

Rancang Bangun *Walking Stick* sebagai Alat Bantu Penyandang Tunanetra
Berbasis *Internet of Things*

Rancang Bangun *Walking Stick* sebagai Alat Bantu Penyandang Tunanetra
Berbasis *Internet of Things*

Rosi Fadila Mey Sabiliana

Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231,
Indonesia e-mail : rosi.21034@mhs.unesa.ac.id

Lusia Rakhmawati, Bambang Suprianto, Miftahur Rohman

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : lusiaraakhmawati@unesa.ac.id, bambangsuprianto@unesa.ac.id, miftahurrohman@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun *Walking Stick* berbasis *Internet of Things* (IoT) sebagai alat bantu bagi penyandang tunanetra untuk meningkatkan keselamatan dan kemandirian dalam beraktivitas. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP8266 sebagai pengendali utama, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi rintangan, modul GPS Neo 6M untuk menentukan lokasi pengguna, serta modul SIM800L sebagai media komunikasi data berbasis SMS untuk mengirimkan notifikasi kondisi pengguna kepada keluarga. Pengujian dilakukan untuk mengukur kinerja deteksi rintangan, efisiensi daya, serta keandalan komunikasi data. Hasil pengujian menunjukkan tingkat keberhasilan deteksi rintangan rata-rata sebesar 92,2%, dengan waktu respon 2,12 detik dan latensi buzzer 134,1 ms. Nilai error sistem rata-rata sebesar 6,1%, menunjukkan akurasi sensor mencapai 93,9%. Efisiensi daya sistem mencapai 96,6%, dengan durasi operasi hingga 103 jam menggunakan power bank berkapasitas 20.000 mAh. Pada aspek komunikasi data, nilai rata-rata delay sebesar 2,1 detik, jitter sebesar 200 ms, dan throughput sebesar 0,6 kbps, dengan tingkat keandalan pengiriman data mencapai 97,3%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan stabil dan efisien, serta layak digunakan sebagai alat bantu berbasis IoT bagi penyandang tunanetra.

Kata Kunci: Walking Stick, IoT, ESP8266, SIM800L, Ultrasonik, GPS, Tunanetra.

Abstract

This research aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based Walking Stick as an assistive device for visually impaired individuals to enhance safety and independence during mobility. The system employs an ESP8266 microcontroller as the main controller, an HC-SR04 ultrasonic sensor for obstacle detection, a Neo 6M GPS module for location tracking, and a SIM800L module for SMS-based data communication to send notifications to family members. Tests were conducted to evaluate obstacle detection performance, power efficiency, and data communication reliability. The experimental results showed an average obstacle detection success rate of 92.2%, with an average response time of 2.12 seconds and buzzer latency of 134.1 ms. The average system error was 6.1%, indicating a sensor accuracy of 93.9%. The device achieved 96.6% power efficiency and operated for up to 103 hours using a 20,000 mAh power bank. For data communication, the average delay was 2.1 seconds, jitter was 200 ms, and throughput was 0.6 kbps, with a 97.3% reliability rate. These results demonstrate that the system operates effectively and efficiently, making it suitable as an IoT-based assistive device for the visually impaired.

Keywords: Walking Stick, IoT, ESP8266, SIM800L, Ultrasonic Sensor, GPS, Visually Impaired.

PENDAHULUAN

Menurut data yang dilansir Badan Pusat Statistik (BPS) menyebutkan jumlah penyandang tunanetra sebesar 1-1,5% dari total 237 juta penduduk Indonesia atau sekitar 3,75 juta penyandang tunanetra (Badan Pusat Statistik, 2020). Sekitar 40% dari 3,75 juta penyandang tunanetra di Indonesia adalah anak-anak usia sekolah yang masih dalam usia produktif. Sedangkan persentase penduduk lanjut usia (lansia) di Indonesia sebesar 11,75%. Angka tersebut naik 1,27% poin dibandingkan dengan tahun sebelumnya yang

sebesar 10,48%. (Badan Pusat Statistik, 2023).

Pada umumnya manusia memiliki panca indra yang berfungsi untuk merasakan perubahan yang terjadi di lingkungan luar tubuhnya. Salah satunya adalah mata. Mata merupakan salah satu indra yang sangat penting bagi manusia, dengan adanya mata manusia dapat melakukan berbagai macam aktivitas. Mata merupakan indra yang berfungsi untuk merekam keadaan atau kondisi, sehingga manusia bisa mengetahui akan objek yang dilihatnya. Kenyataannya, tidak semua manusia diciptakan dengan

keadaan mata yang normal, dan pula yang mengalami gangguan penglihatan sejak lahir. Tongkat adalah alat bantu tunanetra yang praktis dan murah kegunaan tongkat penting sekali yaitu agar tunanetra dapat berjalan mandiri, tanpa selalu minta tolong kepada orang lain.

Kebutaan adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan orang yang tidak dapat menggunakan kemampuan melihat. Manusia menerima sekitar 80% informasi dari lingkungan melalui penglihatan. Oleh karena itu, bagi penyandang tunanetra, menjadi sulit untuk menyesuaikan diri dengan kehidupan alami. Itu sebabnya mereka menggunakan tongkat, anjing, atau bantuan manusia lain.

Beberapa peneliti sebelumnya telah meneliti tongkat pintar dengan menggunakan sensor ultrasonik seperti yang dilakukan oleh Zulkhairi Mohd Yusuf dan kawan kawan dengan judul “*Design and Analysis of a Smart Blind Stick for Visual Impairment*”. Pada penelitian tersebut mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno, 2 sensor ultrasonik (HC-SR04) untuk mendeteksi rintangan tinggi dan rintangan rendah serta menggunakan sensor laser untuk mendeteksi lubang. (Zulkhairi Mohd Yusuf, 2018). Penelitian lain yang dilakukan oleh Dada Emmanuel Gbenga dan kawan kawan dengan judul “*Smart Walking Stick for Visually Impaired People Using Ultrasonic Sensors and Arduino*”. Mikrokontroler yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah Arduino Atmega328 sebagai pusat pengolahan data. Sensor yang digunakan adalah sensor ultrasonik (HC-SR04) dan juga water sensor untuk mendeteksi objek didepan serta mendeteksi air di tanah. (Dada Emmanuel Gbenga, 2017). Akik Hidayat dan Dede Supriadi telah meneliti tentang alat bantu jalan dengan judul “*Tongkat Tunanetra Pintar menggunakan Arduino*”. Dengan mikrokontroler arduino sebagai pusat pengolahan data dan juga sensor ultrasonik untuk mendeteksi halangan di depan dengan buzzer sebagai output. (Akik Hidayat, 2019)

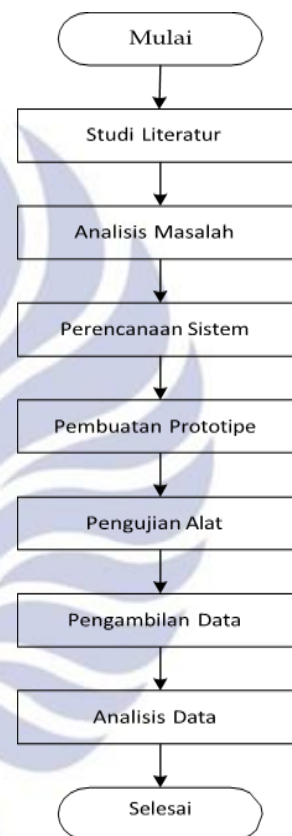
Dari beberapa penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa sensor ultrasonik (HC-SR04) serta indikator buzzer dengan mikrokontroler arduino dapat digunakan untuk merancang sebuah tongkat pintar sebagai alat bantu penyandang disabilitas. Namun, dalam beberapa penelitian yang telah dilakukan, masih terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan lebih lanjut. Salah satunya adalah tidak diimplementasikan penggunaan sistem pelacak lokasi (GPS) untuk memudahkan pemantauan lokasi pengguna tongkat pintar oleh anggota keluarga yang ada di rumah. Fitur ini sangat penting untuk meningkatkan keamanan pengguna dengan memberikan informasi lokasi secara *real-time* kepada keluarga atau pendamping mereka. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun *walking stick* berbasis IoT dengan menggunakan metode Blynk yang tidak hanya mendeteksi

hambatan dan memberikan peringatan dini tetapi juga mengintegrasikan sistem pelacakan lokasi guna memastikan keamanan dan kemudahan pemantauan bagi penyandang tunanetra.

METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode penelitian eksperimen, yang bertujuan untuk mengembangkan dan menguji *walking stick* pintar sebagai alat bantu penyandang disabilitas tunanetra berbasis *Internet of Things* (IoT).



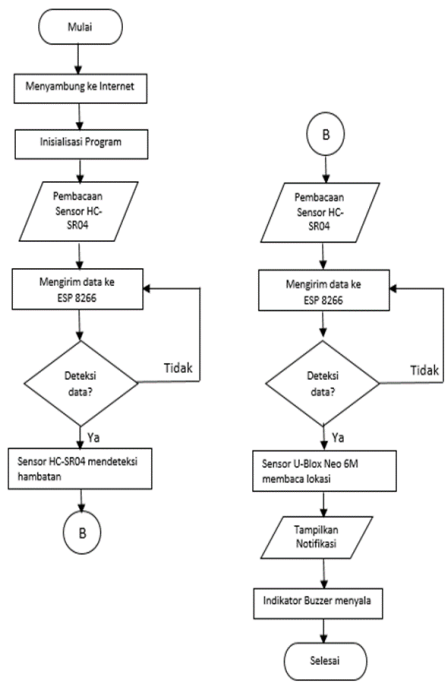
Gambar 1 Kerangka Penelitian

Gambar 1 menunjukkan kerangka penelitian yang dimulai dari tahap studi literatur sampai dengan selesai.

Rancangan Penelitian

Proses penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian tahapan yang sistematis. Untuk memudahkan pemahaman dan memberikan gambaran yang jelas mengenai langkah-langkah yang diambil selama penelitian, Gambar 2 menyajikan *flowchart* yang menggambarkan kerangka berpikir penelitian. *Flowchart* ini menggambarkan alur yang diikuti penulis dalam menjalankan setiap langkah penelitian, dari awal hingga akhir, sehingga mempermudah pemahaman terhadap proses yang dilakukan dan memberikan arah yang lebih terstruktur dalam penelitian selanjutnya.

Rancang Bangun *Walking Stick* sebagai Alat Bantu Penyandang Tunanetra Berbasis *Internet of Things*



Gambar 2 Flowchart System

Gambar 2 menunjukkan flowchart system dari penelitian ini dari mulai menginisialisasi program hingga pembacaan sensor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini mencakup data pengujian sistem, efisiensi daya perangkat, keandalan komunikasi data berbasis IoT (*Internet of Things*).

1. Hasil Pengujian Sistem

a. Akurasi Deteksi Sensor Ultrasonik

Pengujian akurasi dilakukan untuk melihat kemampuan perangkat mendeteksi rintangan dengan tepat. Berdasarkan data hasil uji pada tiga responden, diperoleh kesalahan pembacaan sensor rata-rata sebesar 6,1%, sehingga tingkat akurasi mencapai sekitar 93,9%. Kondisi permukaan miring seperti turunan tangga menghasilkan error tertinggi akibat perubahan pantulan gelombang ultrasonik. Meskipun demikian, akurasi ini masih tergolong sangat baik untuk navigasi tunanetra.

b. Respon Waktu Peringatan

Analisis latensi buzzer menunjukkan respon rata-rata 183,7 ms, menandakan sistem mampu memberikan peringatan kurang dari 0,2 detik setelah mendeteksi rintangan. Lingkungan indoor memberikan hasil lebih stabil dibandingkan outdoor karena interferensi suara lebih minim.

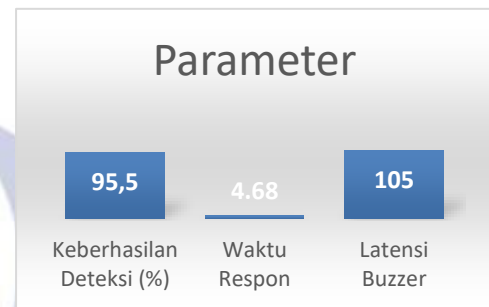
c. Tingkat Navigasi dan Keselamatan Pengguna

Hasil pengujian navigasi menunjukkan bahwa tingkat keselamatan berada di atas 92% pada seluruh responden. Artinya, alat mampu menjaga pengguna tetap aman pada berbagai kondisi lintasan. Penurunan keselamatan terutama terjadi pada area turunan karena

sensitivitas sensor pada medan tidak rata. Rata rata hasil pengujian navigasi dari 3 responden dapat ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata Hasil Pengujian Navigasi

Parameter	Nilai Rata-rata
Keberhasilan Deteksi	95,5 %
Waktu Respon	4,68 ms
Latensi Buzzer	105 ms



Gambar 3 Grafik Rata-rata Hasil Pengujian Navigasi (3 Responden)

Gambar 3 menunjukkan grafik dari rata rata hasil pengujian navigasi yang diperoleh dari 3 responden.

2. Uji Efisiensi Daya Perangkat

Perangkat ini dirancang hemat daya untuk penggunaan aktivitas harian penyandang tunanetra. Dari pengujian konsumsi daya diperoleh:

- Efisiensi energi rata-rata: 96,66%
- Konsumsi daya: 1,07 W
- Ketahanan pemakaian: ± 103 jam (3–4 hari) dengan power bank 20.000 mAh

Hal ini membuktikan perangkat dapat digunakan dalam jangka panjang tanpa sering melakukan pengisian daya, yang merupakan kebutuhan penting bagi pengguna tunanetra yang aktif beraktivitas di luar ruangan.

3. Keandalan Komunikasi Data Berbasis IoT

Komunikasi data menggunakan SIM800L melalui GSM diuji dalam beberapa skenario jarak. Hasil evaluasi menunjukkan:

- Keandalan sistem: 94–99,6%
- Latensi: 120–180 ms
- Packet loss: 0,4–6%

Nilai tersebut menunjukkan proses komunikasi stabil dengan kehilangan paket rendah, sehingga informasi penting tetap dapat terkirim saat dibutuhkan. Sistem SMS masih layak untuk penggunaan *non-real-time* seperti notifikasi peringatan tunanetra.

Tabel 2. Hasil Uji Throughput, Delay, Jitter

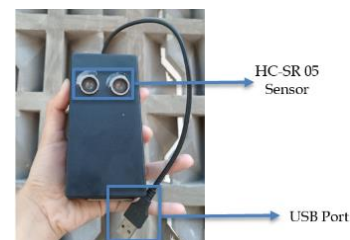
Uji Ke	t (s)	Throughput (kbps)	Delay (ms)	Jitter (ms)
1	1.25	0.8960	1250	0
2	1.30	0.8615	1300	50
3	1.22	0.9180	1220	80
4	1.40	0.8000	1400	180
5	1.35	0.8296	1350	50
6	1.28	0.8750	1280	70
7	1.33	0.8421	1330	50
8	1.20	0.9333	1200	130
9	1.27	0.8819	1270	70
10	1.31	0.8550	1310	40
11	1.85	0.6054	1850	540
12	1.90	0.5895	1900	50
13	2.00	0.5600	2000	100
14	1.95	0.5744	1950	50
15	1.88	0.5957	1880	70
16	1.92	0.5833	1920	40
17	2.10	0.5333	2100	180
18	1.82	0.6154	1820	280
19	1.99	0.5628	1990	170
20	2.05	0.5463	2050	60
21	2.60	0.4308	2600	550
22	2.75	0.4073	2750	150
23	3.10	0.3613	3100	350
24	2.95	0.3797	2950	150
25	3.40	0.3294	3400	450
26	3.00	0.3733	3000	400
27	3.50	0.3200	3500	500
28	3.20	0.3500	3200	300
29	3.80	0.2947	3800	600
30	4.10	0.2732	4100	300
Rata-rata		0.5993	2159	200,33

Tabel 2 menunjukkan hasil dari 3 uji parameter yang meliputi; *throughput*, *delay* dan *jitter*. Pengujian *throughput*, *delay*, dan *jitter* melalui kanal SMS pada modul SIM800L dilakukan sebanyak 30 kali pada variasi kondisi jaringan. Rata-rata *throughput* efektif pengiriman SMS adalah 0,5993 kbps (≈ 599 bit/s), rata-rata *delay* 2,159 s ($\approx 2,16$ s), dan rata-rata *jitter* 200,33 ms. Nilai-nilai ini menunjukkan SMS layak digunakan sebagai kanal notifikasi darurat (*non-real-time*) pada sistem *Walking Stick* berbasis IoT, namun kurang sesuai untuk kebutuhan kontrol *real-time* atau transfer data besar.

4. Pembahasan

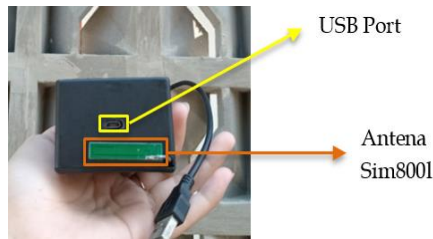
Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem *Walking Stick* berbasis *Internet of Things* yang dikembangkan mampu memberikan dukungan navigasi

yang aman bagi penyandang tunanetra. Kinerja sensor ultrasonik dalam mendeteksi objek tergolong sangat baik, dengan kesalahan rata-rata hanya sekitar 6%, sehingga akurasi mencapai 93–95%. Meskipun demikian, tingkat error meningkat pada kondisi turunan tangga akibat perubahan sudut pantulan gelombang pada permukaan miring, yang mengindikasikan bahwa karakteristik lingkungan berpengaruh terhadap performa deteksi. Kemampuan sistem dalam memberikan peringatan melalui buzzer juga menunjukkan performa yang memadai untuk keselamatan pengguna. Rata-rata latensi sebesar 183 ms memperlihatkan bahwa peringatan diberikan secara sangat cepat, sehingga pengguna memiliki waktu yang cukup untuk melakukan respons menghindari rintangan. Performa lebih stabil diperoleh di dalam ruangan karena gangguan fisik dan kebisingan lebih sedikit dibandingkan luar ruangan. Secara keseluruhan, tingkat keselamatan penggunaan *walking stick* ini mencapai di atas 92%, menunjukkan bahwa integrasi sensor dan respon sistem telah bekerja harmonis dalam menjaga keamanan navigasi pengguna. Namun penurunan performa pada permukaan tidak rata perlu menjadi perhatian dalam pengembangan lanjutan, terutama untuk pemanfaatan di lingkungan *outdoor* yang kompleks. Selain aspek keamanan, penelitian ini juga menekankan efisiensi konsumsi daya perangkat. Rata-rata efisiensi energi sebesar 96,66% dan konsumsi daya rendah (1,07 W) memungkinkan perangkat bertahan selama ≈ 103 jam atau 3–4 hari pemakaian dengan power bank kapasitas umum (20.000 mAh). Durasi operasi ini jauh lebih unggul dibandingkan penelitian sebelumnya yang hanya bertahan 10–24 jam, sehingga solusi yang dikembangkan lebih mendukung mobilitas pengguna dalam aktivitas sehari-hari tanpa perlu sering mengisi daya. Dari sisi konektivitas, komunikasi berbasis modul SIM800L menunjukkan keandalan tinggi dengan packet loss rendah (0,4–6%) dan latensi pemrosesan pesan rata-rata 120–180 ms pada berbagai kondisi jarak. Hal ini membuktikan bahwa jaringan GSM tetap mampu mendukung pengiriman pesan berisi informasi kondisi dan lokasi pengguna secara stabil, meskipun sifat komunikasi SMS masih tergolong *non-real-time*, namun tetap sesuai untuk kebutuhan pemantauan tunanetra. Secara menyeluruh, sistem yang dikembangkan telah memenuhi tujuan perancangan *walking stick* pintar, yaitu menghadirkan perangkat bantu navigasi yang akurat, responsif, hemat daya, serta mampu menyediakan pemantauan jarak jauh melalui jaringan seluler. Integrasi seluruh komponen ini berkontribusi langsung terhadap peningkatan keselamatan dan kemandirian pengguna dalam beraktivitas di lingkungan sekitar.



Gambar 4 Hasil Hardware Tampak Depan

Rancang Bangun *Walking Stick* sebagai Alat Bantu Penyandang Tunanetra Berbasis *Internet of Things*



Gambar 5 Hasil *Hardware* Tampak Bawah



Gambar 6 Hasil Keseluruhan

Gambar 4 menunjukkan hasil hardware dari sisi bagian depan. Gambar 5 menunjukkan hasil *hardware* dari sisi bagian bawah. Gambar 6 menunjukkan hasil hardware dari seluruh sisi.

PENUTUP

Simpulan

Hasil penelitian dari dan pengujian pada pengguna tunanetra di SLB Kemala Bhayangkari Trenggalek, dapat disimpulkan bahwa *Walking Stick* berbasis *Internet of Things* berhasil dikembangkan dengan integrasi mikrokontroler ESP8266, sensor ultrasonik HC-SR05 sebagai pendeteksi rintangan, buzzer sebagai peringatan suara, modul GPS sebagai pelacak lokasi, serta SIM800L sebagai komunikasi data.

Sistem menunjukkan performa yang baik pada berbagai skenario uji, dengan tingkat keberhasilan deteksi rintangan rata-rata 92,2%, waktu respon sekitar 2,12 detik, dan latensi buzzer 134,1 ms, sehingga peringatan dapat diterima cepat dan akurat. Teknologi komunikasi berbasis SMS memiliki keandalan 90% dan packet loss 10%, yang masih dapat diterima untuk aplikasi non-real-time.

Efisiensi daya juga mengalami peningkatan signifikan dibandingkan penelitian terdahulu, dengan durasi operasi rata-rata 103 jam dan efisiensi energi mencapai 90,5%, sehingga mendukung pemakaian jangka panjang. Akurasi sensor tetap tinggi dengan rata-rata error 6,1%, sedangkan nilai delay, jitter, dan throughput masih dalam batas kelayakan untuk sistem

peringatan yang tidak menuntut respon instan.

Secara keseluruhan, *Walking Stick* berbasis IoT ini dinilai efektif sebagai alat bantu navigasi tunanetra karena mampu mendeteksi rintangan secara cepat, memberikan peringatan yang reliabel, mengirimkan notifikasi kondisi pengguna, serta hemat energi dan stabil dalam pemanfaatan jaringan seluler.

Saran

Penelitian ini berpotensi menjadi dasar dalam pengembangan teknologi bantu bagi penyandang tunanetra, khususnya melalui peningkatan sistem komunikasi IoT dengan memanfaatkan protokol yang lebih cepat dan efisien seperti MQTT atau Wi-Fi sebagai alternatif SMS berbasis SIM800L. Selain itu, pengembangan lebih lanjut disarankan untuk memperluas kemampuan deteksi rintangan dengan menambahkan sensor tambahan, seperti inframerah, LIDAR, atau kamera berbasis AI, sehingga sistem mampu mengenali berbagai kondisi permukaan dan bahaya lingkungan secara lebih akurat.

Pengujian pada penelitian lanjutan juga perlu melibatkan lebih banyak responden serta kondisi lingkungan yang lebih bervariasi, baik di dalam maupun luar ruangan, guna memperoleh evaluasi performa yang lebih komprehensif. Mengingat prototipe saat ini masih terbatas pada deteksi rintangan di medan datar, penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan sensor pendeteksi perubahan kontur permukaan atau penguatan algoritma, sehingga alat dapat beradaptasi terhadap kondisi nyata seperti lubang, turunan, dan ketidakrataan jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfian, M., & Ayuni, S. D. (2024). Smart Stick Revolutionizes Mobility for the Visually Impaired. *Indonesian Journal of Innovation Studies*, 25(4), 10-21070.
- ARYAYUDHA, K. B. (2024). Rancang Bangun Tongkat Jalan Pintar Berbasis IoT untuk Pemantauan Kesehatan secara Real-Time (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- Brebahama, A., Triman, A., & Kumalasari, D. (2020). Pelatihan penanganan anak berkebutuhan khusus bagi instruktur, konselor, dan relawan Yayasan Mitra Netra dan Persatuan Tunanetra Indonesia. *JPPM (Jurnal Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat)*, 4(1), 75-80.
- Gbenga, D. E., Shani, A. I., & Adekunle, A. L. (2017). Smart walking stick for visually impaired people using ultrasonic sensors and Arduino. *International journal of engineering and technology*, 9(5), 3435-3447.
- Hidayat, A., & Supriadi, D. (2019). Tongkat Tunanetra Pintar Menggunakan Arduino. *Jurnal Teknik Informatika (JUTEKIN)*, 7(1).

- Insani, F. (2020). RANCANG BANGUN TONGKAT KHUSUS TUNANETRA BERBASIS ARDUINO MIKROKONTROLLER (Doctoral dissertation, Universitas Satya Negara Indonesia).
- Kim, K. H., & Kim, H. D. (2020). Deep sleep mode based NodeMCU-enabled humidity sensor nodes monitoring for low-power IoT. *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, 21(6), 617-620.
- Radhika, R., Pai, P. G., Rakshitha, S., & Srinath, R. (2016). Implementation of smart stick for obstacle detection and navigation. *International Journal of Latest Research in Engineering and Technology*, 2(5), 45-50.
- Solekha, R., Zaki, M., Fatimah, L. A., & Hidayat, R. (2023). Tokcer bantalan: Tongkat cerdas alat bantu jalan penyandang tunanetra menggunakan arduino mega 2560 dengan sensor ultrasonic HC SR-04 dan water level. *Jurnal Komputer dan Elektro Sains*, 1(2), 35-39.
- Statistik, B. P. (2024). *Statistik Penduduk Lanjut Usia 2024 (Vol.21, 2024)*. Jakarta.
- 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.
- Yusof, Z. M., Billah, M. M., Kadir, K., Rohim, M. A., Nasir, H., Izani, M., & Razak, A. (2018). Design and analysis of a smart blind stick for visual impairment. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 11(3), 848-856.

