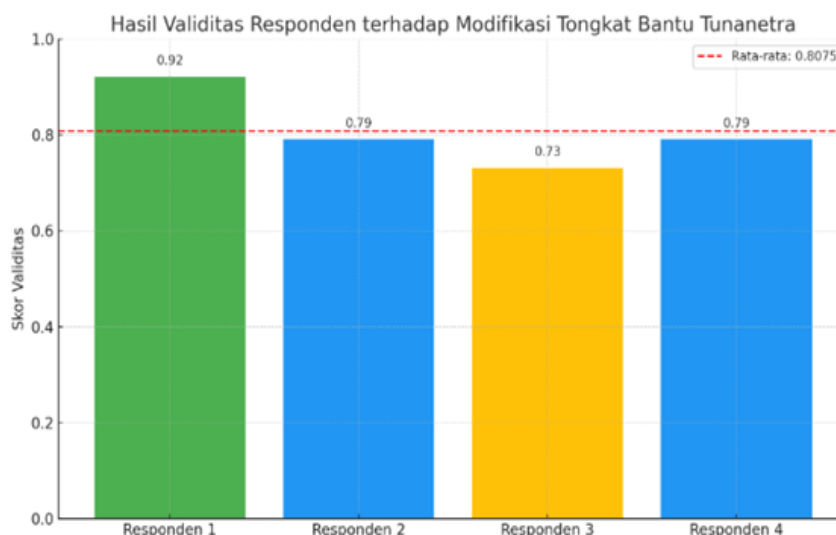
Gambar 7. Responden tiga menggunakan modifikasi tongkat



Gambar 8. Responden empat menggunakan modifikasi tongkat

Penggunaan alat oleh mahasiswa tunanetra bertujuan untuk membandingkan kinerja tongkat bantu hasil modifikasi dengan tongkat tunanetra konvensional yang biasa digunakan dalam aktivitas sehari-hari. Setelah para responden menggunakan modifikasi tongkat kemudian para responden melakukan pengisian angket dengan cara wawancara terstruktur. Peneliti membacakan setiap pertanyaan yang terdapat pada instrument angket secara runtut dan mencatat tanggapan lisan yang diberikan oleh responden. Proses ini tidak hanya berfungsi sebagai metode pengumpulan data, tetapi juga sebagai bentuk asesmen kualitatif terhadap persepsi pengguna mengenai aspek kenyamanan, fungsionalitas, dan kinerja dari alat bantu yang telah dimodifikasi. Setelah seluruh butir angket dijawab, peneliti

melanjutkan rekapitulasi data berupa perhitungan total skor dari masing-masing responden, kemudian dihitung nilai rata-rata dari keseluruhan tanggapan dan dianalisis menggunakan kriteria penilaian berbasis skala *Likert* 4 poin untuk menentukan tingkat kelayakan penggunaan alat bantu. Gambar 22 menyajikan grafik rekapitulasi perhitungan respon pengguna.



Gambar 9. Grafik rekapitulasi perhitungan validitas angket respon modifikasi tongkat

Grafik tersebut menunjukkan hasil penilaian empat responden terhadap efektivitas dan kenyamanan penggunaan alat bantu modifikasi tongkat untuk penyandang tunanetra berbasis Arduino Uno R3 dan sensor ultrasonik HC-SR04 dengan perhitungan respon pengguna dengan rumus sebagai berikut ini:

$$V = \frac{\text{jumlah skor yang diperoleh}}{\text{jumlah skor maksimal}}$$

• Responden satu
 Skor diperoleh = 59
 Skor maksimal = 64
 $V_1 = \frac{59}{64} = 0,92$

• Responden dua
 Skor diperoleh = 51
 Skor maksimal = 64
 $V_2 = \frac{51}{64} = 0,79$

• Responden tiga
 Skor diperoleh = 47
 Skor maksimal = 64

$V_3 = \frac{47}{64} = 0,73$

• Responden empat
 Skor diperoleh = 51
 Skor maksimal = 64
 $V_4 = \frac{51}{64} = 0,79$

$$V_{rata-rata} = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}{4}$$

$$V_{rata-rata} = \frac{0,92 + 0,79 + 0,73 + 0,79}{4}$$

$$V_{rata-rata} = \frac{3,23}{4} = 0,8075$$

Keempat responden tersebut menghasilkan nilai rata-rata sebesar 0,8075. Berdasarkan kriteria pada tabel 1 kriteria validitas, skor antara 0,61 – 0,80 dikategorikan sebagai “cukup

valid". Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa keefektifan modifikasi tongkat bantu penyanggah tunanetra tergolong cukup efektif apabila digunakan dalam kegiatan sehari-hari. Hal ini mencerminkan bahwa pengguna merasa terbantu dengan fitur-fitur yang ditanamkan, seperti sistem deteksi hambatan melalui sensor ultrasonik, peringatan melalui buzzer, dan umpan balik getaran dari motor.

Meskipun hasil menunjukkan tingkat kelayakan yang cukup baik, interpretasi skor ini perlu dilakukan secara hati-hati karena pengukuran didasarkan pada persepsi pengguna, bukan pada pengujian performa teknis secara kuantitatif yang lebih mendalam. Temuan ini sejalan dengan penelitian Abuelmakarem et al., (2024) yang menyatakan bahwa penggunaan sensor ultrasonik pada tongkat pintar mampu meningkatkan kewaspadaan pengguna terhadap hambatan di lingkungan sekitar, terutama melalui sistem peringatan dini berbasis suara dan getaran. Selain itu, penelitian Yadav et al., (2016) juga menunjukkan bahwa integrasi Arduino dalam perangkat asistif memberikan kemudahan dalam pengembangan sistem yang fleksibel dan relatif murah, sehingga cocok digunakan dalam pengembangan alat bantu bagi penyandang tunanetra.

Meskipun demikian, jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, nilai efektivitas pada penelitian ini masih berada pada kategori "cukup", yang mengindikasikan adanya ruang untuk pengembangan lebih lanjut, khususnya dalam meningkatkan akurasi deteksi sensor dan kenyamanan penggunaan alat dalam berbagai kondisi lingkungan. Beberapa studi terdahulu menunjukkan bahwa faktor lingkungan seperti permukaan jalan, keberadaan objek kecil, serta gangguan sinyal dapat mempengaruhi kinerja sensor ultrasonik, sehingga diperlukan optimalisasi sistem atau integrasi dengan sensor lain untuk meningkatkan keandalan alat. Terdapat sedikit variasi antar responden, secara umum data menunjukkan bahwa sistem yang dirancang telah memenuhi fungsi dasarnya dan berpotensi dikembangkan lebih lanjut agar lebih optimal dan responsif terhadap kebutuhan pengguna tunanetra. Dari sudut pandang pendidikan teknik, hasil ini juga menunjukkan bahwa pengembangan alat berbasis mikrokontroler seperti Arduino dapat menjadi media pembelajaran yang kontekstual dan aplikatif, karena mengintegrasikan aspek perancangan, pengujian, dan evaluasi berbasis pengguna dalam satu proses pembelajaran. Dengan demikian, selain memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi asistif, penelitian ini juga memiliki nilai tambah dalam mendukung pembelajaran berbasis proyek yang berorientasi pada pemecahan masalah nyata di lingkungan pendidikan vokasi.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi asistif berbasis Arduino Uno R3 dan sensor ultrasonik HC-SR04 memiliki kinerja yang baik sebagai alat bantu navigasi bagi penyandang tunanetra. Sistem mampu mendeteksi objek di sekitar pengguna dan memberikan respons melalui *buzzer* dan *vibration* motor secara optimal, dengan seluruh komponen perangkat keras dan lunak berfungsi dengan baik. Hasil pengujian pada empat responden menunjukkan skor rata-rata 0,8075 yang termasuk kategori cukup tinggi, sehingga mengindikasikan bahwa alat memiliki tingkat penerimaan dan *usability* yang baik sebagai media bantu mobilitas.

Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa pengembangan teknologi asistif berbasis mikrokontroler berpotensi menjadi media pembelajaran kontekstual dalam pendidikan vokasi melalui pendekatan *project-based learning* yang berorientasi pada kebutuhan inklusif. Meskipun demikian, pengembangan lebih lanjut masih diperlukan, terutama pada aspek desain fisik, ketahanan baterai, dan peningkatan responsivitas sistem agar dapat digunakan secara lebih optimal pada berbagai kondisi lingkungan.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapkan terima kasih kepada semua orang yang terlibat membantu kelancaran penyelesaian penelitian ini.

REFERENSI

- Abuelmakarem, H. S., Abuelhaag, A., Raafat, M., & Ayman, S. (2024). An integrated IoT smart cane for the blind and visually impaired individuals. *SVU-International Journal of Engineering Sciences and Applications*, 5(1), 71–78.
- Affandy, A. L., & Saiye, S. M. (2023). Rancang bangun tongkat tunanetra cerdas berbasis Arduino dilengkapi dengan GPS. *Jurnal IT*, 14(3), 19–28.
- Al-Azawei, A., Serenelli, F., & Lundqvist, K. (2016). Universal design for learning (UDL): A content analysis of peer-reviewed journals from 2012 to 2015. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, 16(3), 39–56.
- Azzahro, A., & Kurniadi, D. (2017). Penggunaan tongkat pada siswa tunanetra SMALB dalam melakukan mobilitas. *Jurnal Asesmen dan Intervensi Anak Berkebutuhan Khusus*, 17(1), 19–25.
- Dita, P. E. S., Al Fahrezi, A., Prasetyawan, P., Ratu, L., & Lampung, B. (2021). Sistem keamanan pintu menggunakan sensor sidik jari berbasis mikrokontroler Arduino Uno R3. *Jurnal Teknik dan Sistem Komputer (JTikom)*, 2(1).
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2020). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Cengage Learning.
- Humainah, R. F. (2023). Analisis penyebab terjadi error dalam tegangan baterai 110 V pada gardu induk Sepatan. *Teknika*, 8(2), 66–73.

- Ilyasah, A. H., Hidayat, M. R., & Prini, S. U. (2022). 2×1 truncated corner microstrip array antenna to increase gain and bandwidth for LTE applications at 2.3 GHz frequency. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, 22(1), 14–22.
- Kim, H., Kim, J., Han, K., & Won, D. (2022). 1D modeling considering noise and vibration of vehicle window brushed DC motor. *Applied Sciences*, 12(22), 11405.
- Kraśniewski, A. (2025). Integrating project-based learning into innovative studies in IoT engineering. *International Journal of Electronics and Telecommunication*, 71(1), 161–169.
- Kurniawan, A. (2019). Alat bantu jalan sensorik bagi tunanetra. *Journal of Disability Studies*, 6(2), 285–312.
- Lystianingrum, V. (2021). *Mengenal lebih dekat baterai dan ultracapacitor*. Deepublish.
- Nugraha, J. A. P., Iwan, A. H., Gumuljo, E. F., Graciella, E., Mulyadinata, N., Budiman, K. O., & Nugroho, E. W. (2024). *Menguasai Arduino: Inspirasi proyek-proyek Arduino bagi pemula*. SIEGA Publisher.
- Parirak, R. R., & Kolyaan, Y. (2023). Rancang bangun smart stick sebagai alat bantu jalan bagi penyandang tunanetra berbasis mikrokontroler Arduino. *Journal of Scientech Research and Development*, 4(2), 269–275.
- Pratama, D. O., & Handayani, A. N. (2025). Development of embedded system learning module using project-based learning method for industrial electronics department. *Lectura: Jurnal Pendidikan*, 16(1), 225–238.
- Praptaningrum, A. (2020). Penerapan bahan ajar audio untuk anak tunanetra tingkat SMP di Indonesia. *Jurnal Teknologi Pendidikan: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pembelajaran*, 5(1), 1–19.
- Saragih, B., & Bancin, C. (2021). Perancangan pengukur jarak secara wireless menggunakan sensor gelombang ultrasonik berbasis Arduino Uno Atmega 328 dengan tampilan di laptop. *Jurnal Teknologi Energi Uda: Jurnal Teknik Elektro*, 9(2), 74–80.
- Siahaan, M., Jasa, C. H., Anderson, K., Rosiana, M. V., Lim, S., & Yudianto, W. (2020). Penerapan artificial intelligence (AI) terhadap seorang penyandang disabilitas tunanetra. *Journal of Information System and Technology (JOINT)*, 1(2), 186–193.
- Tarigan, J., Bukit, M., Bernandus, B., & Betan, A. D. (2021). Perancangan tongkat pemandu tuna netra menggunakan sensor ultrasonik berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknik Mesin*, 3(2), 21–26.
- Wahid, A. A. (2020). Analisis metode waterfall untuk pengembangan sistem informasi. *Jurnal Ilmu-Ilmu Informatika dan Manajemen STMIK*, 1(1), 1–5.
- World Health Organization. (n.d.). *Up to 45 million blind people globally—and growing*. Retrieved March 25, 2024, from <https://www.who.int/news/item/09-10-2003-up-to-45-million-blind-people-globally---and-growing>
- Yadav, A. B., Bindal, L., Namhakumar, V. U., Namitha, K., & Harsha, H. (2016). Design and development of smart assistive device for visually impaired people. In *2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)* (pp. 1506–1509). IEEE.