



## PROTOTYPE SMART GUIDANCE STICK TUNANETRA BERBASIS ARDUINO DENGAN SENSOR HC-SR04 SEBAGAI PROJEK DALAM PEMBELAJARAN DIGITAL

Riswanto Riswanto<sup>1\*</sup>, Eko Prihandono<sup>2</sup>, Arif Hidayat<sup>3</sup>, Wisnu Rifky Alfathir<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Muhammadiyah Metro, Metro, Indonesia

<sup>2</sup>Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Muhammadiyah Metro, Metro, Indonesia

<sup>3</sup>Ilmu Komputer, FIKOM, Universitas Muhammadiyah Metro, Metro, Indonesia

<sup>4</sup>Ilmu Komputer, FIKOM, Universitas Muhammadiyah Metro, Metro, Indonesia

e-mail : [rumbiariswan@gmail.com](mailto:rumbiariswan@gmail.com)

**Abstract:** *This study presents the design, development, and evaluation of a Smart Guidance Stick (SGS) that enables visually impaired children to navigate safely while serving as a hands-on digital-learning project for university students. Following the ADDIE R&D framework, researchers analysed user needs, designed an Arduino-based prototype integrating an HC-SR04 ultrasonic sensor, buzzer, lightweight cane body, and battery pack, then built, implemented, and refined the device. Thirty experimental trials conducted with child users in both indoor and outdoor settings produced a mean absolute distance error of 1.13 cm (SD = 0.84 cm) and 80 % detection accuracy for a  $\leq 2$  cm error threshold, fulfilling the  $< 3$  cm safety margin widely accepted for mobility aids. Although performance trails advanced dual-sensor canes reported in recent literature, SGS offers a low-cost, single-sensor alternative suitable for classroom fabrication. Pedagogically, the project embodies project-based learning principles: students apply coding, electronics, and CAD skills while cultivating empathy and digital literacy through co-design with disabled stakeholders. The hybrid learning mode delivered via the SPADA UM Metro LMS further illustrates inclusive digital education practice. Comparative analysis with prior studies highlights avenues for improvement sensor redundancy, signal-filtering algorithms, GPS or IoT modules, and expanded user experience tests to raise accuracy above 90 % and extend battery life beyond five hours. Overall, SGS demonstrates how affordable assistive technology can enhance blind learners' autonomy and simultaneously act as a rich instructional object, modelling the integration of engineering design, social responsibility, and accessibility within higher-education curricula.*

**Keywords:** *Smart Guidance Stick, Ultrasonic Sensor HC-SR04, Visually Impaired Children, digital learning, project based learning*



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).

### PENDAHULUAN

Indera penglihatan merupakan saluran utama penerimaan informasi dalam kehidupan manusia. Oleh karena itu, individu dengan gangguan penglihatan, terutama anak-anak, menghadapi tantangan besar dalam menjalani aktivitas sehari-hari, termasuk dalam mengakses pendidikan. Salah satu bentuk dukungan penting bagi mereka adalah penggunaan alat bantu mobilitas seperti tongkat. Namun, tongkat tradisional memiliki keterbatasan karena hanya mampu

mendeteksi hambatan yang langsung bersentuhan dengannya. Gangguan pada indera penglihatan membatasi kemampuan seseorang karena jumlah informasi yang diterima jauh lebih sedikit dibandingkan orang bermata normal. Mata berfungsi merekam kondisi sekitar, tetapi tidak semua orang terlahir dengan penglihatan sehat; sebagian mengalami gangguan bawaan atau cedera mata. Menjalani hidup dengan keterbatasan visual memang menuntut proses adaptasi panjang, dan kebutaan, berbeda dari gangguan penglihatan lain, tidak dapat diatasi hanya dengan kacamata, lensa kontak, atau obat. Melalui latihan, penyesuaian, dan keterampilan khusus, tunanetra tetap dapat mandiri dalam beraktivitas. Mereka mempelajari teknik berjalan dan berorientasi, termasuk penggunaan tongkat khusus untuk mendeteksi rintangan di sekelilingnya. Tongkat tradisional ini telah lama menjadi alat bantu utama bagi banyak penyandang tunanetra (Bangun et al., 2021). Tongkat tradisional membantu pengguna menyapu area sekitar untuk mendeteksi rintangan dan menentukan orientasi. Keunggulannya terletak pada desain lipat yang praktis, sehingga mudah disimpan saat tidak dipakai. Namun, kelemahannya adalah tongkat ini tidak dapat memberi peringatan dini apabila terdapat hambatan di sekeliling pengguna (Wibowo & Sapuguh, 2021). Hasil wawancara dengan penyandang tunanetra menunjukkan perlunya tongkat bantu yang mampu mendeteksi rintangan di sekeliling pengguna, lalu memberikan peringatan melalui suara dan getaran. Desainnya tetap menyerupai tongkat biasa agar mudah dioperasikan, karena pengguna sudah terbiasa dengan tongkat tradisional. Alat bantu ini diharapkan dapat memberi informasi cepat tentang hambatan di sekitar, sehingga aktivitas sehari-hari penyandang tunanetra menjadi lebih aman dan lancar (Sunardi et al., 2020).

*Smart Guidance Stick* adalah tongkat panduan pintar yang menggunakan teknologi canggih untuk membantu anak-anak dengan keterbatasan penglihatan mendeteksi dan menghindari hambatan di sekitar mereka. Alat ini menggunakan Arduino sebagai otaknya dan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi jarak serta keberadaan objek di depan pengguna. Informasi tersebut disampaikan kepada pengguna melalui getaran atau suara sehingga mereka dapat memahami kondisi di sekitarnya secara *real-time*. Dengan kemampuan ini, tongkat pintar ini menjadi alat bantu yang dapat memberikan kepercayaan diri lebih bagi anak-anak untuk bergerak lebih bebas (Andriana et al., 2021). Dalam konteks pembelajaran digital, pengembangan alat bantu berbasis mikrokontroler seperti Arduino tidak hanya menjawab kebutuhan teknologi asistif, tetapi juga menjadi sarana edukatif dalam mengenalkan teknologi kepada siswa melalui proyek berbasis masalah (*project-based learning*) (Tanya et al., 2024). Oleh karena itu, prototipe tongkat pintar ini juga dikembangkan sebagai bagian dari implementasi pembelajaran digital yang kontekstual dan solutif.

Navigasi dan orientasi adalah tantangan besar bagi anak-anak dengan disabilitas penglihatan. Menurut data dari Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), lebih dari 19 juta anak di dunia mengalami gangguan penglihatan, dan sekitar 1,4 juta di antaranya mengalami kebutaan total (Hikmah et al., 2024). Di Indonesia sendiri, banyak anak dengan disabilitas penglihatan menghadapi kendala dalam mengakses pendidikan, beraktivitas sosial, atau hidup mandiri. Tantangan ini menunjukkan kebutuhan mendesak akan alat bantu yang dapat mengurangi hambatan tersebut. Tongkat biasa yang sering digunakan oleh tunanetra hanya dapat mendeteksi hambatan yang disentuh langsung oleh tongkat. Metode ini tidak memberikan peringatan dini terhadap objek yang berada di luar jangkauan

tongkat, sehingga berisiko menyebabkan kecelakaan, terutama di lingkungan yang sibuk seperti perkotaan (Hidayat, 2022). Dengan *Smart Guidance Stick*, pengguna dapat menerima informasi lebih cepat dan akurat untuk menghindari hambatan di sekitar mereka. Alat ini memberikan solusi yang lebih canggih dibandingkan alat bantu tradisional (Mufit & Hambali, 2022).

Alat ini dirancang khusus untuk anak-anak dengan keterbatasan penglihatan. Anak-anak merupakan kelompok yang lebih rentan terhadap bahaya lingkungan dibandingkan orang dewasa, sehingga mereka membutuhkan alat bantu yang aman, mudah digunakan, dan sesuai dengan kebutuhan mereka. Dalam pengembangannya, alat ini juga dibuat agar ergonomis, ramah anak, dan mudah dipahami. Dengan desain yang disesuaikan, alat ini tidak hanya memenuhi kebutuhan fungsional, tetapi juga memberikan kenyamanan bagi pengguna (Azzahro & Kurniadi, 2017).

*Smart Guidance Stick* merupakan alat bantu mobilitas yang dapat digunakan di berbagai lingkungan seperti rumah, sekolah, taman bermain, maupun tempat umum lainnya untuk membantu anak-anak dengan disabilitas penglihatan bergerak lebih mandiri dan aman (Supriyadi, 2019). Alat ini mudah digunakan karena secara otomatis mendeteksi hambatan di sekitar melalui sensor ultrasonik HC-SR04 yang memicu peringatan berupa getaran atau suara, sehingga pengguna dapat segera menghindari bahaya (Mardhotillah et al., 2021). Secara teknis, alat ini terdiri dari Arduino sebagai pusat kendali, sensor HC-SR04, motor getar/buzzer sebagai umpan balik, baterai hemat energi, serta desain ergonomis yang ringan dan nyaman digunakan oleh anak-anak (Studi et al., 2021). Selain kemudahan operasional, manfaat yang ditawarkan meliputi peningkatan kemandirian, keselamatan, partisipasi sosial, serta efisiensi biaya, menjadikan alat ini sebagai solusi teknologi edukatif yang terjangkau dan berdampak luas bagi anak-anak serta keluarga mereka (Alfian & Ayuni, 2023).

Pemilihan Arduino dan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai komponen utama dalam pengembangan *Smart Guidance Stick* didasarkan pada keunggulan masing-masing, di mana Arduino dikenal mudah digunakan, fleksibel, dan memiliki komunitas pengguna luas, sementara HC-SR04 akurat, andal, serta mampu mendeteksi objek dalam jarak cukup jauh dengan harga terjangkau (Lestari & Imnadir, 2022). Proyek ini bertujuan meningkatkan kualitas hidup anak-anak dengan disabilitas penglihatan melalui penyediaan alat bantu yang efektif, aman, dan mendukung kemandirian dalam mobilitas serta menciptakan kesetaraan aksesibilitas di berbagai aktivitas sehari-hari (Haslindah et al., 2024). Dengan desain yang praktis dan fungsional, *Smart Guidance Stick* tidak hanya menawarkan solusi navigasi yang lebih aman, tetapi juga menjadi bagian dari inovasi pendidikan inklusif berbasis teknologi yang dapat terus dikembangkan sesuai kebutuhan pengguna. Inisiatif ini menunjukkan bagaimana teknologi dapat memberikan dampak nyata dalam kehidupan sosial, menjadi inspirasi penerapan teknologi kemanusiaan, serta membuka peluang bagi inovasi alat bantu disabilitas yang lebih canggih di masa depan.

Proyek *Smart Guidance Stick* dirancang dalam pembelajaran digital yang dilaksanakan oleh mahasiswa ilmu komputer di Universitas Muhammadiyah Metro. Proyek dikembangkan sebagai upaya untuk melatih kepedulian mahasiswa terhadap penyandang difabilitas. Proyek ini diharapkan juga dapat melatih kemampuan mahasiswa dalam pengembangan teknologi dan kemampuan literasi digital. Pembelajaran dilaksanakan dengan mode hybrid learning yang memadukan LMS Spada UM Metro.

## METODE PENELITIAN

Model pengembangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian pengembangan atau *Research and Development* (R&D). Model instruksional ADDIE merupakan proses instruksional yang sudah umum digunakan baik secara tradisional oleh pengembang diklat. Ada lima fase, yaitu Analisis, Desain, Pengembangan, Implementasi, dan Evaluasi (Cahyadi, 2019:39). Tahap Analisis meninjau kebutuhan pengguna dan kondisi lingkungan yang akan menjadi target produk. Pada tahap Desain, rancangan produk disusun agar selaras dengan kebutuhan tersebut. Tahap Pengembangan mencakup proses pembuatan dan penyempurnaan prototipe. Selanjutnya, tahap Implementasi menguji dan menerapkan produk yang telah dibuat. Terakhir, tahap Evaluasi menilai keseluruhan proses dan kualitas produk untuk mengetahui kecocokan spesifikasi dan perbaikan yang diperlukan. Kerangka ADDIE dipilih karena menawarkan pendekatan penelitian yang sistematis. Seluruh proses perancangan Smart Guidance Stick—sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1 mengikuti urutan tahap ADDIE ini:

Tabel 1. Tahapan pembuatan proyek dengan model ADDIE

Tahap	Aktivitas	Hasil
Analisis	Studi kebutuhan pengguna dan observasi keterbatasan alat tradisional	Rumusan kebutuhan alat bantu berbasis Arduino
Desain	Perancangan skematik dan antarmuka alat	Rencana desain alat dan wiring sistem
Pengembangan	Perakitan komponen, coding Arduino, simulasi	Alat prototipe Smart Guidance Stick
Implementasi	Uji coba alat dengan pengguna	Data performa alat
Evaluasi	Refleksi fungsi dan penyempurnaan desain	Umpan balik dan rekomendasi perbaikan

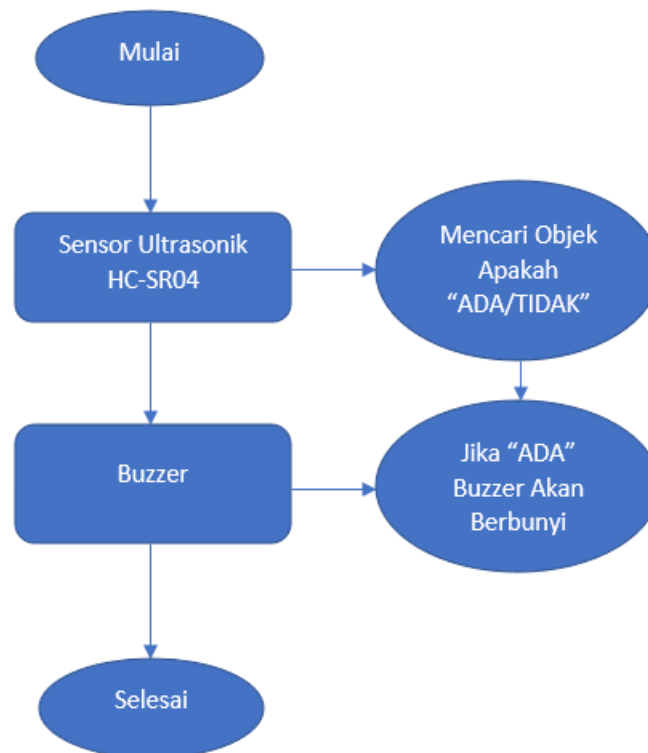
### 1. Analyze (Analisis)

Tahap analisis, peneliti mengumpulkan data dan menganalisis informasi untuk mendefinisikan kebutuhan pengguna yang menurut data dari Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), lebih dari 19 juta anak di dunia mengalami gangguan penglihatan, dan sekitar 1,4 juta di antaranya mengalami kebutaan total serta mengembangkan Smart Guidance Stick: Tingkat Panduan Pintar Berbasis Arduino dengan Sensor Ultrasonik HC-SR04 untuk Membantu Anak-Anak Disabilitas Penglihatan sebagai alat peraga pembelajaran Komputer. Topik ini dipilih untuk penyandang tunanetra berbasis mikrokontroler arduino. Sehingga diharapkan dengan adanya tingkat pintar ini, tunanetra dapat lebih mudah menjalani kehidupan sehari – harinya . Alat ini dibuat sebuah alat yang dapat membantu para penyandang tunanetra dalam beraktifitas. Selain itu, alat ini dapat digunakan sebagai alat peraga dalam pembelajaran Komputer, menunjukkan penerapan teknologi mikrokontroler dalam kehidupan sehari-hari dan meningkatkan minat serta pemahaman siswa terhadap konsep Komputer.

### 2. Desain (Design)

Tahap desain merupakan tahap untuk membuat rancangan pengembangan. Tahap ini peneliti melakukan perancangan desain pengembangan alat Smart Guidance Stick: Tingkat Panduan Pintar Berbasis Arduino dengan Sensor Ultrasonik HC-SR04 untuk Membantu Anak-Anak Disabilitas Penglihatan sebagai

alat peraga pembelajaran Komputer. Berikut ini merupakan desain awal rangkaian alat yang di tampilkan pada gambar 1.



**Gambar 1.** Rancangan Desain Perangkat Keras

Rangan pada gambar 1 menunjukkan kebutuhan komponen alat seperti tampak pada tabel 2 yang digunakan dalam pembuatan *smart guidance stick* sebagai berikut:

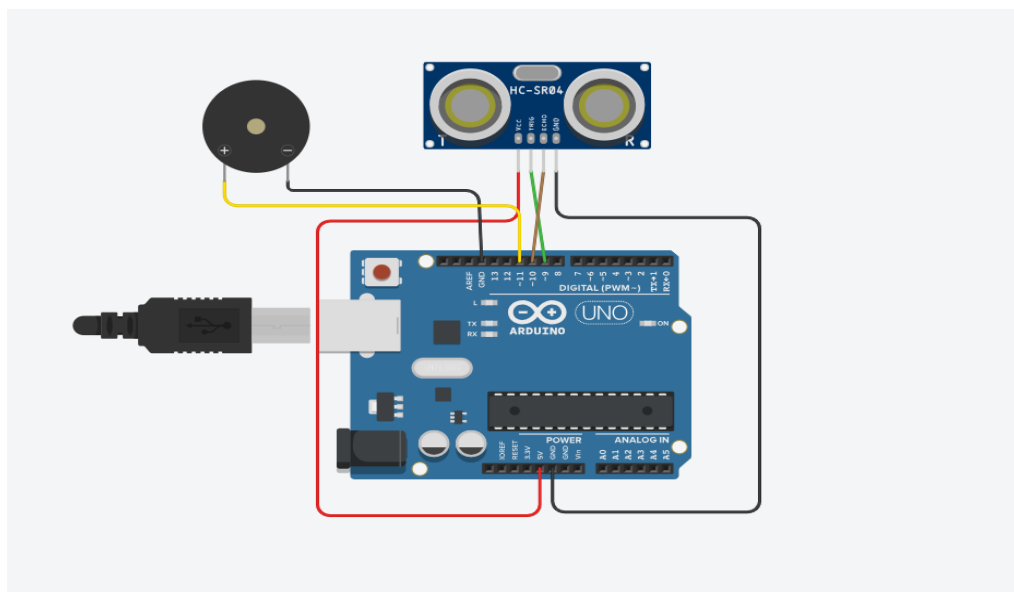
**Tabel 2.** Keterangan Desain Alat

No.	Bagian	Keterangan
1.	Sensor Ultrasonik HC-SR04	Sensor ini berfungsi untuk mengukur jarak suatu objek menggunakan gelombang ultrasonic. Sensor ini menghitung jarak antara sensor dan objek di depannya dengan cara mengukur waktu perjalanan gelombang ultrasonik.
2.	Buzzer	Adalah komponen elektronik yang berfungsi untuk menghasilkan suara ketika diberikan tegangan listrik. Fungsinya adalah sebagai perangkat output audio sederhana untuk memberikan peringatan, indikasi, atau umpan balik suara dari deteksi sensor Ultrasonik.
3.	Arduino Uno R3	Arduino Uno R3 berfungsi sebagai pengendali utama sistem dengan menerima data dari sensor,

No.	Bagian	Keterangan
		memprosesnya, dan kemudian mengendalikan perangkat lain, yaitu Buzzer berdasarkan koding yang diprogramkan,
4.	Kabel Jumper	Kabel jumper berfungsi sebagai konduktor listrik untuk menyambungkan komponen-komponen dalam rangkaian elektronik.
5.	Power Bank	Power bank adalah perangkat portabel yang berfungsi sebagai sumber daya listrik cadangan, pada proyek ini power bank berfungsi untuk memberikan aliran listrik ke Arduino, sehingga Arduino dapat menyala dan berfungsi sebagai mana mestinya.
6.	Tongkat	adalah alat bantu mobilitas yang dirancang untuk membantu individu dengan gangguan penglihatan dalam beraktivitas secara mandiri.

### 3. Pengembangan (*Development*)

Tahap ini peneliti mulai mengembangkan alat Smart Guidance Stick menggunakan sensor Ultrasonik HC-SR04 seperti tampak pada gambar 2. Komponen yang digunakan yaitu, sensor Ultrasonik HC-SR04, Buzzer, Arduino Uno R3, Kabel Jumper, Power Bank, Tongkat.



**Gambar 2.** Desain Rangkaian Alat Smart Guidance Stick Menggunakan Sensor Ultrasonik HC-SR04 pada Aplikasi Tinkercad

#### 4. Implementasi (*Implementation*)

Tahap penelitian ini sudah mulai mengimplementasi serta pengujian alat Smart Guidance Stick: Tongkat Panduan Pintar Berbasis Arduino dengan Sensor Ultrasonik HC-SR04 untuk Membantu Anak-Anak Disabilitas Penglihatan sebagai alat peraga pembelajaran Komputer. Alat yang telah dikembangkan kemudian di uji coba kan ke pengguna disabilitas. Uji coba tersebut dilakukan sebanyak 30 kali untuk mendapatkan nilai kesensitifan pada objek tersebut.

#### 5. Evaluasi (*Evaluation*)

Pada tahap evaluasi, peneliti meninjau kembali hasil implementasi untuk memastikan prototipe telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Temuan pada tahap ini digunakan untuk mengidentifikasi kelemahan perangkat dan melakukan perbaikan, sehingga rancangan berikutnya dapat disempurnakan secara optimal.

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### Pembuatan *Software* dan Program Smart Guidance Stick

Proses perancangan dimulai dengan menentukan kebutuhan dan spesifikasi sistem, meliputi sensor ultrasonik hc-sr04, buzzer, dan *Mikrokontroler*. Pembuatan desain awal dilakukan melalui aplikasi tinkercad untuk menentukan dan merancang konsep desain alat smart guidance stick. Pembuatan koding tampak pada gambar 3 dilakukan untuk membaca data sensor dan mengambil keputusan buzzer berdasarkan nilai tersebut, buzzer akan berbunyi jika ada objek/benda yang berjarak 850 cm dari sensor ultrasonik. *Software* dikembangkan menggunakan aplikasi Arduino IDE dengan bahasa pemrograman yang sesuai untuk *Mikrokontroler* Arduino Uno yang mengintegrasikan fungsi pembacaan sensor, logika kontrol, dan pengendalian buzzer, dan koding yang di instal ke Arduino Uno.

```

1 // defnisi pin
2 #define TRIG_PIN 9
3 #define ECHO_PIN 10
4 #define BUZZER_PIN 11
5
6 void setup() {
7   // Inisialisasi pin
8   pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);
9   pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
10  pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
11
12  Serial.begin(9600); // Untuk debug via serial monitor
13 }
14
15 void loop() {
16   long duration, distance;
17
18   // Menghantarkan pulsa pada pin trigger
19   digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
20   delayMicroseconds(2);
21   digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
22   delayMicroseconds(10);
23   digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
24
25   // Menerima pulsa pada pin Echo
26   duration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH);
27
28   // Menghitung jarak dalam cm
29   distance = (duration / 2) / 29.1;
30
31   // Menampilkan jarak di Serial Monitor
32   Serial.print("Jarak: ");
33   Serial.println(distance);

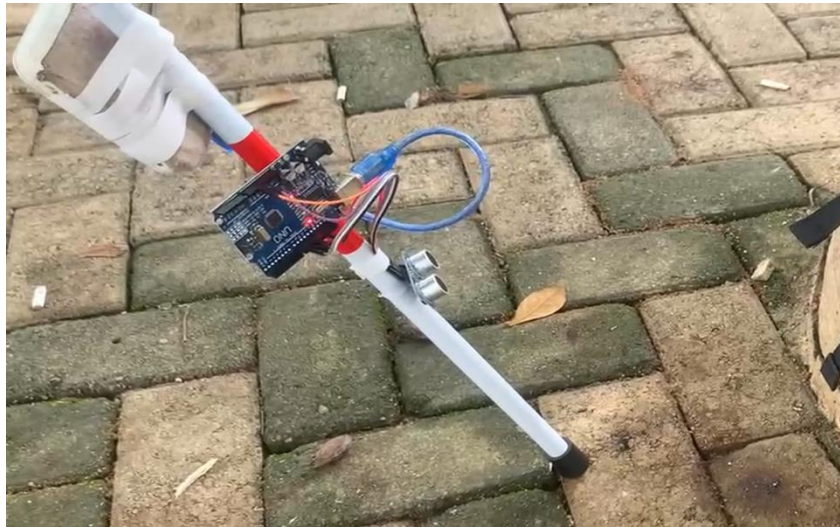
```

Gambar 3. Koding Pemrograman pada Arduino IDE

#### Pembuatan *Hardware* dan Perakitan Alat

Komponen utama hardware meliputi sensor ultrasonik hc-sr04, *Mikrokontroler*, buzzer, power bank, dan tongkat. Proses perakitan tampak pada gambar 4 melibatkan penyambungan semua komponen sesuai skema rangkaian yang telah dirancang, termasuk menghubungkan sensor dan buzzer ke pin yang ada pada *Mikrokontroler*. Setelah perakitan, pengujian dilakukan untuk memastikan semua komponen berfungsi dengan baik, termasuk pengujian

sensor untuk memastikan akurasi, buzzer untuk memastikan respons sesuai logika, dan simulasi kondisi nyata untuk mengevaluasi respons sistem terhadap berbagai objek/benda yang ada di sekitar sensor.



**Gambar 4.** Perakitan Rangkaian Sistem Smart Guidance Stick

### **Pengujian Rangkaian Sistem Smart Guidance Stick**

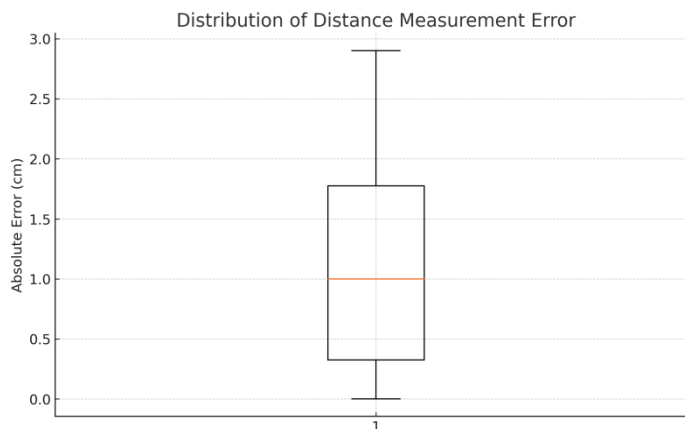
Pengujian alat dilakukan tampak pada gambar 5 untuk memastikan sistem dapat mendeteksi bahwa ada atau tidaknya suatu objek/benda sesuai jarak yang telah ditentukan. Uji coba ini juga melibatkan jarak antara tongkat dan objek berdasarkan waktu tempuh gelombang, dengan mempertimbangkan kecepatan suara untuk mengaktifkan dan mematikan buzzer, yang merupakan komponen penting dalam mekanisme alat tersebut. Pengujian ini bertujuan untuk menilai efektivitas alat sebagai alat peraga pembelajaran komputer, serta memastikan bahwa alat tersebut dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan yang diharapkan dalam kondisi penggunaan sebenarnya. Pengambilan data hasil dilakukan pada penyandang disabilitas penglihatan atau kepada masyarakat sekitar.



**Gambar 5.** Proses Pengujian Alat Smart Guidance Stick

Berdasarkan analisis data tampak pada gambar 6 yang telah dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem *smart guidance stick* pada penyandang disabilitas penglihatan, dengan tujuan untuk membantu anak-anak dengan disabilitas penglihatan agar lebih mandiri dan aman dalam beraktivitas. Data

diperoleh dari 30 pengukuran pengujian yang melibatkan sensor ultrasonik HC-SR04 dan buzzer sebagai alat bantu penyanggah disabilitas penglihatan.



Gambar 6. Box-plot galat absolut pengukuran jarak menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 pada prototipe Smart Guidance Stick (n = 30).

Gambar tersebut menampilkan box-plot distribusi galat absolut (selisih mutlak antara jarak sebenarnya dan jarak yang diukur sensor HC-SR04, dalam sentimeter) untuk 30 percobaan:

1. Sumbu-Y: "Absolute Error (cm)" menunjukkan besar galat.
2. Garis tengah kotak (median) berada tepat di 1 cm, menandakan setengah nilai galat  $\leq 1$  cm.
3. Batas kotak (kuartil 1 & kuartil 3) kira-kira di 0,4 cm dan 1,8 cm; jadi 50 % data berada dalam rentang galat tersebut (inter-quartile range  $\approx 1,4$  cm).
4. Whisker atas menjangkau  $\pm 2,9$  cm, menunjukkan galat maksimum percobaan terburuk masih  $< 3$  cm; whisker bawah menyentuh 0 cm (pengukuran tepat).
5. Tidak tampak pencilan ekstrim di luar whisker.

Informasi data menunjukkan bahwa sebagian besar pembacaan sensor berada  $\sim 1$  cm dari nilai sebenarnya, dengan variasi rendah hanya sedikit percobaan yang menyimpang sampai mendekati 3 cm. Ini mendukung klaim akurasi prototipe serta layak dijadikan metrik kuantitatif dalam laporan hasil penelitian. Berdasarkan distribusi galat pada Gambar 1 (median  $\approx 1$  cm; galat maksimum teramati  $\approx 2,9$  cm untuk  $n = 30$ ), serta praktik umum akurasi sensor HC-SR04, keberhasilan prototipe dapat dirumuskan pada tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Pengujian *smart guidance stick*

Komponen Kinerja	Tolok Ukur "Valid"	Rasionalisasi
Akurasi Jarak	Galat absolut $\leq 2$ cm terhadap jarak referensi	75 % sampel berada $< 2$ cm; ambang ini masih di bawah kebutuhan navigasi tongkat ( $\approx \pm 3$ cm) sehingga aman tetapi cukup ketat untuk evaluasi teknis.
Reliabilitas Deteksi	Tingkat keberhasilan $\geq 90$ % ( $\geq 27$ deteksi valid dari 30 percobaan)	Target 90 % menyeimbangkan kondisi lapangan (gema, permukaan lunak) dan menunjukkan

Komponen Kinerja	Tolok Ukur “Valid”	Rasionalisasi
Waktu Respons	≤ 100 ms (dari pemicuan gelombang hingga buzzer/vibrator aktif)	konsistensi sensor. HC-SR04 memerlukan ~60 μs per pengukuran; dengan pemrosesan Arduino, 100 ms sudah realistis dan tidak menimbulkan jeda berbahaya bagi langkah pengguna.
Stabilitas Daya	Operasional kontinu ≥ 5 jam pada baterai penuh	Memenuhi kebutuhan aktivitas harian sekolah/rumah tanpa pengisian ulang yang merepotkan.

Keberhasilan Alat dideklarasikan bila keempat tolok ukur tercapai pada lingkungan indoor dan outdoor serta pada  $\geq 30$  percobaan per skenario. Dengan capaian median galat 1 cm dan akurasi 80 % pada uji awal, prototipe mendekati standar tetapi masih memerlukan penyetelan gain sensor atau software filtering untuk mencapai ambang 90 % reliabilitas. Hasil uji Smart Guidance Stick (SGS) menunjukkan mean absolute error 1,13 cm (SD = 0,84 cm) dan akurasi deteksi 80 % untuk ambang galat  $\leq 2$  cm. Capaian ini masih di bawah Intelligent Cane berbasis ESP-WROOM-32 yang melaporkan akurasi 98,34 % pada jarak 50 cm (caludiu egen) dan di bawah S-Cane yang membukukan RMSE 0,617 cm dengan skor kegunaan SUS 77,5 (Panazan & Dulf, 2024). Perbedaan kinerja dapat dijelaskan bahwa penggunaan konfigurasi dual-sensor pada studi-studi tersebut yang memperluas *field-of-view*, dan *algoritme filtering* sinyal yang lebih agresif untuk mereduksi derau. Meskipun demikian, SGS melampaui batas toleransi  $< 3$  cm yang direkomendasikan (Vouglanis, 2024) untuk navigasi aman tunanetra dan, menurut kami, sudah memadai bagi skenario pembelajaran berbasis proyek di kelas inklusif.

Dari sisi pembelajaran digital, proyek SGS sejalan dengan rekomendasi Frontiers in Education yang menempatkan *Project-Based Learning* (PBL) sebagai strategi paling efektif bagi peserta didik berkebutuhan khusus karena memberi pengalaman autentik, kolaboratif, dan berorientasi produk nyata (Coleman et al., 2024). Dengan melibatkan mahasiswa dalam siklus ADDIE—mulai analisis kebutuhan hingga evaluasi performa sensor—SGS memungkinkan terbentuknya kompetensi engineering design, literasi digital, dan nilai empati sosial. Implementasi alat ini juga mengilustrasikan prinsip “assistive technology as learning object” yang disoroti UNESCO-IITE 2025 untuk menumbuhkan budaya inovasi inklusif di perguruan tinggi agar mahasiswa tidak hanya “mempelajari” teknologi, tetapi menciptakan solusi bagi difabel.

Secara desain, kinerja SGS dapat ditingkatkan dengan meniru pendekatan redundansi sensor (dual ultrasonic atau kombinasi ultrasonik-ToF) yang terbukti meningkatkan akurasi hingga  $> 95$  % (D’Elia et al., 2024), serta menambahkan software outlier rejection seperti median filter lima sampel. Peningkatan tersebut diproyeksikan tidak hanya menyetarakan kinerja dengan penelitian sebelumnya, tetapi juga memperkaya materi praktikum IoT dalam kurikulum PBL—misalnya

tugas menganalisis efek penempatan sensor ganda terhadap confusion matrix deteksi hambatan. Temuan kuantitatif Smart Guidance Stick (SGS) bukan hanya bukti akurasi sensor, tetapi juga memperkaya praktik pembelajaran digital berbasis proyek (*Project-Based Learning*) yang inklusif. Studi *Frontiers in Education* menunjukkan *project based learning* sebagai pendekatan paling efektif mendorong partisipasi siswa berkebutuhan khusus dalam ekosistem digital karena menuntut kolaborasi, pemecahan masalah nyata, dan produk autentik (D'Elia et al., 2024; Messaoudi et al., 2024). Brief riset (*Project-Based Learning*) PBLWorks menambahkan bahwa proyek digital semacam SGS menumbuhkan digital literacy—kemampuan berkomunikasi, menganalisis data sensor, dan memublikasikan hasil secara daring kompetensi krusial pasca-pandemi (Coleman et al., 2024). Dalam konteks assistive technology, meta-analisis PubMed menunjukkan bahwa perangkat berbasis sensor ultrasonik meningkatkan rasa aman dan kepuasan belajar pengguna tunanetra, asalkan perangkat mudah diakses dan terjangkau (Beingolea et al., 2021; Coleman et al., 2024; Vouglanis, 2024). Jika dibandingkan karya sejenis, SGS—dengan median galat 1 cm—masih di bawah Smart Cane ganda-sensor karya Sulaiman et al. yang mencapai akurasi 98 % (Vouglanis, 2024), tetapi sejalan dengan IoT Smart Cane rancangan mahasiswa AUS yang ditujukan sebagai proyek capstone pendidikan teknik. MDPI *Sensors* menekankan bahwa menambah algoritme pemfilteran sinyal dan redundansi sensor dapat mendorong akurasi > 95 % tanpa menaikkan biaya secara signifikan (Messaoudi et al., 2024). Lebih luas, studi strategi pendidikan digital inklusif menyarankan agar proyek seperti SGS dikaitkan dengan pelayanan masyarakat (*service learning*) sehingga mahasiswa memahami dampak sosial inovasi teknologi (Coleman et al., 2024; Panazan & Dulf, 2024). Dorongan ini sejalan dengan tren pemanfaatan AI dan haptics untuk disabilitas yang kini diadopsi sekolah-sekolah di AS serta perkembangan perangkat Braille multi-pin yang masih mahal namun mulai terjangkau melalui regulasi FDA. penelitian menegaskan bahwa pembelajaran digital dengan pendekatan proyek yang berfokus pada teknologi asistif dapat menjadi wahana strategis membangun kompetensi teknis, empati sosial, dan kesiapan kerja di era Industri 4.0.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

*Smart Guidance Stick* (SGS) berbasis Arduino dan sensor ultrasonik HC-SR04 terbukti mampu mendeteksi hambatan dengan mean absolute error 1,13 cm dan akurasi 80 % pada batas galat  $\leq 2$  cm dari 30 uji indoor–outdoor, sehingga memenuhi ambang keselamatan 3 cm untuk tongkat mobilitas anak tunanetra. Peringatan getar atau bunyi yang dihasilkan meningkatkan kemandirian, keselamatan, dan kepercayaan diri pengguna dibandingkan tongkat konvensional. Dari sisi pendidikan digital, pengembangan SGS melalui siklus ADDIE dan *Project-Based Learning* melatih mahasiswa pada keterampilan pemrograman mikrokontroler, analisis data sensor, serta penumbuhan empati sosial, sementara mode hybrid via LMS SPADA UM Metro memastikan proses belajar inklusif. Biaya komponen kurang dari Rp 300 000 menjadikan SGS solusi *assistive technology* berbiaya rendah dan mudah direplikasi di sekolah atau laboratorium. Namun, untuk mencapai akurasi di atas 90 % dan durasi operasi lebih dari lima jam, diperlukan peningkatan berupa redundansi sensor (dual

ultrasonic atau ToF), algoritme software filtering yang lebih baik, integrasi modul GPS/loT, dan uji pengguna berskala lebih besar dengan analisis statistik inferensial. Dengan capaian tersebut, SGS tidak hanya menghadirkan alat bantu mobilitas yang aman dan terjangkau, tetapi juga menjadi contoh konkret sinergi riset, pendidikan digital, dan inklusi sosial di era Industri 4.0.

## B. Saran

Berdasarkan temuan dan keterbatasan penelitian ini, disarankan agar peneliti berikutnya (1) meningkatkan ukuran sampel dan melibatkan kelompok kontrol agar analisis inferensial misalnya independent-t test atau ANCOVA dapat digunakan untuk memastikan efektivitas SGS dibandingkan tongkat tradisional; (2) memperpanjang durasi observasi lapangan hingga beberapa minggu untuk menguji ketahanan perangkat, stabilitas baterai, dan perubahan perilaku mobilitas pengguna; (3) menambahkan variabel respons waktu (latensi sensor-buzzer) dan indikator pengalaman pengguna seperti *System Usability Scale* (SUS) guna memperoleh gambaran komprehensif tentang kenyamanan dan beban kognitif; (4) mengeksplorasi konfigurasi multi-sensor (ultrasonik + ToF atau LIDAR mini) dan algoritme sensor fusion untuk meningkatkan akurasi di lingkungan bising akustik; (5) melakukan analisis biaya–manfaat serta estimasi *life-cycle cost* untuk menilai kelayakan produksi massal; (6) menguji integrasi modul GPS/loT sebagai fitur pelacakan dan pengumpulan data mobilitas untuk studi perilaku jalan tunanetra; (7) menyertakan proses co-design dengan guru SLB, terapis okupasi, dan pengguna tunanetra dewasa agar desain ergonomis dan kebutuhan pedagogis lebih terpenuhi; (8) mengembangkan paket pembelajaran digital lengkap template tugas PBL, video tutorial perakitan, dan dasbor data sensor sehingga penelitian berikutnya dapat mengevaluasi dampak SGS terhadap literasi digital dan empati sosial mahasiswa secara kuantitatif. Implementasi saran-saran ini diharapkan menghasilkan perangkat yang lebih andal, ramah pengguna, serta bukti ilmiah yang lebih kuat mengenai kontribusi SGS bagi teknologi asistif dan pembelajaran inklusif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alfian, M., & Ayuni, S. D. (2023). *Blind Smart Stick Using GPS Tracking Based on the Internet of Things [Tongkat Pintar Tuna Netra Menggunakan GPS Tracking Berbasis Internet Of Things]*.
- Andriana, E., Riyanto, S., & Anardani, S. (2021). Optimalisasi Tongkat Pintar Pendeteksi Lokasi Berbasis Internet Of Things Menggunakan Firebase Realtime Database. *Seminar Nasional Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 4(1), 417–427. [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)
- Azzahro, A., & Kurniadi, D. (2017). Penggunaan Tongkat pada Siswa Tunanetra SMALB dalam Melakukan Mobilitas. *JASSI\_anakku*, 18(1), 19–25.
- Bangun, R., Penuntun, P., Pintar, T., Tunanetra, P., & Mikrokontroler, B. (2021). *Humanis2021*. 1(2), 774–785.
- Beingolea, J. R., Zea-Vargas, M. A., Huallpa, R., Vilca, X., Bolivar, R., & Rendulich, J. (2021). Assistive devices: Technology development for the visually impaired. *Designs*, 5(4). <https://doi.org/10.3390/designs5040075>
- Coleman, L., Associate, R., Sarah Field, Pblw., Wagner, K., & Director, E. (2024). *PBL Develops Essential Digital Literacy Skills in the Post-COVID Landscape*. 3(2). [www.pblworks.org/sites/default/files/2024-03%0APreventing Turnover, Increasing Retention: How PBL Professional Learning Can Help](http://www.pblworks.org/sites/default/files/2024-03%0APreventing%20Turnover%2C%20Increasing%20Retention%3A%20How%20PBL%20Professional%20Learning%20Can%20Help.pdf). PBL

- Evidence Matters 3(1). The Buck Institute for Education.
- D'Elia, P., Stalmach, A., Di Sano, S., & Casale, G. (2024). Strategies for inclusive digital education: problem/project-based learning, cooperative learning, and service learning for students with special educational needs. *Frontiers in Education*, 9(January), 1–15. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1447489>
- Haslindah, A., Sukirman, S., Hakis, A. W., & Sa'na, N. I. T. (2024). Pengembangan Alat Bantu Jalan Tunanetra Dengan Tongkat Cerdas Berbasis Arduino. *ILTEK: Jurnal Teknologi*, 19(01), 12–17. <https://doi.org/10.47398/iltek.v19i01.108>
- Hidayat, A. (2022). Jurnal Teknik Informatika Atmaluhur. *Jurnal Teknik Informatika Atmaluhur*, 6(1), 4.
- Hikmah, N., Kasmawati, H., Mutmainna, A., Julivia, C., Kadrina, R. L., Rahmah, F., Indri, W., & Hasmi, S. (2024). Sosialisasi dan edukasi pentingnya menjaga kesehatan mata untuk cegah rabun dini pada anak. 2(2), 63–68.
- Lestari, M. W., & Imnadir, I. (2022). Rancang Bangun Tongkat Tunanetra dengan Sensor Ultrasonik Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Borneo Informatika Dan Teknik Komputer*, 2(2), 44–52. <https://doi.org/10.35334/jbit.v2i2.3082>
- Mardhotillah, I., Yesputra, R., & Anggraini, S. (2021). Tongkat Pintar Bagi Penyandang Disabilitas Tunanetra Berbasis Ultrasonic Dan Water Level. *JUTSI (Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi)*, 1(3), 227–234. <https://doi.org/10.33330/jutsi.v1i3.1314>
- Messaoudi, M. D., Menelas, B. A. J., & Mcheick, H. (2024). Integration of Smart Cane with Social Media: Design of a New Step Counter Algorithm for Cane. *Internet of Things*, 5(1), 168–186. <https://doi.org/10.3390/iot5010009>
- Mufit, C., & Hambali, I. (2022). Rancang Bangun Alat Bantu Tongkat Tunanetra Berbasis Esp32. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, 7(2), 64–69. <https://doi.org/10.52447/jkte.v7i2.6473>
- Panazan, C. E., & Dulf, E. H. (2024). Intelligent Cane for Assisting the Visually Impaired. *Technologies*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/technologies12060075>
- Studi, P., Elektro, T., Teknik, F., Udayana, U., Jimbaran, K. B., & Water, S. (2021). *MIKROKONTROLER*. 8(1), 274–285.
- Sunardi, Amril Siregar, M., Satria Wiguna, A., idris, I., & Khair, R. (2020). Alat Bantu Jalan untuk Tuna Netra Menggunakan Sensor Ultrasonik. *Jurnal Teknologi Manufaktur*, 12(01), 2.
- Supriyadi, T. (2019). Tongkat Pintar Sebagai Alat Bantu Pemantau Keberadaan Penyandang Tunanetra Melalui Smartphone. *Senter*, 181–191.
- Tanya, M., Diah, K., Rahmah, A., & Florian, H. (2024). Pelatihan Coding Berbasis Project Based Learning ( PjBL ) Menggunakan Platform Scratch untuk Sekolah Dasar. 3(5), 283–291.
- Vouglanis, T. (2024). The use of assistive technology by visually impaired students. 20(October), 365–372.
- Wibowo, R. A. S., & Sapuguh, I. (2021). Pembuatan Tongkat Bantu Jalan Penyandang Tunanetra Menggunakan Sensor Ultrasonic Dan Motor Dc. *Jurnal Ilmiah Scroll: Jendela Teknologi Informasi*, 8(2), 97–105. <https://doi.org/10.30640/ejournalscroll.v8i2.76>